

Kurzstudie

# Industrie 4.0 und CPS – Bedarfe und Lösungen aus Sicht des Mittelstands

Stand: Oktober 2014  
[www.baymevbm.de/cps](http://www.baymevbm.de/cps)



## Vorwort

### Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit durch Industrie 4.0 und CPS

---

Nach der Einführung mechanischer Produktionsanlagen, der Elektrifizierung und der Automatisierung propagiert die Fachwelt die vierte industrielle Revolution durch die Einführung Cyber-Physischer Systeme (CPS). Mit ihrer Unterstützung soll in Zukunft die gesamte Wertschöpfungskette innovativer Produkte organisiert und gesteuert werden, denn sie ermöglichen durch die Vernetzung aller am Produktionsprozess beteiligten Komponenten eine noch individuellere Orientierung am Kunden. Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen bilden diese Systeme damit eine wichtige Voraussetzung zur Sicherung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit.

Für den Maschinen- und Anlagenbau ergeben sich daraus vor allem im Bereich der Fabrikaurüstung vielfältige Chancen. Unsere Unternehmen sind daher aufgefordert, sich mit diesen Entwicklungen auseinanderzusetzen, die sich ergebenden innovativen Potenziale auszuloten und eine unternehmensspezifische Roadmap für die Umsetzung zu erarbeiten.

Um die mittelständische M+E Industrie in diesem Prozess effektiv zu unterstützen und dabei den Blick für diese Entwicklungen zu schärfen, haben bayme vbm Mitgliedsunternehmen aus unterschiedlichen Branchen zusammen mit Wissenschaftlern des Fraunhofer Instituts für Integrierte Schaltungen und der Universität Bamberg diesen Trend intensiv diskutiert sowie den spezifischen Bedarf und erste Lösungsansätze erarbeitet.

Nutzen Sie die Ergebnisse dieser Studie, um sich aus dem Blickwinkel der mittelständischen Industrie mit den Themen Industrie 4.0 und CPS auseinanderzusetzen. Entwickeln Sie auf dieser Basis Ansätze und Perspektiven, wie Sie Ihre Wettbewerbsfähigkeit durch Digitalisierung Ihrer Produktionsprozesse sichern und durch den Einsatz intelligenter Assistenzsysteme neue und innovative Geschäftsmodelle generieren können.

Bertram Brossardt  
22. Oktober 2014



## Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Executive Summary</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Industrie 4.0 und CPS als Herausforderung und Chance für den Mittelstand</b> .....	<b>5</b>
2.1	Die vierte industrielle Revolution als Asset im globalen Wettbewerb .....	5
2.2	Zielsetzung und Anspruch dieser Studie .....	7
2.3	Vorgehensweise und Inhalte der nachfolgenden Kapitel .....	8
<b>3</b>	<b>Begriffsklärungen</b> .....	<b>11</b>
3.1	Industrie 4.0 .....	11
3.2	Cyber-Physische Systeme .....	12
3.3	Abgrenzung zu weiteren Begriffen .....	17
<b>4</b>	<b>Basistechnologien für Industrie 4.0</b> .....	<b>19</b>
4.1	Industrie 4.0 und Cyber-Physische Systeme im Kontext der Digitalisierung	19
4.2	Technologietrends im Detail.....	20
4.2.1	Internet der Dinge für die Integration von physischer und materieller Welt..	20
4.2.2	Mobile Computing als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine.....	23
4.2.3	Future Internet als Basis für maßgeschneiderte und effiziente IT .....	25
4.2.4	Big Data Analytics als Grundlage für das Generieren von Mehrwert .....	27
4.3	Die unterschiedlichen Technologien im Kontext.....	29
<b>5</b>	<b>Bedarfe und mögliche Lösungsansätze</b> .....	<b>33</b>
5.1	Identifizierte Anwendungen im Überblick .....	33
5.2	Die Anwendungen im Detail.....	35
5.2.1	Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion .....	36
5.2.2	Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen .....	40
5.2.3	Reduzierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen.....	44
5.2.4	Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement .....	48
5.2.5	Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine.....	51
5.2.6	Erhöhung der Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen.....	55
5.2.7	Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung.....	59
5.2.8	Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung .....	63
5.2.9	Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter.....	67
5.2.10	Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte.....	72

5.2.11	Durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses .....	76
5.2.12	Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen .....	81
5.2.13	Vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte.....	84
5.2.14	Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzleistungen .....	88
5.3	Die einzelnen Lösungen im Gesamtkontext .....	93
<b>6</b>	<b>Zur Umsetzung der Anwendungen .....</b>	<b>97</b>
6.1	Portfolioanalyse als Basis .....	97
6.2	Ableitung einer Roadmap für die praktische Umsetzung .....	99
<b>7</b>	<b>Ableitungen von Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>107</b>
7.1	Konsequenzen für die an der Umsetzung beteiligten Unternehmen.....	107
7.2	Chancen und Risiken.....	112
7.3	Handlungsempfehlungen aus der Anwenderperspektive.....	115
<b>8</b>	<b>Zum revolutionären Charakter von Industrie 4.0 .....</b>	<b>119</b>
	Literaturverzeichnis.....	121
	Abbildungsverzeichnis .....	123
	Tabellenverzeichnis .....	126
	Autoren.....	127
	Ansprechpartner .....	129
	Impressum.....	131

# 1 Executive Summary

Die Umsetzung der Vision „Industrie 4.0“ hat auch im Mittelstand bereits begonnen.

---

Die Begriffe „Industrie 4.0“ und „Cyber-Physische Systeme CPS“ sind aktuell wesentlicher Gegenstand der öffentlichen Diskussion. Wissenschaftler und Praktiker gehen davon aus, dass die zugrundeliegenden Basistechnologien Arbeits- und Lebenswelten in signifikanter Weise verändern werden. Von einer vierten industriellen Revolution ist die Rede. Aktuelle Studien gehen von einem zusätzlichen Wertschöpfungspotenzial von 78 Mrd. € in den kommenden zehn Jahren aus und neben Pionieren aus dem Bereich der Großindustrie haben inzwischen auch erste mittelständische Unternehmen mit entsprechenden Forschungs- und Umsetzungsprojekten begonnen. Ein ganz wesentlicher Treiber ist der internationale Wettbewerb. Vor allem die Vereinigten Staaten investieren Millionen von Dollar in die Reindustrialisierung und holen auf. Hier wird die Digitalisierung der Produktion unter dem Stichwort „Industrial Internet“ getrieben. Um den Vorsprung auf der internationalen Bühne aufrecht zu erhalten, muss das auf der Technologie Cyber-Physischer Systeme basierende Konzept Industrie 4.0 in der deutschen Wirtschaft breiter erforscht und ausgerollt werden. Als Innovationsmotor der Wirtschaft ist insbesondere der unternehmerische Mittelstand aufgerufen, aktiv zu werden. Die vorliegende Studie versucht, die Vision hinter Industrie 4.0 greifbarer werden zu lassen, Bedarfe zu identifizieren, erste Lösungsideen zu beschreiben, eine generische Umsetzungsroadmap zu entwickeln und gerade den Mittelstand bei der strategischen Auseinandersetzung mit dem Begriff Industrie 4.0 zu unterstützen.

Die Idee hinter Industrie 4.0 soll der produzierenden Wirtschaft zu mehr Transparenz, Flexibilität und Agilität und damit zu einer besseren Wettbewerbsposition verhelfen. Im Mittelpunkt steht laut Plattform Industrie 4.0 die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und informations- und kommunikationstechnischen Systemen. Cyber-Physische Systeme oder kurz CPS sind, wie bereits erwähnt, die technologische Basis. Auf Grundlage einer umfassenden, im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Analyse der wissenschaftlichen Literatur werden CPS definiert als miteinander vernetzte, eingebettete Systeme, welche mittels Sensorik die physische Welt erfassen, steuernd und regulierend auf diese einwirken und die daraus gewonnenen Daten in die virtuelle Welt der Informationen integrieren. Im Bereich der Produktion können Materialien, Zulieferteile, Produkte, Verpackungen, Transporthilfsmittel, Maschinen und sogar Gebäude oder Gebäudeteile mit Hilfe eingebetteter Mikroelektronik in CPS verwandelt werden. Neben Radiofrequenz-identifikation, Near Field Communication, drahtlosen Sensornetzen, Echtzeitlokalisierungssystemen, speziell angepassten eingebetteten Systemen und anderen Basistechnologien des Internets der Dinge spielen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 auch das Internet der Zukunft bzw. „die Cloud“, Mobile Computing und Big Data Technologien eine wesentliche Rolle. Im Rahmen von Umsetzungsprojekten gilt es, sich mit all diesen technologischen, konvergierenden Trends auseinanderzusetzen. Die Produktion von heute beginnt, sich in das digitalisierte Pendant von morgen zu verwandeln.

Auf Basis dieses Grundverständnisses wurden im Rahmen der Studie gemeinsam mit zehn Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie eintägige Workshops zu aktuellen Bedarfen und möglichen Lösungsansätzen durchgeführt. Insgesamt konnten auf diese Weise vierzehn Industrie 4.0-Lösungen erarbeitet werden, die von der mittelständischen Praxis umgesetzt werden können. Im Hauptteil der vorliegenden Studie werden diese Lösungen genannt und im Detail beschrieben. Es finden sich Darstellungen zu erforderlichen Basistechnologien, zu notwendigen komplementären Systembausteinen, Überlegungen zur technischen Machbarkeit und Gedanken zur Marktattraktivität. Jede Lösung ist in einem knappen Profil schlaglichtartig zusammengefasst. Die Liste der Lösungen und die detaillierteren Darstellungen können allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Sie sollen kleine und mittelständische Unternehmen lediglich dabei unterstützen, die Vision hinter Industrie 4.0 besser zu verstehen, ein erstes Gefühl für die Möglichkeiten von Industrie 4.0 zu entwickeln und einen Strategieprozess im eigenen Unternehmen in Gang zu setzen. Im Rahmen eines solchen Strategieprozesses sind, angeregt durch die Inhalte dieser Studie, weitere Bedarfe aufzudecken, Lösungen zu skizzieren und unternehmensspezifische Umsetzungsroadmaps zu entwickeln.

Eine generische Variante für eine solche Umsetzungsroadmap, an der sich Unternehmen bei der Entwicklung einer eigenen Strategie orientieren können, ist ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Studie. Sämtliche Lösungen wurden im Rahmen von insgesamt 40 Interviews mit Praxisvertretern und Technologieexperten hinsichtlich verschiedener Kriterien bewertet. Mittels einer klassischen Portfolioanalyse wurden Einzelstrategien für den Umgang mit den unterschiedlichen Lösungen erstellt und dokumentiert. Auf dieser Basis konnte wiederum die angesprochene generische Roadmap abgeleitet werden. Die Vorgehensweise aus der Studie kann vom Mittelstand für die Entwicklung einer unternehmensspezifischen Variante der Roadmap direkt übernommen werden. In einem ersten Schritt müssen sich die Unternehmen mit der Vision und den bisher identifizierten Anwendungen im Industrie 4.0-Umfeld vertraut machen. Die vorliegende Studie sollte hierfür eine gute Basis sein. Im zweiten Schritt kommt es darauf an, in der eigenen Organisation nach Optimierungspotenzialen zu suchen und zu prüfen, inwieweit diese mit dem CPS-Ansatz aufgelöst werden. Im dritten Schritt können Kriterien wie beispielsweise das Ausmaß des erwarteten Nutzens und die eigene Ressourcenstärke als Basisdimensionen für eine angepasste Portfolioanalyse herangezogen werden. Welche Subkriterien jeweils heranzuziehen und wie diese zu gewichten sind, muss im Einzelfall entschieden werden. Das Ableiten der eigentlichen Roadmap ist dann im Grunde nur noch „Fleißarbeit“. Wichtig ist hierbei vor allen Dingen, dass sämtliche „Stakeholder“ innerhalb des eigenen Unternehmens in der einen oder anderen Form in den Strategieentwicklungsprozess mit eingebunden werden und die praktische Umsetzung der Ergebnisse am Ende bewusst unterstützen. Methodisch kann der Prozess durch Experten aus Forschungseinrichtungen oder Universitäten sehr gut unterstützt werden.

Im Rahmen der Studie wurde deutlich, dass die Umsetzung einer einmal entwickelten Strategie aufgrund der hohen Komplexität der Innovationsaufgabe keinesfalls im Alleingang erfolgen kann. Das Kompetenzprofil einzelner, auch großer Unternehmen

reicht hierfür letztlich nicht aus. Anhand eines einfachen Organisationsmodells aus der Literatur wurde gezeigt, welche Rollen bei der Entwicklung, der Implementierung und beim Betrieb einer Industrie 4.0-Lösung grundsätzlich besetzt werden müssen. Sich im Alleingang mit der Umsetzung der Vision hinter Industrie 4.0 auseinanderzusetzen wäre gewagt. Generell wurde eine ganze Reihe von Risiken identifiziert, die im Zusammenhang mit der Umsetzung der Roadmap zu berücksichtigen sind. Neben der Beherrschbarkeit des Innovationsproblems muss hier vor allem das Problem der Datensicherheit genannt werden. Mit Industrie 4.0 öffnen sich Unternehmen informationstechnisch nach außen. Vor diesem Hintergrund sind entsprechende Datensicherheitskonzepte zu entwickeln. Ein weiteres Risiko betrifft den Kompetenz- und Kontrollverlust, der mit einer teilweisen oder gar vollständigen Auslagerung der IT an externe Dienstleister immer verbunden ist. Die Unternehmen müssen sich angesichts dessen sehr gut überlegen, welche Lösungen von Dritten bezogen werden und welche nicht. Darüber hinaus existieren weitere Risiken im Zusammenhang mit dem technologischen Reifegrad einzelner Systembausteine und der Akzeptanz des Technologieeinsatzes innerhalb der eigenen Organisation. Dass sich eine Beschäftigung mit all diesen Risiken dennoch lohnt, zeigt eine ebenfalls im Rahmen der Studie durchgeführte Betrachtung der Chancen. Es konnte anhand von Lösungsbeispielen gezeigt werden, dass die Umsetzung des Industrie 4.0-Gedankens beispielsweise mit einer Steigerung der Effizienz physischer Transportprozesse, mit einer Steigerung von Transparenz, Flexibilität und Agilität, mit einer höheren Integrität von Produkten und begleitenden Zusatzleistungen, mit einer deutlichen Entlastung und Unterstützung des Menschen in der Produktion und mit einer Steigerung der Wettbewerbsposition im internationalen Vergleich verbunden ist.

Aus Sicht der Autoren der vorliegenden Studie rechtfertigt ein Abwägen von Chancen und Risiken eine detailliertere Auseinandersetzung mit dem Thema Industrie 4.0 in den Unternehmen. Um der mittelständischen Wirtschaft diese Aufgabe zu erleichtern, wurden am Ende der Studie Handlungsempfehlungen erarbeitet und dokumentiert. Aus Anwendungssicht wäre ein erster Schritt die Entwicklung unternehmensspezifischer Umsetzungsroadmaps. Ein entsprechendes „Kochrezept“ wurde bereits weiter oben knapp skizziert. Im zweiten Schritt kommt es darauf an, einmal gefundene relevante Lösungsansätze im Detail zu spezifizieren und Referenzmodelle zu entwickeln. Fokusgruppen, die sich aus Unternehmensvertretern mit ähnlichen Problemstellungen und Interessen zusammensetzen und durch Dritte moderiert werden, sind hier ein vernünftiger methodischer Ansatz. Die entwickelten Referenzmodelle können wiederum in einem weiteren, dritten Schritt in nationalen und internationalen Standardisierungsgremien eingebracht und parallel hierzu als Grundlage für erste Implementierungsprojekte dienen. Voraussetzung für eine Implementierung ist allerdings, dass die Anwender im Sinne einer Risikominimierung unternehmensspezifische Ökosysteme bzw. strategische Partnerschaften für die Umsetzung der eigenen Industrie 4.0-Strategie aufbauen. Auf der Angebotsseite wiederum muss eine Reihe technologischer Lücken geschlossen werden. Einige wurden bereits im Rahmen der Studie herausgearbeitet, andere werden sich zukünftig aus den bereits angesprochenen Referenzmodellen ergeben. Neben den technischen Fragen existieren betriebswirtschaftliche, die ebenfalls adressiert werden müssen. Referenzmodelle für einzelne Anwendungen sind zusätzlich mit

passenden Geschäftsmodellen zu versehen. Eine dritte Herausforderung betrifft den Wissenstransfer in die Unternehmen. Die Komplexität der Innovationsaufgabe verdient den Aufbau eines heute noch fehlenden Kursangebots für die berufliche Weiterbildung. Nur wenn innerhalb der Unternehmen entsprechende Wissensträger und Promotoren installiert werden, kann die Vision Industrie 4.0 auf breiter Front implementiert werden. Um Synergien zu schaffen und den Adoptionsprozess zu beschleunigen, muss zusätzlich eine „Community“ von Unternehmen geschaffen werden, in der alle für die Umsetzung der Vision relevanten Rollen vertreten sind und in der neues Wissen zu Industrie 4.0 permanent ausgetauscht und diskutiert wird. Der Aufbau einer solchen Community muss des Weiteren notwendigerweise mit der Implementierung von Demonstrations- und Testumgebungen verbunden sein. Neue Technologien und Lösungen müssen Funktion und Nutzen zunächst in einer Laborumgebung praxisnah nachweisen, bevor entsprechende Produkte und Dienstleistungen in der wirtschaftlichen Praxis installiert und betrieben werden.

## 2 Industrie 4.0 und CPS als Herausforderung und Chance für den Mittelstand

Vorhandene Visionen müssen für die Praxis im wahrsten Sinne des Wortes begreifbarer werden.

---

Die vierte industrielle Revolution spielt nicht nur für finanzkräftige Pioniere aus dem Bereich der Großkonzerne eine Rolle. Gerade dem Mittelstand, verstanden als der eigentliche Innovationsmotor der deutschen Wirtschaft, kommt eine besondere Bedeutung zu. Im Folgenden wird beschrieben, warum sich gerade mittelständische Unternehmen intensiv mit dieser Thematik auseinandersetzen sollten, welche konkreten Fragestellungen in diesem Zusammenhang zu klären sind und welches Ziel vor diesem Hintergrund mit der vorliegenden Studie erreicht werden soll. Am Ende dieses Abschnitts finden sich eine knappe Beschreibung des Vorgehens und ein Überblick über die Inhalte der folgenden Kapitel.

### 2.1 Die vierte industrielle Revolution als Asset im globalen Wettbewerb

Die „vierte industrielle Revolution“ ist in Politik und Wissenschaft ein Dauerbrenner. Mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien sollen Wertschöpfungsprozesse insbesondere in der produzierenden Wirtschaft digitalisiert und die Produktion effizienter, flexibler und agiler werden. Aktuell wenden Bund und Länder viele öffentliche Mittel für dieses Thema auf. Beispielsweise plant die Bayerische Staatsregierung in den kommenden fünf Jahren viele Millionen Euro in entsprechende Forschungsprojekte zu investieren und auch auf Bundesebene existiert eine ganze Reihe von Programmen zum gleichen Thema. Die Bedeutung von Industrie 4.0 für die Wirtschaft wird in einer Studie [Bauer et al. 2014] deutlich, die vom BITKOM in Auftrag gegeben und vor wenigen Monaten auf den Internetseiten der Plattform Industrie 4.0<sup>1</sup> veröffentlicht wurde. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO erwarten als Autoren dieser Studie in den Branchen Automobil, Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik, Chemie, Informations- und Kommunikationstechnik und der Landwirtschaft bis 2025 ein zusätzliches Wertschöpfungspotenzial von 78 Mrd. Euro. Das Potenzial setzt sich zusammen aus innovativen Produkten, neuen Dienstleistungen und Geschäftsmodellen sowie effizienteren betrieblichen Abläufen. Die entsprechenden Anwendungen dafür sollen sich über die gesamte Wertschöp-

---

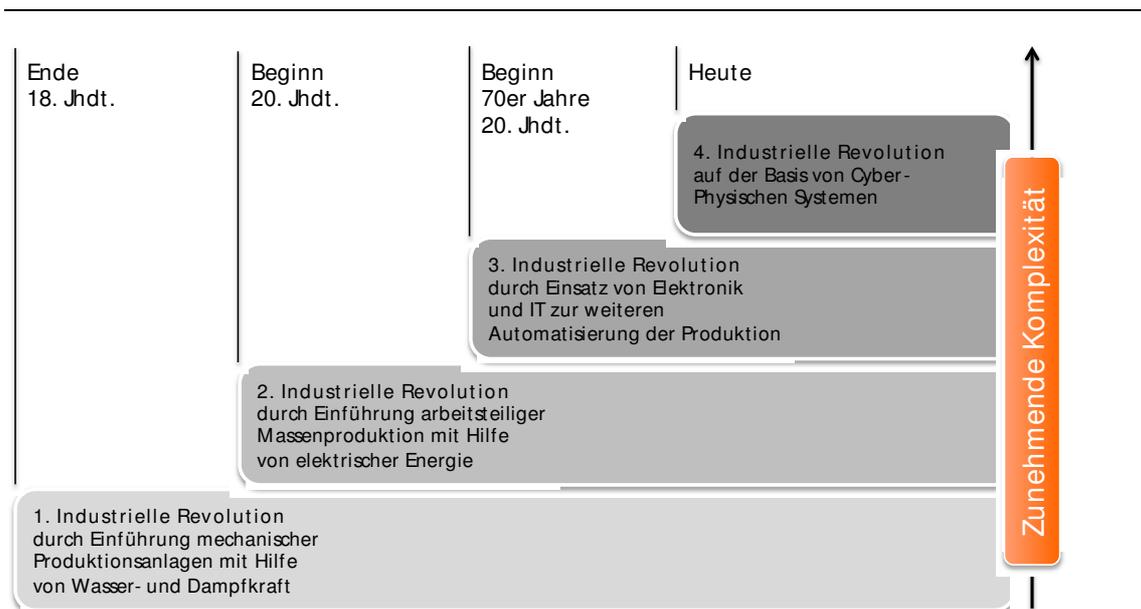
<sup>1</sup> Die Plattform Industrie 4.0 wird getragen vom Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM), vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) sowie vom ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Die Verbände wollen das Thema Industrie 4.0 über diese Plattform gemeinsam fördern. Details sind im Internet unter <http://www.plattform-i40.de/> zu finden.

fungskette, von Vertrieb über Produktentwicklung, Produktion bis hin zur Logistik erstrecken. Auch die unterstützenden Bereiche in den Unternehmen sollen von der Entwicklung profitieren.

Insgesamt wird dem Thema Industrie 4.0 revolutionärer Charakter zugeschrieben. Die nachfolgende Abbildung macht deutlich, was damit gemeint ist.

Abbildung 1

### Industrie 4.0 im Kontext revolutionärer Entwicklungen in der Produktion



Quelle: In Anlehnung an [Schlick/Stephan/Zühlke 2012]

Experten gehen davon aus, dass „Cyber-Physischen Systemen“, als Basisinnovation hinter Industrie 4.0, ein ebenso hohes Potenzial zugeordnet werden muss wie bspw. der Einführung mechanischer Produktionsanlagen mit Hilfe von Wasser- und Dampfkraft, der Einführung der arbeitsteiligen Massenproduktion mit Hilfe von elektrischer Energie oder dem Einsatz von Elektronik und IT zur Automatisierung der Produktion.

Inwieweit Cyber-Physische Systeme, abgekürzt CPS, diesen Anspruch allerdings tatsächlich einlösen können, ist aktuell zwar noch fraglich, erste Anwendungsbeispiele aus der Praxis deuten aber durchaus großes Potenzial an. Beispielsweise nutzt das Unternehmen Würth CPS, um teure C-Teile-Beschaffungsprozesse eigener Industriekunden vollständig zu automatisieren. Hierzu wurde ein Mehrwegebehälter mit einem mikroelektronischen Etikett ausgestattet, welches nicht nur in der Lage ist, den Füllstand des Behälters anhand einer miniaturisierten integrierten Kamera zu bestimmen, sondern auch neue Teile im Bedarfsfall direkt bei Würth zu bestellen. Der Behälter kommuniziert drahtlos mit der IT-Infrastruktur des Kunden und schickt die Bestellung von hier aus direkt ins Internet. Ein weiteres Beispiel ist das amerikanische Unternehmen GE, das die Produktionsumgebung bei der Fertigung von Batterien inzwischen

großflächig mit Sensornetzen überwacht. Die Sensorinformationen werden mit Qualitätsdaten der Produkte verknüpft und erlauben Rückschlüsse auf Abhängigkeiten zwischen Umgebungsbedingungen und Produktqualität. Auf dieser Basis können Optimierungen vorgenommen werden. Ein drittes Beispiel kommt aus Bayern und betrifft die Maschinenfabrik Reinhausen in Regensburg. In den vergangenen Jahren wurde hier eine Datendrehscheibe entwickelt, welche Produktionsmaschinen in der zerspanenden Fertigung miteinander vernetzt und so einen reibungslosen Durchlauf einzelner Fertigungsaufträge erlaubt. Das Unternehmen hat für diese Lösung bereits einen ersten „Industrie 4.0-Award“ gewinnen können.

Die eben beschriebenen Beispiele machen deutlich, dass das Thema Industrie 4.0 längst keine rein deutsche Angelegenheit ist. Auch in den USA werden Unternehmen in diesem Zusammenhang aktiv. Unter der Bezeichnung „Industrial Internet“ hat die amerikanische Regierung im Zuge der Reindustrialisierung des Landes millionenschwere Programme aufgelegt und es ist absehbar, dass auch andere Länder folgen und mit Deutschland in Wettbewerb treten werden. Die Industrie-4.0-Aktivitäten der Pioniere in Deutschland reichen mittel- und langfristig nicht aus, in diesem Wettbewerb zu bestehen. Der Mittelstand als Innovationsmotor ist vor diesem Hintergrund aufgerufen, sich ebenfalls intensiv mit Industrie 4.0 und den zugrunde liegenden Cyber-Physischen Systemen auseinanderzusetzen und bisherige Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in die Praxis zu überführen. Nur dann wird sich der oben beschriebene volkswirtschaftliche Effekt einstellen. Nur dann wird die Bundesrepublik Deutschland den heute vorhandenen Vorsprung im Bereich der industriellen Produktion erhalten können.

## 2.2 Zielsetzung und Anspruch dieser Studie

Für eine breite Umsetzung der Vision Industrie 4.0 durch die mittelständische Industrie muss diese deutlich greifbarer werden. Letztlich benötigen die Unternehmen klare Vorstellungen zu technologischen Möglichkeiten, praktischen Bedarfen und möglichen Lösungsansätzen. Die vorliegende Studie adressiert diese Lücke und versucht, erste Hinweise zu geben.

Primäre Zielsetzung ist die Entwicklung einer generischen Anwendungs-Roadmap, auf deren Basis mittelständische Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie eigene Strategien zur Umsetzung der Vision Industrie 4.0 entwickeln können.

Auf einer zweiten Detaillierungsebene soll Folgendes erreicht werden:

- Klärung und Abgrenzung relevanter Begriffe
- Identifikation konkreter Bedarfe in den Unternehmen
- Konstruktion und blaupausenartige Beschreibung entsprechender Lösungen
- Bewertung der Lösungen hinsichtlich praktischer Relevanz und Umsetzbarkeit
- Ableitung eines Umsetzungsplans
- Transfer des erarbeiteten Wissens in die Unternehmen
- Erarbeitungen von Handlungsempfehlungen für Wissenschaft und Praxis

Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der Identifikation, Beschreibung und Priorisierung von CPS-Anwendungen für Industrie 4.0. Hierfür ist ein grobes Verständnis der erforderlichen Basistechnologien notwendig. Auch dies soll durch die Studie vermittelt werden. Eine detaillierte Diskussion technischer Details ist nicht Gegenstand der Studie.

### 2.3 Vorgehensweise und Inhalte der nachfolgenden Kapitel

Die oben beschriebene Zielsetzung wurde im Projekt in fünf aufeinander folgenden Arbeitspaketen verfolgt. Diese werden nachfolgend im Detail beschrieben.

#### *Vorgehensweise: Fünf aufeinander folgende Arbeitspakete führen zum Ziel*

---

1. *Durchführung einer Literatur- und Internetrecherche*
  2. *Beschreibung des Stands der Umsetzung der Vision „Industrie 4.0“ und Beschreibung des derzeitigen Stands der Technik*
  3. *Identifikation von Bedarfen und Konstruktion von Lösungen gemeinsam mit ausgewählten Industrieunternehmen*
  4. *Bewertung der gefundenen Lösungen im Rahmen von Expertengesprächen und Aufbau eines Anwendungsportfolios*
  5. *Ableiten einer Roadmap und konkreter Handlungsempfehlungen für die produzierende Wirtschaft und die Wissenschaft*
- 

Zielsetzung des ersten Schritts in der Studie war die Klärung und Abgrenzung wesentlicher Begriffe. Im Rahmen von Literatur- und Internetrecherchen wurden bspw. etwa 20 allgemein gehaltene Studien zum Thema Industrie 4.0 und mehr als 130 wissenschaftliche Artikel zu Cyber-Physischen Systemen gefunden. Auf Basis einer umfassenden qualitativen Inhaltsanalyse konnten für beide Begriffe Arbeitsdefinitionen entwickelt werden, welche die Grundlage für die nachfolgenden Arbeitsschritte bilden. Des Weiteren wurde eine ganze Reihe von Begriffen gefunden, die im Kontext von Industrie 4.0 immer wieder verwendet werden und aus anderen Forschungsfeldern stammen. Hierzu gehören Begriffe wie das „Internet der Dinge“, „Pervasive Computing“ oder das „Internet der Zukunft“. Um Verwirrungen zu vermeiden wurden auch diese Begriffe knapp definiert und gegenüber Industrie 4.0 bzw. gegenüber CPS abgegrenzt. Die erarbeiteten Definitionen und Abgrenzungen sind in Kapitel 3 zu finden.

Im zweiten Schritt wurde der Stand der Umsetzung der Vision Industrie 4.0 in der Praxis analysiert. Insbesondere in Studien und Fachartikeln werden bereits heute unterschiedlichste Anwendungen beschrieben, welche der zuvor erarbeiteten Definition entsprechen. Diese Anwendungen wurden gesammelt und für weitere Arbeitsschritte knapp und strukturiert vorgestellt. Parallel wurden die für die einzelnen CPS relevanten Basistechnologien sowie die für die Umsetzung der Anwendungen gefundenen komplementären Technologien bzw. Innovationen identifiziert und zusammengetragen.

Sämtliche Technologien wurden auf einer ersten Detaillierungsebene hinsichtlich des aktuellen Stands der Technik sowie hinsichtlich aktueller Entwicklungstrends beschrieben. Die Ergebnisse zu diesem Arbeitsschritt werden in Kapitel 4 der vorliegenden Studie zusammengefasst. Im Projekt wurden die hier erarbeiteten Informationen im Wesentlichen für die Konstruktion erster Lösungen im nächsten Schritt benötigt.

Der Fokus des dritten Schritts lag auf der Identifikation konkreter Bedarfe gemeinsam mit Praxisvertretern und der Erarbeitung von Blaupausen für konkrete CPS-basierte Lösungen. In zehn Workshops bei ausgewählten Unternehmen wurden mit Hilfe unterschiedlicher Kreativitätstechniken Bedarfe aufgedeckt und auf einer ersten Detaillierungsebene mit wesentlichen Stakeholdern aus den Unternehmen diskutiert. Pro Workshop entstanden durchschnittlich etwa zehn bis fünfzehn konkrete Ideen. Auch erste Lösungsskizzen wurden in den Workshops erstellt und im Nachgang hinsichtlich vorab festgelegter Beschreibungskriterien ausgearbeitet und dokumentiert. Die Lösungsbeschreibungen aus Kapitel 5 dieser Studie basieren auf den hier entstandenen Dokumenten. Im Rahmen des dritten Arbeitsschritts konnten zusätzlich wertvolle Hinweise zur praktischen Bedeutung der einzelnen Lösungen für die mittelständische Wirtschaft sowie erste Einschätzungen zur Umsetzbarkeit gewonnen werden.

Die im dritten Schritt erzielten Ergebnisse waren Input für das vierte Arbeitspaket. Die Ergebnisse wurden in Form einer Präsentation aufbereitet und im Rahmen von zweistündigen, teilweise persönlichen, teilweise telefonischen Interviews mit insgesamt etwa 40 Anwendungs-, Markt- und Technologieexperten besprochen. Auf diese Art und Weise konnten die Einschätzungen zur praktischen Bedeutung und zur technischen Umsetzbarkeit korrigiert bzw. angepasst werden. Die Resultate wurden anschließend für den Aufbau eines Portfolios mit den Dimensionen „Marktattraktivität“ und „technische Umsetzbarkeit“ herangezogen. Das Portfolio, die im Zusammenhang mit Portfolios üblicherweise zu formulierenden Normstrategien und Empfehlungen für den Umgang mit den einzelnen Anwendungen in Form einer Roadmap sind in Kapitel 6 beschrieben. Die Interviewergebnisse wurden zusätzlich für eine Überarbeitung der Lösungsskizzen verwendet und werden damit auch in Kapitel 5 berücksichtigt.

Im Laufe der Workshops und der Gespräche wurden immer wieder Chancen und Risiken einer Umsetzung der Vision Industrie 4.0 diskutiert. Gleiches gilt für Konsequenzen für die beteiligten Unternehmen und generelle Handlungsempfehlungen. Die Diskussionen wurden über das gesamte Projekt hinweg protokolliert und für den abschließenden Bericht in Form von kurzen Abschnitten inhaltlich zusammengefasst. Sie sind im abschließenden Kapitel 7 für die mittelständische produzierende Wirtschaft sowie für die Wissenschaft aufbereitet. Des Weiteren war der eingangs beschriebene „revolutionäre Charakter“ von Industrie 4.0 in den Gesprächen mit den Praktikern immer wieder ein Thema. In Kapitel 8 findet sich dementsprechend eine kurze Diskussion hierzu.

Es ist die Hoffnung der Autoren und Herausgeber der Studie, dass die zusammengetragenen Informationen die Unternehmen in die Lage versetzen, das Thema Industrie 4.0 und das Konzept der Cyber-Physischen Systeme besser zu begreifen und eine

eigene nachhaltige Strategie im Umgang mit den angesprochenen Basistechnologien und Lösungen zu entwickeln.

## 3 Begriffsklärungen

Cyber-Physische Systeme sind die Basis für Industrie 4.0.

---

Auf den nachfolgenden Seiten werden die bereits weiter vorne eingeführten Begriffe „Industrie 4.0“ und „Cyber-Physisches System“ erläutert. Beide Begriffe existieren seit wenigen Jahren und stehen letztlich für die Weiterentwicklung bzw. für die Konkretisierung bereits früherer in Wissenschaft und Wirtschaft diskutierter Konzepte. Auch diese werden im Anschluss genannt, knapp erläutert und für ein besseres Verständnis von den Begriffen „Industrie 4.0“ und „CPS“ abgegrenzt.

### 3.1 Industrie 4.0

Industrie 4.0 ist Gegenstand vieler Studien, Artikel und Veröffentlichungen. Nach wie vor fehlt es an einer allgemein akzeptierten, mit wissenschaftlichen Methoden aufbereiteten Definition. Einige Erklärungsversuche aus der Literatur sind in der folgenden Tabelle beispielhaft aufgelistet.

*Tabelle 1*

#### **Definitionen des Begriffs „Industrie 4.0“ aus Studien**

<i>Quelle</i>	<i>Definition</i>
Kagermann et al. 2013	Charakteristika laut acatech sind die „...horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke, digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette, vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme.“
Sendler 2013	„Der Kern der Umwälzung [Industrie 4.0] besteht in der vollständigen Durchdringung der Industrie, ihrer Produkte und ihrer Dienstleistungen mit Software bei gleichzeitiger Vernetzung der Produkte und Dienste über das Internet und andere Netze. Diese Veränderung führt zu neuen Produkten und Diensten, die das Leben und Arbeiten aller Menschen verändern, und natürlich erst recht auch ihren Umgang mit Produkten, Technik und Technologien.“
Spath et al. 2014	„Unter Industrie 4.0 wird die beginnende vierte industrielle Revolution nach Mechanisierung, Industrialisierung und Automatisierung verstanden. Zentrales Element sind vernetzte Cyber-Physische Systeme (CPS).“
Wegener 2013	„Produktionseinheiten werden global vernetzt und organisieren sich selbstständig, um Aufträge auszuführen.“

Wolf et al. 2013 „In der Vorstellung der als Industrie 4.0 bezeichneten Weiterentwicklung industrieller Produktions- und Automatisierungsprozesse wird darüber diskutiert, inwieweit neue Entwicklungen der Informationstechnologien wie das Internet der Dinge und Cloud Computing mit klassischen industriellen Prozessen zusammenwachsen und die Produktion effizienter und flexibler machen können.“

Bereits diese wenigen Beispiele machen die Bandbreite der heute vorhandenen Definitionen deutlich. Aus Sicht der Praxis bietet das Begriffsverständnis der bereits erwähnten Plattform Industrie 4.0 eine gute Ausgangsbasis: „Im Mittelpunkt von Industrie 4.0 steht die echtzeitfähige, intelligente, horizontale und vertikale Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen zum dynamischen Management von komplexen Systemen.“ Cyber-Physische Systeme müssen gemäß dieser Definition als die wesentliche technologische Basis für Lösungen und Anwendungen im Bereich der digitalisierten Produktion und für die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 verstanden werden. Vor diesem Hintergrund setzt sich der folgende Abschnitt mit dem Begriff der Cyber-Physischen Systeme auseinander.

### 3.2 Cyber-Physische Systeme

Für ein besseres Verständnis der Rolle „Cyber-Physischer Systeme“ als Basisinnovation hinter der vierten industriellen Revolution ist zunächst eine möglichst allgemeingültige, verbindliche Definition der Begrifflichkeit CPS zu erarbeiten. Tatsächlich existiert bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionsansätze, welche diesem Anspruch jedoch allesamt nicht bzw. nicht in vollem Umfang gerecht werden. Des Weiteren haben eben diese Definitionen ihren Ursprung in einer Vielzahl unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen, wie bspw. der Elektrotechnik und der (Wirtschafts-)Informatik. Im Hinblick auf betriebswirtschaftliche Fragestellungen hingegen können Erklärungsversuche nahezu ausschließlich allgemeinwissenschaftlichen Studien- oder Positionspapieren entnommen werden. Die folgende Tabelle umfasst einige ausgewählte Definitionsansätze, die im Rahmen der Literaturliteraturarbeit zu dieser Studie gefunden wurden.

*Tabelle 2*

#### **Beispiele existierender CPS-Definitionsansätze**

<i>Quelle</i>	<i>Definition</i>
Hansen, Thiel 2012	„Cyber-Physical Systems (CPS) sind hoch vernetzte eingebettete Systeme (Embedded Systems), die über Sensoren die Umwelt erfassen und Aktionen auslösen können.“
Ivanov, Sokolov 2012	“Cyber-physical systems incorporate elements from both information and material (physical) subsystems and processes. These subsystems and processes are integrated

and decisions in them are cohesive. Elements of physical processes are supported by information services. Cyber-physical systems are characterized by decentralization and autonomous behaviour of their elements. In addition, such systems evolve through adaptation and reconfiguration of their structures, i.e. through structure dynamics.”

---

Lee 2009

“The integration of physical systems and processes with networked computing has led to the emergence of a new generation of engineered systems: cyber-physical systems. Such systems use computations and communication deeply embedded in and interacting with physical processes to add new capabilities to physical systems.”

---

Sahingoz 2013

“Technically, CPSs integrate physical devices (e.g., sensors, actuators) with cyber components (e.g., computing, networking, control) to respond intelligently to the dynamic changes of the physical world.”

---

Verl et al. 2012

“These cyber physical systems have sensors and actors and can make decisions based on their own intelligence as well as partially adapt to changing conditions.”

---

Nur auf den ersten Blick erscheinen die Definitionsansätze sehr unterschiedlich. Tatsächlich lassen sich viele Gemeinsamkeiten ableiten. Im Laufe der Studie wurden hierzu mehr als 120 wissenschaftliche Beiträge aus den unterschiedlichsten Disziplinen der letzten zehn Jahre analysiert – eine genaue Datierung des zeitlichen Ursprungs der Begrifflichkeit „Cyber-Physical Systems“ ist aus heutiger Sicht nur schwer möglich.

Wesentliche Merkmale Cyber-Physischer Systeme im Sinne intelligenter Objekte sind demnach die eingebettete Verarbeitung von Daten und Informationen dezentral am Objekt, ein reaktives Verhalten auf Situationen und Umgebungen, ein robustes, fehler-tolerantes und sicheres Systemverhalten, die soziale Kommunikation mit Objekten oder der Umgebung und die zielorientierte Verfolgung eines Auftrages [Pflaum, Hupp 2007]. Eine vielzitierte Studie der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) definiert ganz ähnlich die Erfassung der Realität mittels Sensoren, die aktive oder reaktive Einwirkung auf die Realität, Datenauswertung und -speicherung, die Kommunikation untereinander und mit dem Menschen mittels digitaler Netze sowie die weltweite Verfügbarkeit und Nutzung von Daten und Diensten als ganz wesentliche funktionale Merkmale Cyber-Physischer Systeme [Geisenberger, Broy 2012].

Hinsichtlich der Objekte, die mit Hilfe von Technik in Cyber-Physische Systeme verwandelt werden, macht die Literatur keinerlei Einschränkungen. Im Umfeld von Industrie 4.0 kann es sich hierbei um Zulieferteile, Zwischenprodukte, Endprodukte, Produktverpackungen, Umverpackungen, Mehrwegbehälter, Objektträger in der Produktion, Transporthilfsmittel jeglicher Art, mobile Montagestationen, Fahrzeuge, Kräne, Maschi-

nen und Anlagen sowie um Gebäude und Teile der Infrastruktur handeln. Allen in der Literatur gefundenen CPS ist gemein, dass mikroelektronische Bausteine entweder nachträglich am entsprechenden Objekt angebracht oder in dieses integriert werden. Die Mikroelektronik selbst kann je nach Anwendungsfall und Aufgabe die unterschiedlichsten Funktionen ausführen. Die wesentlichen, in der Literatur immer wieder erwähnten Funktionen werden in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt und mit einigen wenigen Sätzen beziehungsweise Stichpunkten erläutert.

Tabelle 3

### **Funktionen Cyber-Physischer Systeme aus der wissenschaftlichen Literatur**

<i>Funktion</i>	<i>Beschreibung</i>
Integration	CPS integrieren die physische und die virtuelle Welt sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch unternehmensübergreifend. Basis ist hier die eindeutige und automatische Identifikation des Objekts.
Sensorik	CPS sind in der Lage, die Realität mit Hilfe von Sensoren für Temperatur, Druck, Ort etc. zu erfassen und legen damit die Basis für ein umfassendes Monitoring physischer Prozesse.
Daten- und Informationsverarbeitung	CPS verfügen über die technischen Voraussetzungen, Daten und Informationen zu verarbeiten. Mikrocontroller oder Mikroprozessoren sind ein essenzieller Bestandteil eines Cyber-Physischen Systems.
Steuerung und Kontrolle	CPS verfügen über eine gewisse Intelligenz und können auf dieser Basis autonom und ohne zentrale Instanzen zum Beispiel aufgrund eines definierten Regelwerks Entscheidungen treffen und so physische Prozesse kontrollieren.
Vernetzung	CPS verfügen über die technischen Möglichkeiten, mit anderen Cyber-Physischen Systemen, mit in den Unternehmen und Wertschöpfungsketten bereits vorhandenen IT-Systemen und mit dem Menschen zu kommunizieren.
Aktuatorik	CPS können auch über Aktuatoren verfügen und Prozesse aktiv und physisch beeinflussen. Im Zusammenhang mit Robotik-Anwendungen ist diese Fähigkeit von besonderer Bedeutung.
Anpassungsfähigkeit	CPS können das eigene Verhalten in Abhängigkeit vom jeweiligen Kontext auf Basis von gelerntem Wissen anpassen und die eigenen Fähigkeiten weiterentwickeln.

Als Basistechnologien für Cyber-Physische Systeme kommen vor allem Radiofrequenzidentifikation (RFID), Near Field Communication (NFC), drahtlose Sensornetze (WSN), Echtzeitlokalisierungssysteme (RTLS), klassische Telematik-Module, wie sie bereits aus der Containerlogistik bekannt sind, sowie speziell für den jeweiligen Anwendungsfall entwickelte eingebettete Systeme in Frage. In Kapitel 4 werden alle diese Technologien noch detaillierter betrachtet.

Wesentlich in allen gefundenen Definitionen ist vor allem die dezentrale Steuerung und Kontrolle von Prozessen. Im Zusammenhang mit Aktuatorik wird zudem immer wieder auf die „Echtzeitfähigkeit“ bzw. auf das notwendigerweise deterministische Verhalten von CPS hingewiesen. Zudem fällt im Zusammenhang mit der Diskussion unterschiedlicher sensorischer Fähigkeiten immer wieder der Begriff „Big Data“. In einer Reihe von CPS-Anwendungen werden von Sensoren große Mengen an heterogenen Daten erzeugt, die schnell ausgewertet werden müssen, um einen Mehrwert für den Anwender zu generieren. Aus der Zusammenführung all dieser Elemente lassen sich abschließend Arbeitsdefinitionen für den Begriff Cyber-Physischer Systeme, zum einen im weiteren und zum anderen im engeren Sinne, ableiten:

#### *Arbeitsdefinition CPS: Cyber-Physische Systeme im weiteren und im engeren Sinne*

---

*CPS im weiteren Sinne: Bei „Cyber-Physischen Systemen“ handelt es sich um miteinander vernetzte, eingebettete Systeme, welche mittels Sensorik die physische Welt erfassen, steuernd bzw. regulierend auf diese einwirken und die daraus gewonnenen Daten in die virtuelle (Informations-)Welt integrieren.*

*CPS im engeren Sinne: Bei „Cyber-Physischen Systemen“ handelt es sich um verteilte, miteinander vernetzte und in Echtzeit kommunizierende, eingebettete Systeme, welche mittels Sensoren die Prozesse der realen, physischen Welt überwachen und durch Aktuatoren steuernd bzw. regulierend auf diese einwirken. Sie zeichnen sich zudem häufig durch eine hohe Adaptabilität und die Fähigkeit zur Bewältigung komplexer Datenstrukturen aus.*

---

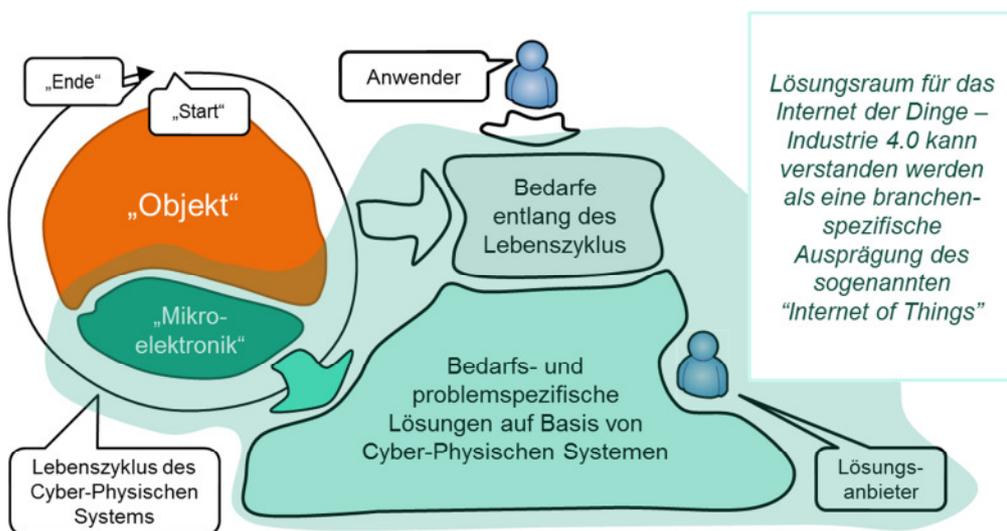
Cyber-Physische Systeme lösen alleine noch kein Problem und müssen vor diesem Hintergrund in einen Anwendungskontext eingebettet werden. Abbildung 2 zeigt CPS als integralen Bestandteil des Internets der Dinge.

Neben „Dingen“, die mit Hilfe integrierter und kommunikationsfähiger Mikroelektronik bis zu einem gewissen Grad intelligent gemacht und in Cyber-Physische Systeme verwandelt werden, sind vor allem „Nutzer“ von Bedeutung, die in ihrer Rolle als Eigentümer oder Besitzer dieser Dinge über deren gesamten Lebenszyklus hinweg spezifische Probleme beziehungsweise Bedarfe formulieren. Darüber hinaus sind unternehmensinterne oder unternehmensexterne „Dienstleistungsorganisationen“ relevant, die mit Hilfe komplementärer Informations- und Kommunikationstechnologien Services bzw. Lösungen anbieten, welche diese Probleme beziehungsweise Bedarfe adressieren. Nimmt

man alle rund um CPS denkbare Lösungen zusammen, entsteht ein detailliertes Bild des „Internets der Dinge“ bzw. des „Internet of Things“, welches definiert werden kann als „... das globale Kontinuum aller, von Unternehmen oder Individuen angebotenen spezifischen Dienstleistungen, welche konkrete, aus Nutzersicht formulierte Probleme und Bedarfe adressieren und auf, in die Dinge selbst eingebetteten, kommunikationsfähigen, mikroelektronischen Modulen sowie auf mehr oder weniger ausgedehnten informations- und kommunikationstechnischen Systemen basieren.“ [Prockl/Pflaum 2013, S. 109] Industrie 4.0 kann letztlich als eine branchenspezifische Ausprägung des Internets der Dinge verstanden werden.

Abbildung 2

### **Cyber-Physische Systeme als Bestandteil des Internets der Dinge**



Quelle: [Prockl/Pflaum 2013]; Fraunhofer IIS

In der Literatur sind bereits heute eine ganze Reihe spezifischer Lösungen zu finden, die in den Industrie-4.0-Kontext problemlos eingebettet werden können. Die wichtigsten sind nachfolgend kurz aufgelistet:

- Steigerung der Effizienz von Produktionsprozessen durch sequenziell miteinander vernetzte intelligente Maschinen
- Realisierung energieeffizienter Produktion durch verteilte und autonome Koordination von miteinander vernetzten Maschinen
- Großflächige Erfassung von Umgebungsdaten als Basis für die Steuerung der Produktqualität insbesondere im Bereich der Prozessindustrie
- Weitgehend automatisierte Wartungs- und Reparaturprozesse auf Basis intelligenter Produktionsmaschinen, Montagearbeitsplätze und Anlagen
- Nutzung smarter Flurförderzeuge als Basis für das Monitoring und die Optimierung produktionslogistischer Prozesse

- Monitoring und Steuerung smarterer Behälter für den Transport von Zwischenprodukten zwischen Maschinen und Produktionsstandorten
- Vollständig automatisierte Nachlieferung von C-Teilen mit Hilfe eines intelligenten Regals bzw. mit Hilfe eines intelligenten Behälters

Einige dieser Lösungen werden in Kapitel 5 wieder aufgegriffen. Die Tatsache, dass für alle diese Anwendungen bereits heute beispielhafte Realisierungen in der Praxis existieren, zeigt, dass Industrie 4.0 längst keine reine Vision mehr ist. Die Umsetzung der Vision hat tatsächlich bereits begonnen.

### 3.3 Abgrenzung zu weiteren Begriffen

Neben dem Begriff des Cyber-Physischen Systems tauchen in der Literatur weitere, ähnliche Termini auf. Nachfolgend werden die wichtigsten genannt, kurz erläutert und gegenüber dem erstgenannten inhaltlich abgegrenzt.

Tabelle 4

#### **Abgrenzung weiterer Begriffe rund um „Industrie 4.0“ und „CPS“**

Begriff	Erläuterung
Machine-to-Machine (M2M)	Mit Machine-to-Machine bzw. M2M ist der automatisierte Informationsaustausch zwischen Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Containern gemeint. Die einzelnen Objekte kommunizieren miteinander und / oder mit einer zentralen Leitstelle. Als Kommunikationsmedien kommen vor allem das Internet und die vorhandenen Mobilkommunikationsnetze zum Einsatz. Die Fernüberwachung und -wartung von Maschinen und Anlagen, früher als Telemetrie bezeichnet, ist eine typische Anwendung. Bei M2M werden Informations- und Kommunikationstechnologien eng miteinander verknüpft [vgl. Bach et al. 2011]. Grundsätzlich weisen M2M und CPS große Ähnlichkeit miteinander auf. Die entsprechenden Lösungen basieren auf ähnlichen Technologien. Allerdings steht bei M2M vor allem die Kommunikation und bei CPS die dezentrale Steuerung im Vordergrund.
Pervasive Computing	Pervasive Computing ermöglicht es, Menschen jederzeit und überall mit Informationen und Dienstleistungen zu versorgen, Mobilität und kabellose Technologien spielen dabei eine entscheidende Rolle, wobei das Internet eine wichtige technologische Grundlage für entsprechende Lösungen darstellt. Der Begriff wurde vor allem durch das amerikanische Unternehmen IBM geprägt [vgl. hierzu auch Mattern, 2003]. Mit dem Begriff des Pervasive Computing wird vor allem ein Zukunftsbild für die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen

gezeichnet. Im Gegensatz hierzu steht bei Cyber-Physischen Systemen vor allem die Kommunikation zwischen Maschinen, der Umgebung und dem Menschen im Vordergrund. Hinsichtlich der Basistechnologien existieren starke Überschneidungen.

---

#### Ubiquitous Computing

Die Vision des Ubiquitous Computing geht auf ein Projekt am Xerox Palo Alto Research Center zurück, in dem in den späten 1980er Jahren versucht wurde, den PC-Bildschirm durch neue Arten von Displays mit völlig neuen Bedienformen zu ersetzen. Die situative und gemeinsame Nutzung von Technologie durch den Menschen und nicht die Technologie stand im Vordergrund. Infolge entstand ein neues Forschungsfeld, bei dem die reale Welt durchsetzt ist von Sensoren, Aktuatoren, Displays und miniaturisierten Computern, eingebettet in alltägliche Gegenstände und vollständig vernetzt durch robuste und flexible Kommunikationsverbindungen [Weiser et al. 1999].

Im Gegensatz zu CPS stand bei Ubiquitous Computing wie beim Pervasive Computing eher der Mensch im Vordergrund. Zentrale Frage war hier, wie sich den Menschen umgebende Informationssysteme in vertrauenswürdige Werkzeug verwandeln lassen, die alleine dazu dienen, ein gesetztes Ziel zu erreichen.

---

#### Ambient Intelligence

Bei Ambient Intelligence stehen sensitive elektronische Umgebungen, die menschliche Aktionen interpretieren, darauf antworten und menschliche Bedürfnisse zielgerichtet erfüllen, im Vordergrund. Der ursprünglich von Philipps getriebene Ansatz bezieht sich nicht auf einzelne alltägliche Gegenstände, sondern auf die gesamte Umgebung; neue Formen einer intuitiven Interaktion zwischen Menschen und der Umwelt sollen hier entwickelt werden. Ziel ist höhere Effizienz des menschlichen Tuns, gesteigerte Kreativität und vor allem ein verbessertes persönliches Wohlbefühl [vgl. hierzu auch Aarts et al. 2001].

Im Gegensatz zu CPS liegt der Fokus hier auf der Unterstützung von Menschen bei ganz alltäglichen Aktivitäten. Cyber-Physische Systeme können hierzu beitragen und müssen als wichtige Basistechnologie für die Realisierung von Anwendungen im Bereich des Ambient Intelligence verstanden werden.

---

## 4 Basistechnologien für Industrie 4.0

Unterschiedliche technologische Trends wachsen zusammen und verändern das Gesicht von Informationssystemen auch in der Produktion.

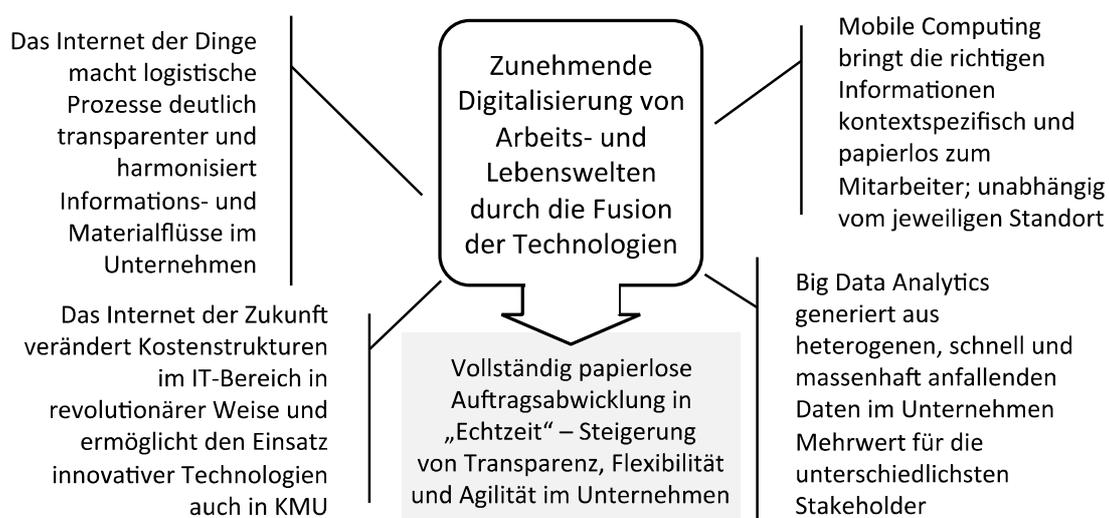
Im Zusammenhang mit aktuellen und zukünftigen Industrie-4.0-Anwendungen spielen die unterschiedlichsten Technologien eine Rolle. Auch wenn im Rahmen dieser Studie vor allem Bedarfe und Lösungsansätze im Vordergrund stehen, ist für die Auseinandersetzung mit dem Thema und die Entwicklung unternehmensspezifischer Strategien ein gutes Verständnis der relevanten Technologien, ein grobes Bild der technologischen Leistungsfähigkeit und der aktuellen Entwicklungen und Trends erforderlich. Entsprechende Informationen sind im nachfolgenden Kapitel zusammengetragen. Am Ende des Kapitels wird der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Basistechnologien in einem Gesamtbild dargestellt und erläutert.

### 4.1 Industrie 4.0 und Cyber-Physische Systeme im Kontext der Digitalisierung

Basis für die Realisierung der Vision hinter Industrie 4.0 ist die zunehmende Digitalisierung von Lebens- und Arbeitswelten. Die wesentlichen technologischen Trends, die in Wissenschaft und Forschung und zunehmend auch in der Praxis mit dem Thema Digitalisierung verbunden werden, sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 3

#### **Technologische Trends hinter der digitalisierten Produktion**



Quelle: Fraunhofer IIS

## 4.2 Technologietrends im Detail

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Trends knapp im Hinblick auf den Stand der Technik, die aktuelle Weiterentwicklung und die Bedeutung für die Umsetzung der Vision hinter Industrie 4.0 beschrieben.

### 4.2.1 Internet der Dinge für die Integration von physischer und materieller Welt

Basistechnologien des Internets der Dinge helfen dabei, alltägliche Gegenstände in Cyber-Physische Systeme zu verwandeln, und sind die Basis für die Integration und Harmonisierung von Informations- und Güter- bzw. Materialflüssen in unternehmens-internen und unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die einzelnen Technologien und zeigt, inwieweit diese das Funktionsprofil eines typischen Cyber-Physischen Systems erfüllen. Im Anschluss sind die einzelnen Technologien kurz charakterisiert.

Abbildung 4

#### **Basistechnologien des Internets der Dinge im CPS-Kontext**

Basistechnologien	CPS-Funktionen						
	Integration	Steuerung und Kontrolle	Daten- & Info-verarbeitung	Sensorik	Vernetzung	Anpassungs-fähigkeit	Aktuatorik
Radiofrequenzidentifikation (RFID)	X	X					
Near Field Communication (NFC)	X	X	X				
Echtzeitlokalisierungssysteme (RTLS)	X	X	X	X			
Sensornetzwerke (WSN)	X	X	X	X	X	X	
Telematik-Module (TM)	X	X	X	X	X	X	
Eingebettete Systeme (ES)	X	X	X	X	X	X	X

Auto-ID

Quelle: Fraunhofer IIS

Radiofrequenzidentifikation oder RFID wird in der Produktion bereits seit Jahrzehnten eingesetzt. Erste Anwendungen konzentrierten sich vor allem auf die automatische Identifikation von Produkten oder Objektträgern über kurze Entfernungen zum Beispiel in den fest verketteten Fertigungslinien der Automobil- oder der Elektronikindustrie. Die Fähigkeit, Daten mobil zu speichern, wurde hier bereits für eine dezentrale Steuerung von Produktionsmaschinen angewandt. Seit etwa zehn bis fünfzehn Jahren existieren neuartige RFID-Technologien, die eine Identifikation auf größere Entfernungen von zehn Metern und mehr und damit auch die Überwachung und Steuerung logistischer Prozesse in den Wertschöpfungsketten der Wirtschaft ermöglichen. RFID zählt zu den Auto-ID-Technologien und unterstützt damit insbesondere die Integration von Informations- und Materialflüssen.

Near Field Communication oder NFC wird oft mit klassischen Auto-ID-Technologien verglichen, leistet aber deutlich mehr. Die Technologie wurde ursprünglich für drahtlose Bezahlvorgänge über sehr kurze Entfernungen entwickelt und erlaubt tatsächlich die automatische Identifikation eines Gegenübers. Sie eignet sich aber auch für die Realisierung sicherer drahtloser Kommunikationsprozesse zwischen gleichberechtigten Partnern („Peer-to-Peer-Kommunikation“). Mikroelektronische Module, in alltägliche Gegenstände integriert und mit einer NFC-Schnittstelle ausgestattet, können nicht nur Informations- und Materialflüsse miteinander verknüpfen, sondern auch Daten verarbeiten und Prozesse in der Produktion steuern. Insbesondere im Bereich der Wartung kommt die NFC-Technologie als Kommunikationsschnittstelle zwischen Maschinen und mobilen Terminals des Wartungspersonals bereits zum Einsatz.

Heute am Markt verfügbare Echtzeitlokalisierungssysteme oder RTLS dienen primär der Positionsbestimmung. Neben Baken-Systemen, bei denen in den Boden versenkte RFID-Etiketten mit mobilen Lesegeräten zu Ortungszwecken gelesen werden, existieren Systeme für die Positionsbestimmung mobiler Geräte in bereits vorhandenen Kommunikationsnetzen (z. B. WLAN) sowie Systeme, die auf dedizierten Lokalisierungsinfrastrukturen basieren. Existierende Produkte erreichen Genauigkeiten von wenigen zehn Zentimetern, bei intensiverem Technologieeinsatz und unter kontrollierten Rahmenbedingungen sogar darunter. Allerdings muss Genauigkeit bezahlt werden. Je höher die Anforderungen an die Lokalisierung, desto teurer sind die entsprechenden Systeme. Unabhängig hiervon garantieren die Hersteller die Leistungsfähigkeit nur unter ganz bestimmten Rahmenbedingungen. Vor allem im Bereich herausfordernder Produktionsumgebungen verursacht dieser Punkt aus Anwendungssicht immer wieder Probleme.

Bei drahtlosen Sensornetzen oder WSN stehen die Erfassung von Umgebungsparametern und die kommunikationstechnische Vernetzung im Vordergrund. Im Gegensatz zu RFID und RTLS reden Sensorknoten nicht mit einer entfernten Basisstation, sondern miteinander. Heute verfügbare Kommunikations- und Vernetzungsprotokolle lassen dynamische und robuste Strukturen zu, in denen sich Informationen im sogenannten „Multi-Hop-Verfahren“ von einer Quelle durch das Netz bis hin zu einem Gateway und von dort in vorhandene IT-Systeme bewegen. Im Gegensatz zu anderen Technologien sind hier äußerst flexible und vor allem kostengünstige Kommunikationsinfrastrukturen möglich, mit deren Hilfe Transparenz in nahezu jedes Logistiksystem gebracht werden kann. Sensornetze werden aktuell bspw. im Rahmen von Pilotprojekten für das Management teurer Mehrwegbehälter in globalen Wertschöpfungsketten eingesetzt. Auch eine grobe Lokalisierung von Objekten ist mit der Technologie möglich.

Der Einsatz von Telematik-Modulen, hier abgekürzt mit TM, ist seit vielen Jahren aus der Containerlogistik bekannt. Mikroelektronische Etiketten mit integrierten GPS-, GSM- und Sensormodulen überwachen internationale Versorgungsketten und sind zunehmend in der Lage, die hierfür erforderliche Energie direkt aus der Umgebung zu gewinnen. In den letzten Jahren wurden die ursprünglich großen Systeme weiter integriert und miniaturisiert. Inzwischen existieren Produkte in Größe einer Zigaretten-

schachtel, die für das Monitoring von Paketen oder aber auch für die Überwachung von Maschinentransporten im internationalen Seeverkehr herangezogen werden können. Wie Sensornetze auch bietet diese Technologie nahezu alle Funktionen, die weiter vorne den Cyber-Physischen Systemen zugeschrieben wurden.

Abschließend sind noch die für spezifische Anwendungszwecke angepassten eingebetteten Systeme (ES) zu nennen. Inzwischen existieren sowohl an Universitäten und außeruniversitären Forschungsinstituten sowie bei Technologieanbietern aus der Wirtschaft eine ganze Reihe von Technologieplattformen für eingebettete Systeme, die permanent weiterentwickelt werden und für die effiziente und effektive Entwicklung von komplexen und anspruchsvollen Cyber-Physischen Systemen herangezogen werden können. Im Vordergrund aktueller Forschungsprojekte stehen vor allem Anstrengungen, die Technik robuster und zuverlässiger zu machen. Für die Steuerung von Aktuatoren ist deterministisches Verhalten im Bereich der Datenverarbeitung und der Kommunikation, vor allem beim Einsatz drahtloser Kommunikationsmedien, erforderlich.

Welche der genannten Technologien in einem konkreten Praxisfall zum Einsatz kommt, muss die Anwendung entscheiden. Ein großer Teil der im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Lösungen lässt sich mit vorhandenen Produkten und Plattformen bereits heute umsetzen. Für andere wiederum sind technologische Weiterentwicklungen erforderlich. Nachfolgend sind wesentliche Trends und Entwicklungen genannt, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind:

- Reduktion der Produktionskosten durch Miniaturisierung und Integration mikroelektronischer Schaltungen.
- Steigerung der Leistungsfähigkeit einzelner Technologien durch Weiterentwicklung und Kombination unterschiedlicher technischer Lösungsansätze.
- Erhöhung der Leistungsfähigkeit intelligenter Cyber-Physischer Systeme durch Verschmelzung unterschiedlicher Technologien („Sensordatenfusion“).
- Aufbau flexibler Technologieplattformen im Hinblick auf höhere Effizienz bei der Entwicklung anwendungsspezifischer Lösungen.
- Erhöhung der Energieeffizienz sowohl passiver als auch aktiver Systeme durch verbessertes Energiemanagement und die Gewinnung von Energie aus der Umgebung („Energy Harvesting“).
- Entwicklung robuster und sich deterministisch verhaltender Systeme vor allem für zeit- und sicherheitskritische Automatisierungsaufgaben.
- Steigerung der Datensicherheit im Bereich der drahtlosen Kommunikation durch verbesserte Kommunikationsprotokolle und sichere Hardware.

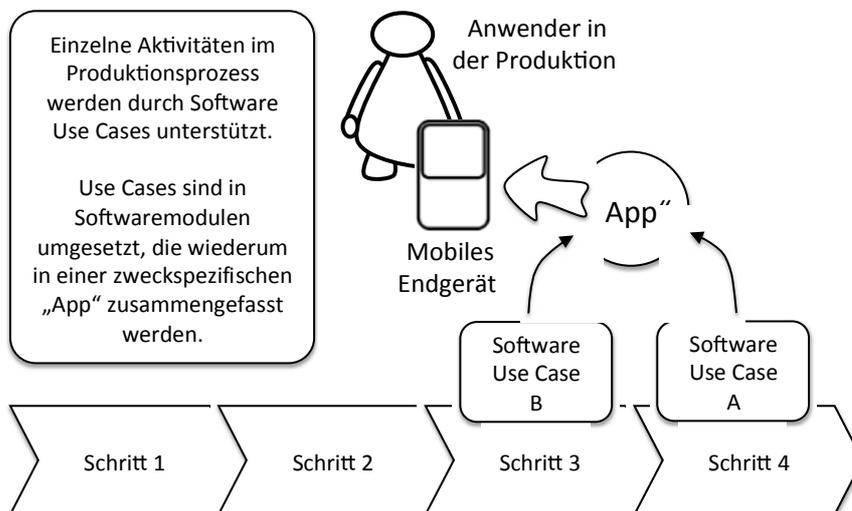
Im Hinblick auf die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 sind die weiter oben beschriebenen Basistechnologien des Internets der Dinge ein ganz essenzielles Element. Sie bringen Mikroelektronik in alltägliche Gegenstände und schaffen damit die Voraussetzung für die dezentrale Steuerung von Produktionsprozessen. Maschinen, Produkte, Transporthilfsmittel und Infrastrukturbauwerke werden „intelligent“, beginnen miteinander zu kommunizieren und entwickeln so die Fähigkeit, den menschlichen Nutzer bei seinen täglichen Aufgaben bestmöglich zu unterstützen.

## 4.2.2 Mobile Computing als Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine

Das vielgeliebte Smart Phone ist aus dem Alltag des modernen Menschen nicht mehr wegzudenken. In vielen Bereichen des Lebens ist die Kombination aus leistungsfähiger technischer Plattform und problemlösenden, für einen klar definierten Anwendungszweck entwickelten und kostengünstigen „Apps“ zu einem wichtigen Helfer geworden. Es ist mehr als absehbar, dass sich diese Kombination, gemeinhin auch als „Mobile Computing“ bezeichnet, auch im Bereich des wirtschaftlichen Lebens und hier auch in der Produktion durchsetzen wird. Abbildung 5 zeigt die Grundidee hinter Mobile Computing.

Abbildung 5

### Grundidee hinter Mobile Computing



Quelle: Fraunhofer IIS

Nach der Einführung des iPhone im Jahr 2007 sind eine ganze Reihe weiterer ähnlich gestalteter Geräte entwickelt worden, die sich hinsichtlich der Basisidee nicht voneinander unterscheiden und sich den Markt teilen. Hierzu zählen bspw. das „Google-Phone“ von Samsung oder andere auf dem Android-Betriebssystem basierende Geräte. Vervollständigt wird die Palette der heute verfügbaren Varianten durch weitere Geräte, die auf den Betriebssystemen von Microsoft oder Linux basieren. Inzwischen sind auch robuste Geräte für den Industrieinsatz, zum Beispiel von Motorola, auf dem Markt verfügbar. Eine Alternative zu den einfachen Smart Phones sind die sogenannten „Pads“, allen voran das iPad von Apple. Ein größerer Bildschirm und weitere zusätzliche Features verbessern den Bedienkomfort und auch hier sind Varianten zu erwarten, die den harten Einsatz in industriellen Umgebungen gut überstehen. Ob den Smart Phones und Smart Pads allerdings genügend Zeit bleibt, sich in der Industrie zu verbreiten, ist für den Moment eine offene Frage. Inzwischen ist Google einen Schritt weiter gegangen und hat die „Google Glasses“, eine Brille mit integriertem Display,

vorgestellt. Informationen zwischen Mensch und Maschine werden hier direkt über die Brillengläser ausgetauscht. Denkbar ist auch, dass sich die unterschiedlichen Geräteklassen zukünftig den Markt teilen. Es mag Anwendungen geben, die mit einem Smart Phone oder Smart Pad und andere, die mit einer „Brille“ besser bedient werden. Welche Variante jeweils die bessere ist, muss die Zukunft zeigen.

Softwareseitig wurde in den vergangenen Jahren für die eben beschriebenen Endgeräte eine ganze Reihe von Basisdiensten entwickelt. Wie bei den weiter vorn beschriebenen Basistechnologien für das Internet der Dinge geht es auch hier um die Identifikation von Gegenständen, die Erfassung von Sensordaten, die Positionsbestimmung, die Speicherung und Verarbeitung von Daten sowie um Kommunikation und Vernetzung. Als weitere Funktion kommt die Schnittstelle zum Menschen hinzu. Über einen Touch-Screen und über akustische Signale bzw. Spracheingabe können Informationen zwischen dem technischen System und dem menschlichen Nutzer eingegeben, ausgegeben oder ausgetauscht werden. Sogenannte „Apps“, die in der Regel für einen spezifischen Anwendungszweck entwickelt werden und meist einen stark begrenzten Funktionsumfang aufweisen, sind auf dem Gerät hinterlegt und können über den Bildschirm einfach und elegant gesteuert werden. Der Phantasie des App-Programmierers sind hier keine Grenzen gesetzt. Grundsätzlich lässt sich jeder Dokumentations- oder Steuerungsvorgang in der Produktion mit einer entsprechenden App unterstützen. Herausforderung ist, die nötigen Software Use Case in umfassender Weise zu identifizieren, in Modulen zusammenzufassen und diese programmiertechnisch so umzusetzen, dass dem Anwender die Aufgabe soweit wie möglich erleichtert wird. Auch der Einsatz von Virtual-Reality-Technologien ist auf den heute vorhandenen mobilen Endgeräten denkbar. Vor allem Brillen mit integriertem Display stellen hierfür eine gute Basis dar.

Nachfolgend werden einige Trends und Entwicklungen aufgeführt, die im Zusammenhang mit Mobile Computing von Bedeutung sind:

- Integration von Technologien für die automatische Identifikation von Gegenständen in die verfügbaren Endgeräte.
- Implementierung unterschiedlichster Standards für die Kommunikation über kurze Entfernungen zusätzlich zu den bereits vorhandenen GSM-, WLAN- und Bluetooth-Bausteinen.
- Realisierung von sicheren „End-to-End“-Kommunikationsstrecken für den drahtlosen Austausch von sensiblen Informationen.
- Verbesserung der Lokalisierungsfunktion durch die Verknüpfung unterschiedlicher Lokalisierungstechnologien für den Indoor-Bereich.
- Verschmelzung der heute verfügbaren mobilen Endgeräte mit alltäglichen Gegenständen wie Brillen und Bekleidungsstücken.
- Einsatz sogenannter „Bring-your-own-device“-Ansätze (BYOD) auch innerhalb von Unternehmen.

Neben den im letzten Abschnitt beschriebenen Basistechnologien des Internets der Dinge spielt Mobile Computing eine weitere besondere Rolle im Industrie 4.0 bzw. CPS-Kontext. Mobile Computing realisiert die Schnittstelle zwischen Menschen und

Maschinen. Eine ganz wesentliche Herausforderung ist hier, dass die Schnittstellenprozesse intuitiv und einfach gehalten werden. Im Idealfall ist die Technologie ein Werkzeug, das den Menschen nicht belastet, sondern bestmöglich bei einer Aufgabe unterstützt. Hier kommen die im Zusammenhang mit Pervasive und Ubiquitous Computing vor vielen Jahren bereits entwickelten Ideen erneut zum Tragen.

### **4.2.3 Future Internet als Basis für maßgeschneiderte und effiziente IT**

Die Vision hinter dem Future Internet aus Sicht der Wirtschaft ist die flexible serviceorientierte Unterstützung von Geschäftsprozessen mit IT-Lösungen aus dem Internet. Basis sind modulare Software-Services, die im Internet angeboten werden und Einzelaktivitäten in den Unternehmen generisch unterstützen. Über Anwendungsplattformen, auf die ebenfalls über das Internet zugegriffen werden kann, können die einzelnen Services orchestriert bzw. zu Gesamtlösungen oder Apps zusammengefügt werden, welche, vermittelt über das Internet und in Anspruch genommen von Unternehmen, konkrete Geschäftsprozesse in den Unternehmen unterstützen. In einer ganzen Reihe von Forschungs- und Entwicklungsprojekten wurden in den vergangenen zehn Jahren vor allen Dingen von der Europäischen Union die technologischen Grundlagen für die Umsetzung dieser Vision gelegt. Erste Prototypen sind realisiert, die an den Forschungsprojekten beteiligten Unternehmen versuchen derzeit, die Ergebnisse aus den Projekten in Produkte zu gießen und für potenzielle Anwender nutzbar zu machen.

Letztlich gehen die Ergebnisse in dem seit einigen Jahren parallel zur Entwicklung des Future Internets getriebenen Cloud-Computing-Ansatz auf. Die grundlegenden Ideen hinter dem Internet der Zukunft und der Cloud sind mehr oder weniger identisch. Auch im Falle des Cloud Computing geht es letzten Endes um die vollständige Auslagerung von IT-Hardware, Software und Datenhaltung an einen Dienstleister. Dieser übernimmt und verantwortet die Anschaffung, Installation, Konfiguration, den Betrieb, die Wartung und die Aktualisierung der gesamten Technik. Der Nutzer bezahlt letztlich nur noch eine Dienstleistungsgebühr. Primäre Zielsetzung auf Anwenderseite beim Einsatz von Cloud-Lösungen ist die Einsparung von Kosten und erste Studien zeigen, dass in der Praxis tatsächlich zehn bis zwanzig Prozent, in einzelnen Fällen sogar bis zu dreißig Prozent der vorherigen IT-Kosten eingespart werden können. Selbst große Softwarehäuser wie Oracle und SAP setzen in der Zwischenzeit auf Cloud-Angebote und erzielen einen nicht unbeträchtlichen und stetig wachsenden Umsatzanteil mit entsprechenden Angeboten. Aus technologischer Sicht sind unterschiedliche Umsetzungsalternativen der Cloud-Idee denkbar. Bei der sogenannten „Private Cloud“ können geschlossene Inhouse-IT-Lösungen von einem Drittanbieter entweder „gemanaged“ oder „gehosted“ werden. Im ersten Fall – der „Managed Private Cloud“ – betreibt der Anwender geschäftskritische Anwendungen in einer privaten Cloud-Computing-Umgebung im eigenen Rechenzentrum, lässt aber die Server, die Speichersysteme und die Netzwerkkomponenten von einem externen Dienstleister remote verwalten. Im zweiten Fall – der „Hosted Private Cloud“ – werden die Anwendungen des Kunden in einer Cloud-Computing-Umgebung im Rechenzentrum des Dienstleisters von diesem ausschließlich für den Kunden selbst betrieben. Im Falle einer „Public Cloud“ wiederum teilen sich unterschiedliche Kunden die gleiche Cloud-Umgebung. Neben den drei eben genann-

ten Varianten existieren inzwischen hybride Lösungen, bei denen ein Teil der Anwendungen in einer öffentlich zugänglichen Cloud-Umgebung, ein zweiter Teil in einer privaten betrieben wird. Welche Anwendungen wo im System liegen, hängt vom Geschäft und damit von den konkreten Anforderungen des Kunden ab.

Die Nutzenpotenziale des Future Internets und des damit eng verknüpften Cloud-Computing-Ansatzes liegen auf der Hand:

- Deutliche Kostenreduktion verbunden mit flexiblen Abrechnungsmodellen
- Höhere Verfügbarkeit und Performance
- Gesteigerte Datensicherheit
- Hohe Skalierbarkeit und Flexibilität der IT-Lösung
- Höhere Innovationsfähigkeit und kürzere Implementierungszeiten
- Erhöhung der organisatorischen Flexibilität
- Besserer mobiler und geografisch verteilter Zugriff auf die IT-Ressourcen

Auf der anderen Seite kämpft die Cloud-Computing-Community nach wie vor mit einer Reihe von Schwierigkeiten und Problemen, die an dieser Stelle ebenfalls nicht unerwähnt bleiben dürfen:

- Angst vor Datenverlust auf Seiten der Anwender
- Furcht vor Kontrollverlust, Abhängigkeiten und Machtverschiebungen
- Unsicherheit der Anwender im Hinblick auf Know-how-Verluste
- Zurückhaltung bei Anwendern wegen unklarer Rechtslage
- Intransparente Angebotserstellung und geringe Vergleichbarkeit von Angeboten
- Fehlendes Know-how bei der Ausarbeitung von Service Level Agreements
- Ungeklärte Fragen im Zusammenhang mit Datenschutz

Angesichts der eben genannten Punkte sind in unterschiedlichen Bereichen der Unternehmens-IT heute bezüglich des Cloud-Anteils durchaus verschiedene Wachstumsraten zu verzeichnen. Beispielsweise wächst der Marktanteil im Zusammenhang mit Internet-affinen Applikationen wie z. B. Collaboration-Lösungen, CRM-Systemen und E-Mail-Anwendungen schneller als erwartet. Bei anderen Applikationen wie z. B. bei ERP-Systemen vollzieht sich der Wandel hin zu Cloud-Lösungen deutlich langsamer als gedacht. Insgesamt befindet sich die Cloud dennoch auf dem Vormarsch. Wissenschaft und Forschung arbeitet an der Bewältigung der eben genannten Schwierigkeiten. Nachfolgend sind einige wesentliche, aktuell beobachtbare Trends zu beobachten:

- Die Modularisierung auch komplexer Softwarepakete schreitet zunehmend fort, die Wissenschaft arbeitet an unterstützenden Werkzeugen.
- Im Zusammenhang mit Security-Fragen helfen erste Forschungsergebnisse Ängste abzubauen, Fragen der Datensicherheit treten in den Hintergrund, Fragen zu möglichen Datenverlusten in den Vordergrund.
- Themen wie Big Data, Social Media und Mobile Computing werden im Zusammenhang mit Cloud Computing immer intensiver diskutiert.

Die Bedeutung des Future Internets bzw. des Cloud Computing für Industrie 4.0 liegt nach dieser kurzen Vorstellung der Technologie auf der Hand. Angesichts der zunehmenden Komplexität globaler Wertschöpfungsprozesse und der immer höheren Anforderungen an Flexibilität und Agilität der Fertigung ist eine gezielte Überarbeitung und Optimierung der gewachsenen informationstechnischen Systeme angezeigt. Cloud Computing kann neben den anderen, zuvor vorgestellten Technologietrends hierfür ein hervorragendes Vehikel sein, dessen Innovationskraft nicht zu unterschätzen ist. Offen ist hier allerdings die Frage, welche Applikationen zukünftig in welcher Art von Cloud-Infrastruktur abgewickelt werden. Diese Frage muss zukünftig im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten geklärt werden.

#### **4.2.4 Big Data Analytics als Grundlage für das Generieren von Mehrwert**

Neben dem Internet der Dinge, dem Internet der Zukunft und den Technologien des Mobile Computing ist Big Data Analytics als weiterer Megatrend im Bereich der Unternehmens-IT zu sehen. In der Praxis wird dieser Begriff oft mit der Analyse großer Datenmengen gleich gesetzt. Dieses Verständnis greift allerdings zu kurz. Der BITKOM definiert „Big Data“ wie folgt: „Big Data unterstützt die wirtschaftlich sinnvolle Gewinnung und Nutzung entscheidungsrelevanter Erkenntnisse aus qualitativ vielfältigen und unterschiedlich strukturierten Informationen, die einem schnellen Wandel unterliegen und in bisher ungekanntem Umfang zu Verfügung stehen. Big Data spiegelt den technischen Fortschritt der letzten Jahre wider und umfasst dafür entwickelte strategische Ansätze sowie eingesetzte Technologien, IT-Architekturen, Methoden und Verfahren.“ Wesentliche charakteristische Merkmale für Big Data Analytics sind also:

- Hohe Datenmengen: Anzahl von Datensätzen und Files in der Größenordnung von Yottabytes, Zettabytes, Exabytes, Petabytes und Terabytes
- Hohe Datenvielfalt: Kombination aus Fremddaten und Firmendaten in unstrukturierten, semistrukturierten und strukturierten Formaten wie zum Beispiel Präsentationen, Texte, Videos, Bilder, Tweets, Blogs aber auch Daten aus der Kommunikation mit und zwischen Maschinen
- Hohe Geschwindigkeiten: Datengenerierung und Übertragung konstant erzeugter Daten in „Echtzeit“, z. B. in Millisekunden, Sekunden, Minuten oder Stunden

Nicht immer müssen alle genannten charakteristischen Merkmale bis ins Letzte erfüllt sein, um von Big Data zu sprechen. Industrie 4.0 gilt als anerkanntes Anwendungsfeld für Big-Data-Technologien. Cyber-Physische Objekte generieren hier große Mengen an unterschiedlichsten Daten in hoher Geschwindigkeit. Die Herausforderung ist letztlich, aus diesen Daten einen Mehrwert zu generieren. Hierfür stehen „Big-Data-Analytics“-Verfahren zur Verfügung. Es geht um das Erkennen von Zusammenhängen, Bedeutungen und Mustern. Aufgaben von Big-Data-Technologien liegen dementsprechend in der Datenhaltung, der Gewährleistung des Zugriffs auf die Daten, der analytischen Verarbeitung der Daten und der Visualisierung der Auswertungsergebnisse. Zusätzlich spielen die Datenintegration sowie Daten-Governance und Fragestellungen der Datensicherheit eine Rolle.

Für diese Aufgaben stehen die unterschiedlichsten Technologien zur Verfügung. Unstrukturierte Daten lassen sich bspw. mit NoSQL-Datenbanken bzw. mit nicht-relationalen Datenbanken hoch skalierbar speichern. In-Memory-Datenbanken erlauben den Zugriff auf Informationen in Echtzeit durch eine Verlagerung der zu analysierenden Daten vom langsamen Festplattenspeicher in den Hauptspeicher des Analyserechners. Darüber hinaus existieren Datenbanken, die für schnelle analytische Verarbeitungsprozesse beziehungsweise für die Verarbeitung von Transaktionen optimiert sind. Welche Typen und welche Produkte im Einzelfall erforderlich sind, muss der Anwender in enger Kooperation mit Big-Data-Experten entscheiden. Eine besondere Herausforderung im Big-Data-Umfeld ist der Zugriff auf verteilte Datenbanken mit hoher Skalierbarkeit. Hier kommen bspw. Produkte von Apache, IBM und anderen Unternehmen zum Einsatz. Für derartige Anwendungen wurde mit „MapReduce“ ein Programmiermodell bzw. Framework entwickelt, mit dem sich große Mengen an strukturierten und unstrukturierten Daten parallel auf einem Cluster von Tausenden von Rechnern verarbeiten lassen. Von Unternehmen wie Google werden solche Technologien täglich viele Tausend Male im Rahmen von Analysen genutzt. Darüber hinaus stehen Complex-Event-Processing-Verfahren zur Verfügung, mit denen sich heterogene Datenströme kontinuierlich überwachen und auswerten lassen. Ziel ist hier, Ereignisse aus Datenströmen herauszufiltern, zu aggregieren und mit Ereignissen aus anderen Datenströmen zu neuen, komplexeren Ereignissen zu korrelieren. Das Erkennen komplexer Muster steht hier im Vordergrund. Ein weiteres Verfahren für die Analyse von Big Data sind sogenannte Business Rule Engines, mit denen Daten regelorientiert überwacht und analysiert werden. Wie bei der Datenspeicherung gilt auch bei der Datenanalyse, dass der Anwendungsfall über die Auswahl der Technologie entscheidet. Auch hier empfiehlt sich eine Kooperation mit ausgewiesenen Technologieexperten.

Big Data wird oft in Zusammenhang mit Cloud Computing besprochen. Die Technologie eignet sich sehr gut für die flexible und kostengünstige Analyse großer Datenmengen in kürzester Zeit. Von Vorteil ist hier vor allem die hohe Skalierbarkeit der Rechenkapazität im Netz. Grundsätzlich gilt allerdings, dass Cloud Computing keine zwingende Voraussetzung für Big Data Analytics ist. Ob Big Data Analytics in der Cloud oder auf den eigenen Servern eines Unternehmens stattfindet, hängt wieder von der Anwendung im Unternehmen ab. Unter bestimmten Rahmenbedingungen mag es sinnvoll sein, im Unternehmen entstandene Daten eben auch im Unternehmen zu behalten. Andererseits sollten Daten, die bereits in der Cloud liegen, auch dort analysiert und nicht noch einmal auf teurem Speicherplatz im Unternehmen selbst gepuffert werden.

Nachfolgend werden einige Trends und Entwicklungen aufgeführt, die im Zusammenhang mit Big Data Analytics von Bedeutung sind.

- Im Zusammenhang mit der Analyse von Daten in verteilten Systemen scheint sich vor allem das Open Source Framework Hadoop von Apache im Markt zu etablieren.
- Auch In-Memory-Datenbanken erfreuen sich im Zusammenhang mit Analysen in Echtzeit zunehmender Beliebtheit bei den Anwendern.

- Methoden zur Gewährleistung des Datenschutzes und der Datensicherheit werden zunehmend wichtiger und werden aktuell von einer ganzen Reihe wissenschaftlicher Einrichtungen weiterentwickelt.

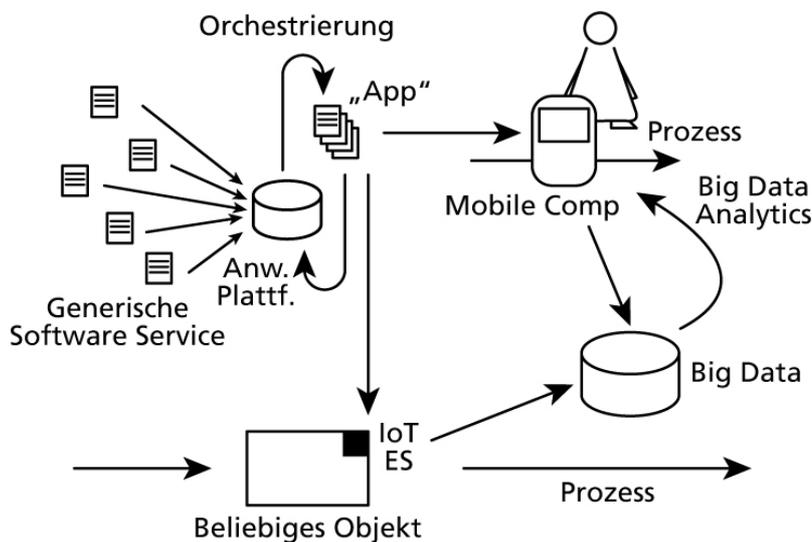
Ohne Zweifel ist Big Data Analytics für Industrie 4.0 von hoher Bedeutung. Mit zunehmender Zahl von CPS-Anwendungen im Unternehmen entstehen immer mehr Daten, die ausgewertet werden müssen. Herausforderung in der Praxis wird sein, nur solche Daten zu generieren und zu verarbeiten, die für die Schaffung von Mehrwert tatsächlich gebraucht werden.

### 4.3 Die unterschiedlichen Technologien im Kontext

Die nachfolgende Abbildung zeigt die in den letzten vier Abschnitten vorgestellten Basistechnologien für CPS-basierte Anwendungen im Industrie-4.0-Kontext noch einmal im Zusammenhang.

Abbildung 6

#### **Basistechnologien von Industrie 4.0 im Kontext**



Quelle: Fraunhofer IIS

Ausgangspunkt für die Konzeption und Realisierung einer neuen, auf CPS basierenden Industrie 4.0-Anwendung ist ein konkreter Bedarf, der vom „User“ oben rechts im Bild formuliert wird. Mit Hilfe der neuen Anwendungen können unterschiedlichste Geschäftsprozesse aus dem Bereich der Beschaffung, der Produktion, der Distribution, des Controllings, der Produktentwicklung sowie der Herstellung der Geschäftsbereit-

schaft unterstützt werden. Gemäß der beschriebenen Vision Industrie 4.0 sind an solchen Prozessen nicht nur der Mensch, sondern auch Cyber-Physische Systeme wie z. B. intelligente Maschinen, Behälter oder Fahrzeuge unterschiedlichster Art beteiligt.

Modulare und verteilte Anwendungssoftware, verpackt in zweckorientierte auf Basis generischer Software-Services aus dem Internet entwickelte „Apps“, wird zukünftig die Abwicklung solcher Prozesse unterstützen. Dabei wird ein Teil der Software auf einem fest installierten Terminal bzw. auf einem mobilen Endgerät, ein weiterer Teil auf dem oder den Cyber-Physischen Systemen und ein dritter auf einer zentralisierten oder verteilten Serverarchitektur in der sogenannten Cloud implementiert sein. Wo Intelligenz bzw. Steuerungsfunktionen hinterlegt sind, hängt von der jeweiligen Anwendung ab. Zwischen der zentralisierten Steuerungsfunktion auf einem einzigen Rechner und einer vollständig verteilten Steuerung eines Geschäftsprozesses über die beteiligten Cyber-Physischen Systeme sind alle möglichen Varianten grundsätzlich denkbar.

Die Apps werden auf einer Anwendungsplattform zur Verfügung gestellt, vom Anwender und den Cyber-Physischen Systemen geladen und anschließend im Prozess verwendet. Die Plattform kann entweder vom Unternehmen selbst oder von einem beliebigen Dienstleister im anonymen Internet betrieben werden. Auch hier sind je nach Anwendungsportfolio im Unternehmen hybride Ansätze denkbar. Der Betreiber der Anwendungsplattform stellt zudem sicher, dass die Anwendungen in hoher Qualität zur Verfügung stehen, dass die Software permanent auf dem aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung gehalten wird und die anwendungsspezifischen Anforderungen hundertprozentig erfüllt werden. Insbesondere im Zusammenhang mit der Steuerung von mechanischen Komponenten stellt dieser Punkt eine Herausforderung dar.

Sowohl Menschen als auch Cyber-Physische Systeme generieren im Rahmen der Abwicklung von Geschäftsprozessen permanent Daten. Wie heterogen diese Daten sind, in welchen Mengen die Daten anfallen und wie schnell sie verarbeitet werden müssen, hängt von der jeweils unterstützten Anwendung ab. Sicher ist, dass Daten entstehen und dass diese im Gesamtsystem gepuffert, ausgewertet und mindestens teilweise archiviert werden müssen. Wie bereits im Zusammenhang mit dem Steuerungsaspekt weiter oben erläutert, kann dies an zentraler Stelle oder im System verteilt sowie innerhalb eines Unternehmens oder außerhalb im Internet bzw. in der Cloud geschehen. Bei bestimmten datenintensiven Anwendungen werden neben den klassischen Verfahren der Datenspeicherung und Datenauswertung auch moderne, unter dem Stichwort „Big Data Analytics“ zusammengefasste Verfahren und Instrumente zum Einsatz kommen.

Der besondere Charme der auf diese Weise miteinander kombinierten Technologien liegt darin, dass zukünftig nicht nur Teile des beschriebenen Systems, sondern das System als Gesamtheit „as a Service“ von Dritten bezogen werden kann. Unerheblich ist hierbei, ob es sich beim Dritten um einen internen Dienstleister oder um einen Lösungsanbieter von außen handelt. Viel wichtiger ist, dass der oben beschriebene Lösungsansatz neue Geschäftsmodelle ermöglicht, bei denen Investitionen, versteckte Kosten etc. nicht mehr von Bedeutung sind, weil all dies in einer pro Transaktion zu entrichtenden Dienstleistungsgebühr enthalten ist. Auch kleine und mittelständische

Unternehmen der produzierenden Wirtschaft, die bisher Investitionen in teure innovative Informations- und Kommunikationstechnologien gescheut haben, können nun von solchen Technologien profitieren, ohne ein allzu großes finanzielles Risiko einzugehen.



## 5 Bedarfe und mögliche Lösungsansätze

Bedarfe und Anwendungen sind sowohl in der Produktion als auch im Bereich der Produktionslogistik zu finden.

Im Rahmen von zehn Arbeitstreffen wurden gemeinsam mit Vertretern der mittelständischen Wirtschaft Bedarfe für CPS-basierte Lösungen identifiziert. Anhand eines einfachen Templates wurden teilweise während der Treffen, teilweise im Nachgang erste Lösungen entwickelt und dokumentiert. Die wichtigsten 14 sind nachfolgend zunächst zusammenfassend aufgelistet und im Anschluss detaillierter beschrieben. Die Darstellungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ziel ist, die Vision hinter Industrie 4.0 greifbarer zu machen und mit Anwendungsbeispielen zu hinterlegen. Mittelständische Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie können im Rahmen von Strategieentwicklungsprozessen prüfen, inwieweit die beschriebenen Anwendungen für das Unternehmen selbst relevant sind. Die Darstellungen sollen darüber hinaus anregen, eigene Vorstellungen zu Industrie 4.0 zu entwickeln, weitere relevante Anwendungen zu suchen und diese nach Möglichkeit umzusetzen.

### 5.1 Identifizierte Anwendungen im Überblick

In der nachfolgenden Tabelle werden die gefundenen Bedarfe bzw. Lösungen kurz genannt und auf einer ersten Ebene beschrieben.

Tabelle 5

#### **Übersicht der gefundenen Industrie 4.0 Anwendungen**

<i>Nr.</i>	<i>Bedarf</i>	<i>Lösungsbeschreibung</i>
1	Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion	Über Sensoren erfasst die Maschine Betriebs- und Prozessdaten und erstellt Stillstandprognosen für die Instandhaltung. Bei Problemen wird das Personal über mobile Endgeräte rechtzeitig informiert.
2	Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen	Über eine Integrationsplattform werden die Planungsdaten auf die Maschinen verteilt. Die Maschinen liefern permanent detaillierte Rückmeldungen zum Fertigungsfortschritt an die Plattform, sodass diese auf Basis aktuellster Daten notwendige Umplanungen durchführen und mitteilen kann.
3	Reduzierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen	Jede Maschine überwacht ihren Energieverbrauch selbst und verhandelt diesen unter Berücksichtigung unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen mit

den übrigen Maschinen im Unternehmen. Hierdurch wird ein gleichmäßiger Gesamtverbrauch ohne hohe Spitzenbelastungen realisiert.

- 
- |   |   |  |
|---|---|--|
| 4 | Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement | Für Werkzeuge werden automatisch Betriebs- und Prozessdaten erfasst und Werkzeuglebensläufe erstellt. Auf dieser Grundlage kann das Werkzeugmanagement auch über Maschinengrenzen hinweg gezielt gesteuert und optimiert werden. |
|---|---|--|
- 
- |   |   |  |
|---|---|--|
| 5 | Vereinfachung informativischer Prozesse an der Maschine | Menschen, die an und mit der Maschine arbeiten, stehen über eine geeignete Schnittstelle mit dieser in Verbindung und werden informationstechnisch so unterstützt, dass sie die eigene Aufgabe bestmöglich und weitgehend unabhängig von erlernten Vorkenntnissen und sonstigen Rahmenbedingungen erledigen können. Jegliches Papier wird überflüssig. |
|---|---|--|
- 
- |   |  |  |
|---|--|--|
| 6 | Erhöhung der Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen | Bauteile und Komponenten werden an Montagearbeitsplätzen identifiziert und deren Einbau in das Endprodukt automatisiert überwacht, informationstechnisch unterstützt und dokumentiert. Ein nachvollziehbares Konfigurationsmanagement wird somit realisiert. |
|---|--|--|
- 
- |   |   |  |
|---|---|--|
| 7 | Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung | Entscheider in der Produktion können über eine Applikation auf einem mobilen Endgerät ihre Feinplanung simulieren, planen und bei Bedarf anpassen. Nach Abschluss der Planungen bzw. nach erfolgten Anpassungen werden automatisiert alle anderen betroffenen Entscheider über die getroffenen Entscheidungen durch ihre eigenen Endgeräte informiert. |
|---|---|--|
- 
- |   |  |  |
|---|--|--|
| 8 | Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung | Teile werden beim Transport und an der Maschine selbst identifiziert, entsprechende Statusmeldungen werden an das ERP-System gesendet. Nach Abschluss des Bearbeitungsschritts an der Maschine werden Stückzahlen rück- und der Auftrag automatisch abgemeldet. Der Status sämtlicher Fertigungsaufträge ist somit wesentlich detaillierter ersichtlich. |
|---|--|--|
- 
- |   |   |  |
|---|---|--|
| 9 | Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter | Der Aufenthaltsort innerhalb des Betriebs verwendeter Behälter wird mit Hilfe von Lokalisierungstechnologien erfasst. Zusätzlich werden den Behältern die entsprechenden Fertigungsaufträge zugeordnet. Suchzeiten und manuelle Identifikationsprozesse von Behältern entfallen weitestgehend. |
|---|---|--|
-

10	Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte	Auf Basis automatisiert erfasster Daten werden für die eingesetzten Flurförderzeuge Kennzahlen gebildet. Hierdurch ist eine Bewertung der Effizienz und eine Optimierung der Prozesse möglich.
11	Durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses	Mit Hilfe von Sensoren in und an der Maschine sowie an sonstigen Arbeitsplätzen werden alle qualitätsrelevanten Parameter automatisiert erfasst. Qualitätsprobleme können anhand der gesammelten Daten sofort erkannt und direkt behoben werden.
12	Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen	Der C-Teile-Behälter überwacht mittels Sensorik seinen Teilefüllstand und gleicht die Ist- mit den Soll-Werten ab. Bei Unterschreiten des Mindestbestands wird automatisch eine Nachbestellung ausgelöst. Der manuelle Aufwand für das C-Teile Management entfällt vollständig.
13	Vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte	Ein intelligenter Behälter wird nach der Beladung aktiviert, Umgebungsparameter während des Transports aufgezeichnet. Bei Manipulation des Behälters oder bei Abweichungen vom vorgegebenen Transportverlauf wird eine Meldung an eine Überwachungsinstanz gesendet. Transportprobleme können somit erfasst und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.
14	Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzleistungen	Die beim Kunden eingesetzten Produkte erfassen mit Hilfe von Sensoren Nutzungsdaten. Auf dieser Basis sind gezielte Weiterentwicklung des Produkts selbst sowie die Konzeption und Entwicklung zusätzlicher produktbegleitender Services möglich.

## 5.2 Die Anwendungen im Detail

Im Anschluss werden die einzelnen Bedarfe bzw. Lösungen auf einer detaillierteren Ebene beschrieben. Folgende Punkte werden adressiert:

- Knappe Beschreibung von Bedarf und Lösungsansatz
- Diskussion der erforderlichen technologischen Bausteine
- Überlegungen zur technischen Machbarkeit
- Überlegungen zur Marktattraktivität
- Zusammenfassendes Profil zur Anwendung

## 5.2.1 Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion

### 5.2.1.1 Bedarf und Lösungsansatz

Während des Produktionsbetriebs kann es zu Maschinenstillständen kommen, sei es durch Umrüstungen, Störungen oder geplante und ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen. Um Rückschlüsse auf zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen für die einzelnen Maschinen zu ermöglichen und Informationen für die Kapazitäts- bzw. Produktionsplanung liefern zu können, müssen Betriebs- und Prozessdaten (bspw. Laufzeiten, gefertigte Stückzahlen, Öltemperatur) sowie Stillstanddaten (Stillstanddauer, Ausfallursache, Häufigkeit etc.) jeder Maschine erfasst und weiterverarbeitet werden können. Bislang erfolgen Instandhaltungsmaßnahmen zumeist präventiv, d. h. nach bestimmten Wartungsplänen bzw. -vorgaben. Eine bedarfsgerechte Instandhaltung erfolgt zumeist nicht, obwohl Maschinen zum Teil bereits über Sensoren verfügen, welche die oben beschriebenen Daten erfassen können. Diese können jedoch meist nicht weiterverarbeitet werden, da die Maschinen nicht in ein System für die Früherkennung von Maschinenausfällen eingebettet sind.

Cyber-Physische Systeme bieten hier einen Lösungsansatz. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion*

---

*Die Maschine erfasst über Sensorik ihre Betriebsdaten (Öltemperatur, Schwingungen, Luftdruck etc.) sowie Prozessdaten (Stückzahlen, Stillstände, etc.) und wertet diese selbst aus, d. h. sie vergleicht die gemessenen Ist-Werte mit den Soll-Vorgaben und prognostiziert Stillstandswahrscheinlichkeiten. Wird von der Maschine ein Problem erkannt, z. B. das Überschreiten der zulässigen Vibration am Maschinengehäuse, wird rechtzeitig vor dem Ausfall der Instandsetzungsprozess ausgelöst. Über eine Integrationsplattform wird eine Störungsmeldung an das ERP-System bzw. an das Instandhaltungspersonal gesendet, die Informationen über das erkannte Problem und benötigte Ersatzteile enthält, sodass die Instandsetzung so schnell wie möglich durchgeführt werden kann. Hierbei kann das Instandhaltungspersonal durch mobile Endgeräte unterstützt werden, auf denen Informationen zu Wartungsmaßnahmen o. ä. angezeigt werden. Die Maschine liefert folglich permanent Performance-Daten, die einerseits eine Echtzeitüberwachung bzw. Fernwartung und andererseits eine präventive, aber bedarfsorientierte Instandhaltungsstrategie ermöglichen.*

---

### 5.2.1.2 Die notwendige Technologie

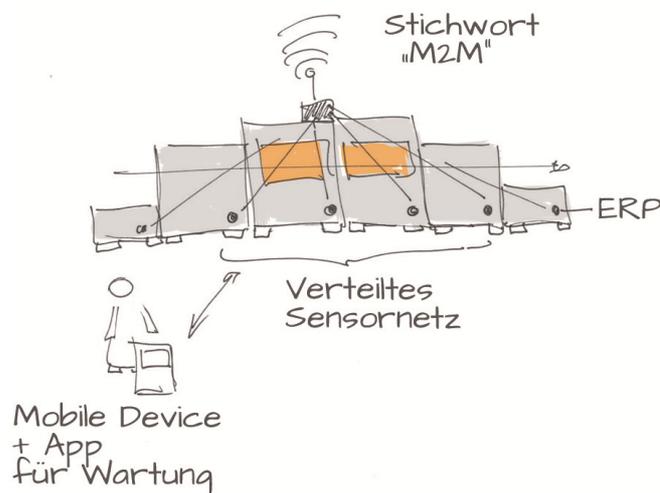
Das Cyber-Physische System ist hier die Produktionsmaschine selbst. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind folgende Funktionen erforderlich:

- Integration: Die Maschine muss mit der Welt der Informationen verknüpft und eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Zur Erfassung der Maschinendaten wie z. B. Vibrationen oder Öltemperatur muss die Maschine über entsprechende Sensoren verfügen.
- Datenverarbeitung: Die Sicherung und Verarbeitung der Daten erfolgt hauptsächlich in der Maschine. Des Weiteren müssen Eingaben und Abrufe von Mitarbeitern verarbeitet werden können.
- Steuerung: Damit potenzielle Störungen unverzüglich gemeldet und entsprechende Maßnahmen angestoßen und unterstützt werden, muss die Maschine regelbasiert Entscheidungen treffen können.
- Vernetzung: Die Maschine muss über eine Integrationsplattform mit dem ERP-System verknüpft sein, um Störungsmeldungen rechtzeitig an das Instandhaltungspersonal senden zu können.

Nachfolgend ist die Lösung grafisch dargestellt. Detailliertere Beschreibungen finden sich direkt im Anschluss.

Abbildung 7

**Bausteine des Lösungsszenarios für eine Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion**



Quelle: Fraunhofer IIS



Die Maschine benötigt Sensorik, um die relevanten Daten zu erfassen. Um die gesammelten Informationen vor Ort an der Maschine zu verarbeiten und Stillstandsprognosen durchzuführen, bedarf es eines leistungsfähigen eingebetteten Rechners in der Maschine. Wird ein Problem erkannt, wird eine entsprechende Meldung via Ethernet oder drahtlos via WLAN über eine Integrationsplattform an das ERP-System gesendet, sodass eine Echtzeitüberwachung bzw. eine entsprechende Reaktion möglich wird.

Für die Einbindung des Menschen in das Anlagenmanagement sind verschiedene komplementäre Bausteine von Bedeutung. Das Instandhaltungspersonal kann mit Hilfe von Mobile-Computing-Ansätzen, z. B. über robuste Tablets, Smartphones oder speziell für die Produktion entwickelte mobile Plattformen unterstützt werden. Des Weiteren ermöglicht die Etablierung eines Benachrichtigungssystems bspw. via E-Mail oder SMS die unmittelbare Benachrichtigung des Personals über Störung sowie Reparatur- und Ersatzteilver schläge. Auch vor Ort im Rahmen der Diagnoseunterstützung können dem Instandhaltungspersonal diese Informationen angezeigt werden, z. B. mit Hilfe von intelligenten Displays oder Augmented Reality. Für den Fall, dass die Maschine bereits über eingebettete und genügend leistungsfähige Mikroelektronik verfügt, erfolgt die Verbindung zum Menschen über eine in die Maschine in der Regel ohnehin schon integrierte Bildschirm-Tastatur-Kombination. Sowohl für mobile als auch für stationäre Ansätze können Apps eingesetzt werden, die für den jeweiligen Anwendungsfall entwickelt und vom Personal für die einzelnen Aufgaben genutzt werden können.

#### 5.2.1.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

An den Produktionsmaschinen ist Sensorik teilweise bereits von Herstellerseite aus vorhanden und kann andernfalls nachgerüstet werden. Eine zentrale Herausforderung ist dabei, zum einen für jede einzelne Maschine die passenden bzw. für eine zuverlässige Ausfallprognose erforderlichen Sensoren zu bestimmen und zum anderen diese in ein entsprechendes Sensoriksystem zu integrieren. Hier ist insbesondere die Kooperation mit den Maschinenherstellern von zentraler Bedeutung, da sie das größte Know-how zu den Maschinen besitzen. Die Kommunikation der von den Sensoren erfassten Daten zwischen Maschine und ERP-System sowie die Benachrichtigungssysteme müssen in Echtzeit und zuverlässig funktionieren. Hierfür bedarf es Integrationsplattformen, die grundsätzlich bereits vorhanden sind und den speziellen Anforderungen entsprechend angepasst werden müssen. Problematisch ist dabei, dass u. U. Maschinen vieler verschiedener Hersteller mit dem System verknüpft werden müssen. Dies erfordert Entwicklungsaufwand, da hierfür keine Standardschnittstellen existieren. Mobile Endgeräte für den Werker und den Einrichter sind grundsätzlich verfügbar. Für die Fertigung fehlen insbesondere bei den Tablets noch robuste Varianten. Bei drahtloser Kommunikation zwischen Maschine, ERP-System und mobilem Endgerät ist insbesondere auch darauf zu achten, dass sich unterschiedliche Funksysteme gegenseitig nicht stören. Auf den Endgeräten einsetzbare Apps müssen den Anforderungen entsprechend spezifiziert und softwaretechnisch umgesetzt werden. Insgesamt sind die einzelnen Technologiekomponenten zwar im Ansatz vorhanden, müssen jedoch den Anforderungen entsprechend angepasst und vernetzt werden. Insbesondere im Zusammenhang mit der passenden Sensorik sind noch grundlegende Fragen zu klären.

#### 5.2.1.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Der Hauptnutzen besteht hier in der Ableitung einer präventiven, bedarfsgerechten Instandhaltungsstrategie, bei der nur dann Instandhaltungsmaßnahmen erfolgen, wenn sie tatsächlich notwendig sind. Diese Strategie basiert auf den erfassten technischen

Daten und den daraus abgeleiteten KPIs wie Produktivität, Maschinenauslastung, Ausschuss, Rüstzeiten, Reaktionszeiten etc. Daraus werden Maßnahmen zur Verminderung von Ausfallzeiten abgeleitet, die letztlich zu Kostenreduktionen führen. Des Weiteren sind durch die Maschinendatenerfassung folgende Nutzenpotenziale erkennbar:

- Höhere Transparenz des Maschinenstatus durch Echtzeitinformationen
- Steigerung von Prozessqualität, Maschinenverfügbarkeit
- Erhöhung der Planungssicherheit
- Schnellere und vereinfachte Instandhaltungsprozesse

Die beschriebene Anwendung ist insbesondere in der Fließfertigung und in komplexen Produktionssystemen relevant, in denen hohe Maschinenverfügbarkeit gewährleistet werden muss, keine Redundanzen bestehen und ein Anlagenstillstand mit hohen Kosten verbunden ist. Es existieren Lösungen, die von einigen Unternehmen bereits eingesetzt werden, z. B. Monitoring mit Wärmebildkameras und Vibrationssensoren. Jedoch handelt es sich hierbei um Spezialanfertigungen und nicht um Standardlösungen. Die gewonnenen Informationen sind dabei nicht nur für die Unternehmen selbst, sondern auch für die Maschinenhersteller relevant, die auf Basis der erfassten Daten ebenfalls ihre Wartungsprozesse beim Kunden optimieren können.

#### 5.2.1.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 8

### **Lösungsprofil für eine Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion**

Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion	
<b>Bedarf:</b>	Präventive und bedarfsorientierte Instandhaltung von Anlagen
<b>Lösungsidee:</b>	Optimierung von Instandhaltungsprozessen durch Nutzung von vernetzter Sensorik an der Maschine in Verbindung mit Mobile-Computing-Ansätzen
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betriebs- und Prozessdaten über Sensorik werden an Maschine erfasst</li> <li>Abgleich Soll-/Ist-Werte und Prognose Stillstandswahrscheinlichkeiten</li> <li>Automatische Störungsmeldung an Instandhaltungspersonal</li> <li>Informationen zu Wartungsmaßnahmen über mobile Endgeräte</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Präventive, bedarfsgerechte Instandhaltungsstrategie</li> <li>Echtzeittransparenz über Maschinen</li> <li>Erhöhung Maschinenverfügbarkeit, Prozessqualität, Planungssicherheit</li> <li>Vereinfachte Instandhaltung durch Unterstützung des Personals</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.2 Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen

### 5.2.2.1 Bedarf und Lösungsansatz

Während in den Endmontagebetrieben der Automobilindustrie und auch in einigen anderen Branchen Produktionsanlagen voll vernetzt und vollständig synchronisiert sind, werden die Aufträge an den einzelnen Bearbeitungsstationen in mittelständischen Betrieben der Metall- und Elektroindustrie in den meisten Fällen unabhängig voneinander bearbeitet. Einzelne Stationen sind informationstechnisch nicht miteinander verknüpft. Nur wenige Unternehmen haben bisher speziell entwickelte Manufacturing-Execution-Systeme im Einsatz. Allerdings erzeugt auch hier die Variantenvielfalt in der Produktion eine hohe Komplexität, die auf Dauer nur durch Koordination beherrschbar ist. Um die vom Kunden geforderte Performance sicher zu erreichen, müssen die Prozessstabilität gewährleistet und Reibungsverluste durch mangelhafte Koordination unbedingt vermieden werden. An den Erfahrungen, die bereits in anderen Branchen mit vernetzten Maschinen gesammelt wurden, kann sich der Mittelstand orientieren. Die Weiterentwicklung von Maschinen in Richtung Cyber-Physische Systeme und deren Vernetzung über eine entsprechende Integrationsplattform bieten hier einen Lösungsansatz.

Folgendes Beispiel zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen*

---

*Zukünftig werden Planungsdaten für die Fertigung aus den bereits im Unternehmen vorhandenen Planungssystemen an eine Integrationsplattform weitergeleitet, die wiederum die Daten auf die betroffenen Maschinen verteilt. Die Maschinen verarbeiten die Informationen, starten die Bearbeitung und liefern permanent Rückmeldungen zum Fertigungsfortschritt sowie Leistungsdaten, Informationen zum Zustand der Maschine und zu den verwendeten Werkzeugen an die Integrationsplattform. Auf Basis der rückgemeldeten Daten kann die Integrationsplattform sicherstellen, dass die Fertigungsaufträge synchronisiert und vor allem reibungslos ablaufen. Kritische Situationen im Fertigungsprozess, wie z. B. der Ausfall einer Maschine oder ein unerwartet erforderlicher Werkzeugwechsel, können ad hoc und vollautomatisch eingeplant und bei der Steuerung der Maschinen berücksichtigt werden. Somit kann eine hohe Prozessstabilität gewährleistet werden. Auftragsspezifische Daten, die für die Planungssysteme im Hintergrund erforderlich sind, werden von der Integrationsplattform direkt an diese weitergereicht.*

---

### 5.2.2.2 Die notwendige Technologie

Der Verbund der Produktionsmaschinen repräsentiert hier gemeinsam mit der Integrationsplattform das Cyber-Physische System. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind folgende Funktionen erforderlich:

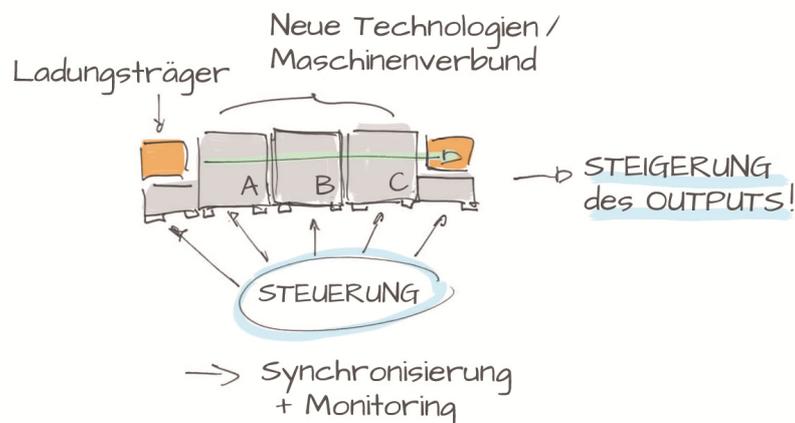
- Integration: Die einzelnen Maschinen müssen für die Integrationsplattform eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Über Sensoren werden auf den Maschinen Prozessparametern erfasst, sodass überprüft werden kann, ob die Prozesse im Maschinenverbund stabil und synchron laufen.
- Datenverarbeitung: Die Maschinen müssen in der Lage sein, Anfragen der Integrationsplattform zu verarbeiten, mit den Sensordaten zu verknüpfen und Informationen zu generieren, die im Anschluss von der Integrationsplattform weiterverarbeitet werden.
- Steuerung: Die Steuerung der maschinenübergreifenden Abläufe übernimmt ein entsprechendes Softwarepaket in der Integrationsplattform, die Maschinen selbst steuern weiterhin die internen Prozesse.
- Aktuatorik: Die Maschinen sind weiterhin selbst für die Ansteuerung der Antriebe und Aktuatoren innerhalb der Maschine verantwortlich, die Integrationsplattform übernimmt ausschließlich eine koordinierende Funktion.
- Vernetzung: Die Maschinen und die Integrationsplattform müssen miteinander über geeignete Schnittstellen verknüpft sein.

Langfristig könnte die koordinierende Funktion der Integrationsplattform auch durch die Maschinen übernommen werden. Voraussetzung wäre, dass diese deutlich intelligenter werden und in der Lage sind, Koordinationsprobleme in Echtzeit gemeinsam zu lösen. Ob eine solche Lösung praktikabel und sinnvoll ist, wird die Zukunft zeigen.

Im Folgenden ist die Lösung überblicksartig dargestellt. Detailliertere Beschreibungen finden sich direkt im Anschluss.

Abbildung 9

### **Bausteine des Lösungsszenarios für maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen**



Quelle: Fraunhofer IIS

Die Vernetzung von Produktionsmaschinen erfordert entsprechend intelligente Maschinen. Voraussetzung ist damit die Integration eines eingebetteten PCs mit der erforderlichen Kapazität und den notwendigen informationstechnischen Schnittstellen in die Maschine. Für die Koordination der einzelnen Maschinen untereinander ist die weiter oben bereits angesprochene komplementäre Integrationsplattform erforderlich. Für die Überwachung des Produktionsprozesses durch den Menschen im Hintergrund ist darüber hinaus eine entsprechende Mensch-Maschine-Schnittstelle notwendig. Diese kann bspw. über ein „Cockpit“ realisiert werden, welches auf einem normalen Desktop-PC, im Bedarfsfall aber auch über mobile Plattformen angezeigt werden kann.

#### 5.2.2.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Die Vernetzung von Maschinen entlang von Fertigungsprozessen ist in der Automobilbranche und auch in einigen anderen Branchen grundsätzlich bereits gelöst. Auch im Bereich der Metall- und Elektroindustrie existieren erste Integrationsplattformen für die Verknüpfung von Maschinen zu einem Verbund. In einigen Unternehmen finden diese Plattformen bereits Verwendung. Die Herausforderung aus Unternehmenssicht ist zunächst, die passende Software für den konkreten Anwendungsfall auszuwählen, entsprechend zu konfigurieren und zu implementieren. Voraussetzung für die Integration ist zudem, dass die Maschinenhersteller entsprechende Schnittstellen anbieten. Andernfalls müssen die Unternehmen die Schnittstellen für ihre Maschinen selbst schaffen, was mit enormem Entwicklungsaufwand verbunden wäre. Verglichen mit der Automobilbranche, in der sich Maschinenhersteller aufgrund der großen Marktmacht der Original Equipment Manufacturer (OEM) sehr kooperativ zeigen, haben mittelständische Unternehmen der Metall- und Elektrobranche an dieser Stelle größere Herausforderungen zu bewältigen. Bislang scheiterten Integrationsprojekte häufig an fehlenden Standards und an langen Innovationszyklen auf Seiten des Maschinenbaus, obwohl die Vernetzung von Maschinen auch hier aus technologischer Sicht durchaus machbar wäre.

#### 5.2.2.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial liegt bei dieser Anwendung zunächst in der synchronisierten Fertigung. Es ist davon auszugehen, dass weniger Engpässe auftreten, Wartezeiten vor einzelnen Maschinen abgebaut werden und insgesamt weniger Reibungsverluste entstehen. Auf einer zweiten Detaillierungsebene entstehen die folgenden konkreten Nutzenpotenziale:

- Erhöhung der Prozessstabilität aufgrund besserer Abstimmung der aufeinander folgenden Fertigungsstufen.
- Höherer Output am Ende der Fertigungsstrecke wegen enger gekoppelter Fertigung und geringerer Durchlaufzeit für einen Auftrag.
- Erhöhung und Stabilisierung der Qualität der gefertigten Produkte aufgrund des gleichmäßigeren Durchlaufs von Aufträgen durch die Fertigung.

- Im Einzelfall auch Möglichkeit des Einsatzes neuer Fertigungstechnologien mit höheren Anforderungen an die Stabilität des Produktionsprozesses.

Die hier beschriebene Verknüpfung von Produktionsprozessen ist allerdings nicht für jedes Unternehmen und jede Branche relevant. Unter Umständen geht durch die enge Kopplung und Synchronisierung der Maschinen auch Flexibilität verloren. Daher muss in Abhängigkeit der einzelnen Fertigungsanforderungen entschieden werden, welches Maß an Synchronisierung und Flexibilität optimal ist.

#### 5.2.2.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 10

#### **Lösungsprofil für maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen**

Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen	
<b>Bedarf:</b>	Verbesserung der Prozessstabilität durch digital vernetzte Maschinen
<b>Lösungsidee:</b>	Verknüpfung von Maschinen entlang des Produktionsprozesses zu einem Maschinenverbund über eine geeignete Integrationsplattform
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planungsdaten werden über die Integrationsplattform auf die Maschinen verteilt</li> <li>• Permanente Rückmeldung des Fertigungsfortschritts an Plattform</li> <li>• Ad-hoc-Umplanungen bei Maschinenausfällen, Störungen o.ä.</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Synchronisierte und reibungslose Fertigung</li> <li>• Weniger Engpässe und Wartezeiten</li> <li>• Steigerung Output und Senkung Durchlaufzeiten</li> <li>• Erhöhung Prozessstabilität und Stabilisierung Qualität</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.3 Reduzierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen

### 5.2.3.1 Bedarf und Lösungsansatz

Die weltweite Verknappung produktionsrelevanter Ressourcen und der damit einhergehende Preisanstieg setzt Unternehmen zunehmend unter Druck. Zudem werden auch die Anforderungen der Gesetzgeber an die effiziente Nutzung von Ressourcen immer größer. Viele Unternehmen suchen aus diesem Grund kontinuierlich nach neuen Möglichkeiten, um den Energieverbrauch nachhaltig zu reduzieren. In zahlreichen Betrieben sind es bislang hauptsächlich die Mitarbeiter, die aufgrund ihrer oft jahrelangen Erfahrungen durch manuelle Optimierungen den Energieverbrauch positiv beeinflussen. Dies trägt zwar zur Verbrauchsreduktion bei, realisiert allerdings nur einen sehr kleinen Teil der möglichen Einsparungspotenziale. So können Maschinenverbräuche häufig nicht direkt manuell beeinflusst werden. Eine automatisierte, intelligente Steuerung der Verbraucher in der Fertigung ist aktuell nicht vorhanden.

Cyber-Physische Systeme eröffnen hier neue Lösungsmöglichkeiten. Das nachfolgende Zukunftsszenario beschreibt beispielhaft, wie eine Lösung aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Selbstregelnde, vernetzte Maschinen zur Vermeidung von Verbrauchsspitzen*

---

*In einem produzierenden Unternehmen sind alle Maschinen mit Sensoren ausgestattet, um ihren Energieverbrauch selbst erfassen zu können. Zudem ist der gesamte Maschinenpark digital vernetzt. Auf Basis definierter Regeln können die Maschinen miteinander kommunizieren und verhandeln ihren Energieverbrauch so, dass der Gesamtverbrauch des Maschinenparks auf einem kontinuierlichen, möglichst niedrigen Niveau bleibt. Bestimmte Einflussfaktoren wie etwa aktuelle Energiepreise oder das Produktionsprogramm beeinflussen dabei die Verhandlungsregeln der Maschinen. Zum einen können so Verbrauchsspitzen, die heute z. B. durch das gleichzeitige Anfahren mehrerer Maschinen entstehen, vermieden werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass sekundäre Verbraucher wie z. B. Abluftanlagen durch Produktionsmaschinen eigenständig an- und ausgeschaltet werden, um so Energie zu sparen.*

---

### 5.2.3.2 Die notwendigen Technologien

Die Cyber-Physischen Systeme in dieser Lösung sind die Produktionsmaschinen eines Unternehmens. Für die Realisierung des beschriebenen Zukunftsszenarios sind folgende Funktionen erforderlich:

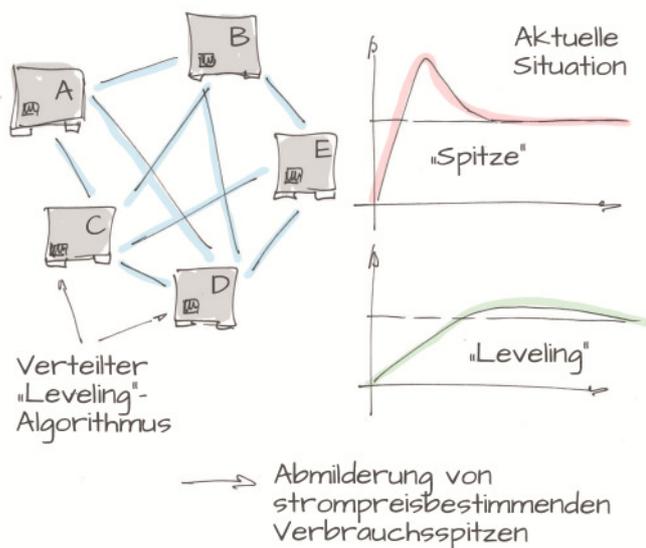
- Integration: Die physische Maschine muss in die IT-Systeme des Unternehmens integriert werden. Eine eindeutige Identifikation der einzelnen Maschinen ist dabei essenziell.

- Sensorik: Mit Hilfe von entsprechenden Sensoren kann die Maschine ihren Energieverbrauch selbst erfassen.
- Datenverarbeitung: Die Maschine muss in der Lage sein die über die Sensoren erfassten Daten zu verarbeiten. Zudem muss sie weitere Einflussfaktoren wie zum Beispiel ein laufendes Produktionsprogramm mit den Sensordaten verknüpfen und berücksichtigen können.
- Steuerung: Auf Basis aller relevanten Daten kann die Produktionsmaschine mit den übrigen Maschinen in der Produktion ihren Ressourcenverbrauch selbstständig steuern.
- Vernetzung: Über entsprechende Schnittstellen können die Maschinen miteinander kommunizieren und sind zudem an die IT-Systeme des Unternehmens angeschlossen.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Architektur der Lösung für die Abmilderung von Verbrauchsspitzen in Form einer Skizze dargestellt.

Abbildung 11

### **Lösung für die Minimierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen**



Quelle: Fraunhofer IIS

Die Maschinen in der Produktion sind direkt oder im Falle mobiler Einheiten über eine drahtlose Schnittstelle in die digitale Welt integriert. Hierüber kommunizieren sie miteinander und erhalten Informationen aus dem ERP-System des Unternehmens. Zur Auswertung der erfassten und erhaltenen Daten und zur Kommunikation mit den übrigen Maschinen müssen ausreichend leistungsfähige eingebettete Rechner integriert sein.

Des Weiteren sind komplementäre Systembausteine zur Realisierung des Szenarios notwendig. Sollte die Auswertung der Daten aus technischen Gründen nicht auf der Maschinenebene erfolgen können, muss eine zusätzliche Integrationsplattform in die Lösung integriert werden. Diese kann alternativ die Auswertung der Daten übernehmen und den Maschinenpark auf Basis aller erfassten Daten effizient steuern. In diesem Zusammenhang ist auch die Integration von externen Informationsquellen, aus denen bspw. der aktuelle Strompreis bezogen wird, eine weitere wichtige Komponente.

#### 5.2.3.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Moderne Maschinen sind bereits heute mit zahlreichen Sensoren ausgestattet. Die Erfassung des exakten Energieverbrauchs in Echtzeit sollte hier ohne nachträgliche Installationen grundsätzlich möglich sein. Die Nachrüstung von älteren Produktionsanlagen stellt dagegen trotz der Verfügbarkeit der notwendigen Sensorik eine größere Herausforderung dar. Die Maschinenhersteller gestatten Eingriffe in die Architektur bzw. Elektronik ihrer Maschinen in der Regel nicht. Eine weitere zentrale Herausforderung ist die Entwicklung einer entsprechenden softwarebasierten Verhandlungslogik zwischen den Maschinen. Vor allem die auf diese Logik einwirkenden Einflusskriterien wie etwa das Produktionsprogramm oder unternehmensspezifische Rahmenbedingungen müssen individuell betrachtet und im Programm berücksichtigt werden. Die Verhandlungssoftware muss dabei so gestaltet werden, dass eine Optimierung des Ressourcenverbrauchs ohne negativen Einfluss auf den Produktionsbetrieb erfolgt. Gleiches gilt für den Fall, dass nicht der Maschinenverbund selbst die Steuerung übernimmt, sondern eine zusätzliche, zentrale Integrationsplattform verwendet wird. Die Verhandlungslogik muss hier zusätzlich in die Plattform integriert werden. Auf dem Markt erhältliche Integrationsplattformen können dabei als Basis genutzt und müssen für die konkrete Anwendung im Unternehmen angepasst werden. Die Komplexität einer solchen Anwendung steigt dabei mit zunehmender Anzahl beteiligter Maschinen.

#### 5.2.3.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial für die Anwender ist die effiziente, automatisierte Steuerung des Energieverbrauchs im Maschinenpark. Zudem ergeben sich im Detail weitere Vorteile:

- Unternehmen können einen gleichmäßigen Energieverbrauch realisieren und vermeiden Verbrauchsspitzen, die heute zu höheren Energiepauschalen führen. Dem Unternehmen stehen somit mehr liquide Mittel zur Verfügung.
- Durch das Monitoring und die Steuerung des Energieverbrauchs lassen sich gezielte Maßnahmen einleiten, diesen langfristig zu senken. Somit können hier zusätzliche Kosteneinsparungen realisiert werden.
- Die automatisierte Steuerung des Energieverbrauchs hilft dabei manuelle Aufwände erheblich zu reduzieren. Zusätzlich kann durch die Automatisierung auch Verwaltungsaufwand reduziert werden.

- Die Generierung von Verbrauchswerten schafft zudem eine detaillierte Datenbasis für das Controlling. Eine verbesserte Zuordnung der verursachten Kosten zu einzelnen Aufträgen wird dadurch möglich.

Die Attraktivität dieses Szenarios hängt sehr stark von der Art des Unternehmens ab. So ergeben sich für Serienfertiger mit einem großen Maschinenpark durch diese Anwendung mit Sicherheit große Potenziale. Des Weiteren spielt die Kostenstruktur eine bedeutende Rolle. In der materialintensiven Produktion sind häufig andere Kostenarten weitaus bedeutender, weshalb das Interesse geringer ausfällt. Die Umsetzung dieses Szenarios grenzt dabei an weitere potenzielle Industrie-4.0-Anwendungen. So ist die Intelligenz von Maschinen und deren digitale Vernetzung eine sehr wichtige Basis für die Realisierung des beschriebenen Szenarios. Des Weiteren sind die gesammelten Daten ein essenzieller Bestandteil für eine ganzheitliche Optimierung der Produktion.

### 5.2.3.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 12

#### **Lösungsprofil zur Minimierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen**

Minimierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen	
<b>Bedarf:</b>	Vermeidung von Verbrauchsspitzen und Reduzierung des Energiebedarfs
<b>Lösungsidee:</b>	Erhöhung der Ressourceneffizienz durch dezentrale Koordination smarterer und energiesparender arbeitender Maschinen
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maschinen kennen eigenen Status und sind sich ihres Energieverbrauchs bewusst</li> <li>• Maschinen sind miteinander vernetzt und verhandeln miteinander</li> <li>• Maschinen steuern ihren Energieverbrauch im Sinne eines Gesamtoptimums</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung von Lastspitzen</li> <li>• Reduktion des Energieverbrauchs</li> <li>• Datenbasis für Controlling</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.4 Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement

### 5.2.4.1 Bedarf und Lösungsansatz

Die Planung und Steuerung von Werkzeugen bzw. deren Verfügbarkeiten spielt in der Fertigung eine elementare Rolle. Für jedes Werkzeug muss eine Vielzahl an Informationen erfasst und verarbeitet werden, z. B. Ort und Zustand des Werkzeugs, Regelungen, welches Werkzeug auf welcher Maschine verwendet und welches Material mit welchem Werkzeug bearbeitet werden darf. Die benötigten Werkzeug- und Nutzungsdaten werden z. T. schon aufgenommen, doch geschieht dies, wenn auch schon in digitaler Form (Tabellenverarbeitungsprogramme), oft nur manuell und dezentral. Eine zentrale, digitale Vorhaltung von Werkzeug- und Nutzungsdaten erfolgt in den seltensten Fällen, sodass sich die Verwaltung der Werkzeuge, bspw. die Erstellung eines Werkzeuglebenslaufs, äußerst schwierig und aufwändig gestaltet. Eine Vernetzung zwischen Werkzeugen, Maschinen und ERP-System besteht kaum.

Cyber-Physische Systeme bieten hier einen Lösungsansatz. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement*

---

*Wird ein Werkzeug an eine Maschine transportiert, wird das Werkzeug automatisch identifiziert und es erfolgt eine Prüfung, ob dieses Werkzeug auf der Maschine eingesetzt werden darf. Ist dies nicht der Fall, erscheint ein Warnhinweis, für den eine Berechtigungslogik hinterlegt sein muss. Ist das Werkzeug zulässig, erfolgt über die Maschine eine Meldung an das System und der Status sowie der Ort des Werkzeugs werden aktualisiert, z. B. „in Fertigung, an Maschine X“. Während das Werkzeug im Einsatz ist, werden die gesammelten Prozessdaten wie Laufzeiten, Stückzahlen etc. in der Datenbank hinterlegt. Wird das Werkzeug ausgebaut und verlässt es die Maschine, wird erneut eine Statusmeldung ausgelöst. Analog wird auch das Einlagern und Auslagern von Werkzeugen über Statusmeldungen im System erfasst. Somit lässt sich jederzeit eindeutig feststellen, wo sich ein Werkzeug befindet. Im System können außerdem Informationen zu Wartungsintervallen etc. hinterlegt werden, sodass aus Nutzungs- und Instandhaltungsdaten bedarfsgerechte Instandhaltungsmaßnahmen ermittelt und auch automatisch ausgelöst werden können.*

---

### 5.2.4.2 Die notwendige Technologie

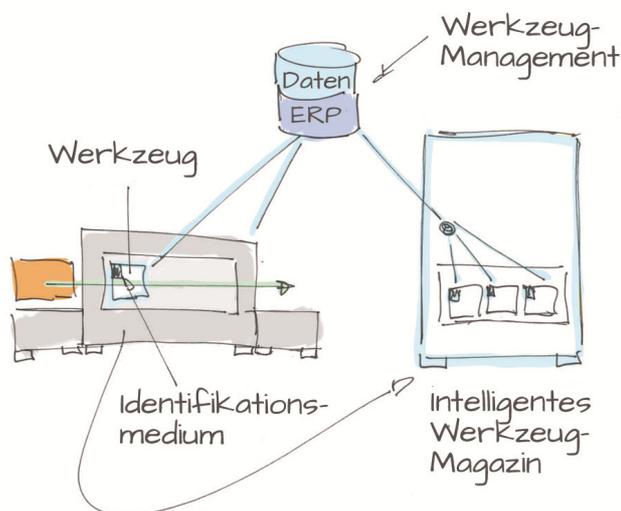
Das Cyber-Physische System besteht hier aus Werkzeugen, Lagereinrichtungen und Maschinen. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind die folgenden Funktionen erforderlich:

- Integration: Die Werkzeuge, die Maschine und die Lagereinrichtungen müssen in die digitale Welt integriert und eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Um Nutzungsdaten des Werkzeugs, wie z. B. produzierte Stückzahlen, erfassen zu können, muss die Maschine über Sensorik verfügen.
- Datenverarbeitung: Sowohl die Maschinen als auch die Regale müssen Daten interpretieren und verarbeiten können. Die Maschine muss bspw. prüfen, ob ein Werkzeug verbaut werden darf oder nicht.
- Vernetzung: Maschine und Lagerorte, wie z. B. ein intelligentes Regal, müssen kommunizieren, um Status und Ort des Werkzeugs aktualisieren und ans ERP-System weiterleiten zu können.
- Aktuatorik: Um zu verhindern, dass ein unzulässiges Werkzeug auf eine Maschine gerüstet wird, kann sich die Maschine selbst gegen das Einschalten bzw. gegen die Nutzung des Werkzeugs sperren.

Nachfolgend ist die Lösung überblicksartig in Form einer Grafik dargestellt. Detaillierte Beschreibungen finden sich direkt im Anschluss.

Abbildung 13

### **Bausteine des Lösungsszenarios für Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement**



Quelle: Fraunhofer IIS

Die Maschinen und Lagereinrichtungen müssen die Werkzeuge erkennen können. Hierfür werden die Werkzeuge mit einer eindeutigen Identifikationsnummer versehen, welche bspw. auf einem RFID-Tag, QR- oder Barcode hinterlegt wird. Zur Identifikationsnummer sind sämtliche Werkzeug- und Nutzungsdaten in einer zentralen Datenbank gespeichert, die mit dem ERP-System verknüpft sein muss. Auf diese Weise können sowohl Instandhaltung als auch die Produktionsplanung auf die Daten zugreifen. Maschinen und Lagerorte müssen mit entsprechenden Lesegeräten ausgestattet

sein. Auf Basis der erfassten Daten zu Ort, Zustand etc. kann das Werkzeugmanagement effizienter gestaltet werden.

Für den optimierten Werkzeugeinsatz ist zusätzlich eine Integrationsplattform erforderlich, über die Werkzeuge, Maschinen, Lagerorte und ERP-System miteinander verknüpft sind. Weiterhin ist der Einsatz mobiler Endgeräte denkbar, die es erlauben, jederzeit vor Ort die Informationen zu einem Werkzeug abzurufen und / oder einzutragen, z. B. mit Hilfe von Tablets, Datenbrillen oder speziell für die Produktion entwickelten mobilen Plattformen. Auf den mobilen Endgeräten wie auch den stationären Einheiten können Apps eingesetzt werden, die auf den Anwendungsfall Werkzeug zugeschnitten sind und das Werkzeugmanagement unterstützen.

#### 5.2.4.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Die einzelnen technologischen Komponenten für diese Anwendung sind größtenteils bereits vorhanden. Die Technologien zur Identifikation der Werkzeuge, bspw. mittels Bar- oder QR-Code sowie RFID, haben in der Zwischenzeit einen sehr hohen Reifegrad erreicht. Maschinen und Lagereinrichtungen können relativ unproblematisch mit entsprechenden Lesegeräten ausgestattet werden. Auch diese sind am Markt bereits verfügbar. Gleiches gilt für die zusätzlich erforderlichen Integrationsplattformen. Auch für die Software zum Werkzeugmanagement existieren Lösungsansätze. Um die Werkzeug- und Nutzungsdaten automatisiert zu erfassen und im ERP-System bzw. für das Werkzeugmanagement verwertbar zu machen, müssen die einzelnen Komponenten jedoch noch in ein funktionierendes System überführt werden. Hierfür sind für den spezifischen Anwendungsfall Anpassungen erforderlich.

#### 5.2.4.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Der Primärnutzen liegt in der Optimierung des Werkzeugmanagements. Grundlage hierfür ist die permanente Erfassung technischer Daten aus der laufenden Fertigung und die daraus generierten Werkzeuglebensläufe, mit denen ökonomische Bewertungen durchgeführt und Maßnahmen abgeleitet werden können. Des Weiteren sind folgende Nutzenpotenziale erkennbar:

- Durch die Zulässigkeitsprüfung beim Einbau des Werkzeugs in die Maschine kann vermieden werden, dass Teile mit falschen Werkzeugen bearbeitet werden und dadurch Qualitätseinbußen entstehen.
- Durch die Verknüpfung von Werkzeugdaten und Planungssystem können Werkzeuge automatisch für anstehende Aufträge zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort und im richtigen Zustand bereitgestellt werden.
- Zu jedem Zeitpunkt herrscht Transparenz über den Verbleib, die Laufleistung und die gesamte Historie der einzelnen, eindeutig identifizierbaren Werkzeuge.
- Die Datenbasis ermöglicht Analysen, z. B. über Verfügbarkeit der Werkzeuge und erlaubt so weitere Optimierungsmaßnahmen.

Diese Anwendung ist insbesondere in Produktionsumgebungen relevant, die häufige Rüstvorgänge aufweisen und in denen eine Vielzahl von Werkzeugen jeweils auf einer Vielzahl von Maschinen eingesetzt werden kann. Dies gilt vor allem bei großen Werkzeugen, die nicht in Werkzeugrevolvern vor Ort in der Maschine vorgehalten werden können. Hier kann das Werkzeugmanagement für die Einrichter vereinfacht, Fehler wie z. B. das Verwechseln von Werkzeugen können problemlos vermieden werden.

#### 5.2.4.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 14

#### **Lösungsszenario für Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement**

Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement	
<b>Bedarf:</b>	Vereinfachte Datenerfassung für eine effiziente Werkzeugverwaltung
<b>Lösungsidee:</b>	Vernetzung automatisch identifizierbarer Werkzeuge mit Maschinen und Lagerorten in der Produktion
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatische Identifikation der Werkzeuge und Zulässigkeitsprüfung</li> <li>• Statusmeldung an ERP-System und Sammlung von Prozessdaten während des Werkzeugeinsatzes</li> <li>• Automatische Erstellung von Werkzeuglebensläufen</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimierter Werkzeugeinsatz durch Prozess- und Betriebsdatenanalyse</li> <li>• Vermeidung von Fehler durch Zulässigkeitsprüfung</li> <li>• Rechtzeitige Bereitstellung der Werkzeuge durch Verknüpfung von Planungssystem und Werkzeugmanagement</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

### 5.2.5 Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine

#### 5.2.5.1 Bedarf und Lösungsansatz

In vielen Fällen müssen sich Einsteller und Werker an Maschinen und Anlagen heute noch auf Papier verlassen. Die für die jeweils auszuführende Aktivität notwendigen Informationen sind hierauf enthalten. Neue Informationen, die während der Arbeit entstehen, werden auf dem Papier ergänzt und oft nur im Ausnahmefall am Ende der Arbeit in die informationstechnischen Systeme des Unternehmens übertragen. Sie stehen anderen Personen zunächst nicht zur Verfügung. Die Realität wird nicht vollständig in der virtuellen Welt abgebildet und Reibungsverluste können sehr schnell entstehen.

Cyber-Physische Systeme bieten hier einen Lösungsansatz. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine*

---

*Vor Beginn der Produktion meldet sich der Werker über einen Bildschirm und eine für die konkrete Aufgabe spezifisch entwickelte App an der Produktionsmaschine an. Die Maschine informiert den Werker über den Fertigungsauftrag und übermittelt alle für den Produktionsvorgang wesentlichen Informationen. Mensch und Maschine bleiben während der Fertigung ständig miteinander verknüpft. Treten Probleme auf, kann die Maschine den Werker hierüber in Kenntnis setzen. Der Werker seinerseits kann Unregelmäßigkeiten, Beobachtungen, Dokumentationen zum Maschinenverhalten etc. über eine entsprechende Schnittstelle an die Maschine weitergeben und digital hinterlegen. Am Ende des Fertigungsauftrags bzw. der Schicht landen alle relevanten Informationen vollautomatisch in den entsprechenden Informationssystemen.*

---

#### 5.2.5.2 Die notwendige Technologie

Das Cyber-Physische System ist hier die Produktionsmaschine selbst. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind die folgenden Funktionen erforderlich:

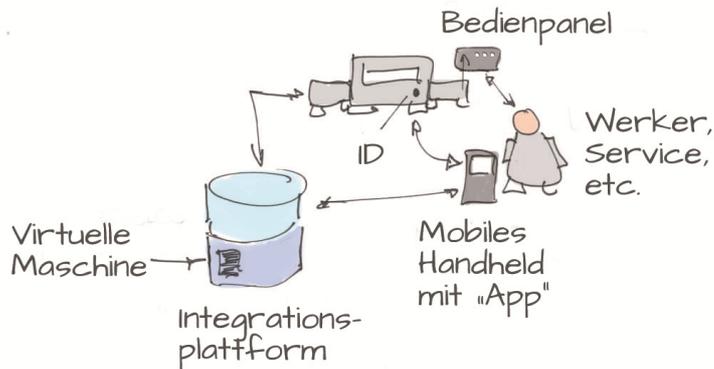
- Integration: Über eine eigene digitale Kennung muss die Maschine für die IT im Hintergrund und für den Menschen eindeutig identifizierbar sein.
- Datenverarbeitung: Die Maschine muss Daten interpretieren, verarbeiten und sowohl für das ERP-System im Hintergrund als auch für den Menschen aufbereiten können.
- Vernetzung: Die Maschine muss in der Lage sein, über entsprechende Schnittstellen mit den informationstechnischen Systemen im Hintergrund einerseits und mit dem Menschen andererseits zu kommunizieren.

Sensorische Fähigkeiten, die Funktion der dezentralen Steuerung, die Ansteuerung von Aktuatoren oder gar die Fähigkeit zu lernen sind bei diesem Szenario nicht erforderlich. Entscheidungen trifft hier nach wie vor der Mensch.

Nachfolgend ist die Lösung überblicksartig dargestellt. Detailliertere Beschreibungen finden sich direkt im Anschluss.

Abbildung 15

**Bausteine des Lösungsszenarios für die Vereinfachung informatorischer  
Prozesse an der Maschine**



Quelle: Fraunhofer IIS

Für die Realisierung der oben genannten Funktionen können unterschiedliche Technologien eingesetzt werden. Für die Datenverarbeitung auf der Maschine ist ein eingebetteter Rechner erforderlich. Die Vernetzung mit dem Menschen kann drahtlos über NFC, WLAN oder im Falle fehlender Alternativen auch über GSM-Systeme erfolgen. Diese Technologien können auch bei der Integration bzw. Identifikation der Maschine helfen. Für die reine Identifikation könnten unter Umständen auch optische Verfahren wie Bilderkennungsmechanismen, der klassische Barcode oder der modernere QR-Code zum Einsatz kommen. Die Verbindung zum ERP-System im IT-Backend des Unternehmens kann über Ethernet oder bei mobilen Maschinen auch über WLAN oder andere für die Automation entwickelte Kommunikationssysteme realisiert werden.

Unabhängig von der Maschine muss der menschliche Nutzer mit Hilfe komplementärer Systembausteine in die Lage versetzt werden, mit der Maschine zu kommunizieren. Im einfachsten Fall findet die ohnehin an vielen Maschinen bereits vorhandene integrierte Bildschirm-Tastatur-Kombination Verwendung. Alternativ könnten aber auch die inzwischen weit verbreiteten Smart Phones oder speziell für den industriellen Einsatz optimierte mobile „Production Tablets“ zum Einsatz kommen, die den Arbeiter an der Maschine begleiten und über die gesamte Schicht bzw. den gesamten Arbeitstag hinweg mit kontextspezifisch relevanten Informationen unterstützen. Einzelne Aufgaben, die an der Maschine zu erledigen sind, können über speziell für den jeweiligen Anwendungsfall entwickelte Apps unterstützt werden. Apps können im Grunde sowohl auf eingebetteten Rechnern innerhalb der Maschine oder auf den mobilen Plattformen laufen. Für die Anbindung der Maschine an das ERP-System ist zusätzlich ein Manufacturing Execution System bzw. eine Integrationsplattform erforderlich.

### 5.2.5.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Moderne Produktionsmaschinen sind inzwischen mit einem integrierten bzw. eingebetteten Industrie-PC ausgestattet und erfüllen die grundlegenden technischen Anforderungen, die sich aus dem oben beschriebenen Anwendungsszenario ableiten lassen. In vielen Industriebetrieben existieren allerdings auch ältere Anlagen, auf denen sich die genannten Funktionen nicht ausführen lassen. Eine Nachrüstung ist häufig nur im Ausnahmefall möglich. Eine Alternative stellt allerdings die Realisierung eines virtuellen Abbilds der Maschine dar, welches dann auf einem Rechner im Hintergrund parallel betrieben und über mobile Plattformen mit dem Arbeiter an der Maschine verknüpft wird. Die für die Anbindung von Maschinen an ein zentrales ERP-System erforderlichen Integrationsplattformen sind ebenfalls bereits vorhanden. Bei der Realisierung von Gesamtsystemen dürfte allerdings Konfigurationsaufwand bzw. Anpassungsaufwand im Bereich der Software anfallen. Auch im Zusammenhang mit Integrations- bzw. Identifikationsfunktionen sollten bei einer Umsetzung keinerlei Probleme existieren. Die oben genannten Technologien haben bis dato einen ausreichend hohen Reifegrad erreicht. Nur im Zusammenhang mit drahtloser Datenübertragung über größere Entfernung existieren heute aufgrund der schwierigen Umgebung in der Produktion noch Herausforderungen. Drahtlose Kommunikationssysteme in den Produktionshallen müssen so gestaltet sein, dass die Verfügbarkeit der Informationen zu jedem Zeitpunkt mit hoher Sicherheit gewährleistet ist. Mobile Endgeräte, mit denen die Mitarbeiter an den Maschinen ausgestattet werden könnten und die über die erforderlichen Kommunikationsschnittstellen verfügen, existieren bereits in Varianten für den Massenmarkt. Für den Einsatz in der Produktion müssen die Produkte robuster werden. Entsprechende Produkte werden mittelfristig zur Verfügung stehen. Im Zusammenhang mit den erforderlichen Apps sind ebenfalls keine Probleme zu erwarten. Diese müssen lediglich identifiziert, spezifiziert und technisch umgesetzt werden. Gleiches gilt für die oben erwähnten virtuellen Maschinen.

### 5.2.5.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial liegt bei dieser Anwendung in der Tatsache, dass Papier in der Produktion entfällt. Existierende Informationen stehen bei Bedarf zur Verfügung. Neue Informationen finden ihren Weg in Echtzeit in die informationstechnischen Systeme des Unternehmens. Auf einer zweiten Detaillierungsebene entstehen die folgenden konkreten Nutzenpotenziale:

- Keine Kosten für das Drucken und Vervielfältigen von Papieren.
- Keine Aufwände für das Suchen von Fertigungspapieren.
- Aufwand für die Übertragung manuell erfasster Informationen entfällt.
- Keinerlei Prozessstörungen, die auf das Fehlen von Papieren bzw. auf falsche oder unvollständige Informationen zurückzuführen sind.

Entscheidend für den Nutzen der Anwendung ist die Einfachheit und Intuitivität einer entsprechenden Anwendung. Aufgrund starker Alters- und Kulturunterschiede bei den Mitarbeitern in der Produktion muss die Anwendung genau auf deren Bedürfnisse zu-

geschnitten werden. Die Einbindung der entsprechenden Mitarbeiter in die Entwicklung einer solchen Anwendung ist daher essenziell für die Akzeptanz. Darüber hinaus wird bei der Umsetzung dieses Szenarios eine Infrastruktur für weitere Industrie-4.0-Anwendungen geschaffen, die in dieser Studie jedoch nicht im Detail besprochen werden können. Hierzu zählen bspw. Anwendungen wie die Montageunterstützung auf Basis von Virtual Reality oder die Weiterbildung von Mitarbeitern direkt am Arbeitsplatz mit Hilfe sogenannter „Learning Nuggets“, die direkt auf dem mobilen Handheld eingespielt werden können. Mitarbeiter können auf diese Art und Weise zukünftig deutlich flexibler eingesetzt werden.

### 5.2.5.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 16

#### **Lösungsprofil zur Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine**

Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine	
<b>Bedarf:</b>	Vermeidung von Papier und bedarfsgerechte Informationsbereitstellung in der Produktion
<b>Lösungsidee:</b>	Einsatz von Mobile Computing zur Unterstützung von Werkern, Einstellern und Service-Mitarbeitern direkt an der Produktionsmaschine
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Virtuelle Maschine als Alternative für ältere Maschinen</li> <li>• Verknüpfung mit dem ERP über Ethernet</li> <li>• Mobile Computing für Anbindung des Nutzers</li> <li>• Unterstützung konkreter Aufgaben durch „Apps“</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Verfügbarkeit der Informationen</li> <li>• Vermeidung von Suchaufwänden für Dokumente</li> <li>• Papier und Druckkosten entfallen</li> <li>• Vermeidung manueller Datenpflege</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.6 Erhöhung der Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen

### 5.2.6.1 Bedarf und Lösungsansatz

Die Architektur moderner Produkte ist in den letzten Jahrzehnten immer aufwendiger und komplexer geworden. Darüber hinaus lässt die hohe Variantenvielfalt die Komplexität der Produktionsprozesse ebenfalls steigen. Das richtige Teil, in der richtigen Qua-

lität, zum richtigen Zeitpunkt an der richtigen Stelle einzubauen birgt somit hohes Fehlerpotenzial. Oftmals werden Montagefehler nicht direkt bemerkt und erst im weiteren Prozessverlauf aufgedeckt. Hohe Kosten für die Identifikation einer Fehlerursache und Nacharbeit sind die Folge. Bisher verfügen die Mitarbeiter eines Montagearbeitsplatzes nur über einfache Hilfsmittel, mit denen sie die ordnungsgemäße Durchführung bestimmter Arbeitsschritte überprüfen können. Eine automatisierte, umfassende Überprüfung und Erfassung aller durchgeführten Montageschritte erfolgt nicht.

Mit Hilfe von Cyber-Physischen Systemen kann hier eine Lösung realisiert werden. Das nachfolgende Beispiel zeigt ein mögliches Zukunftsszenario:

#### *Zukunftsszenario: Vermeidung von Fehlern und Unterstützung der Werker an Montagearbeitsplätzen*

---

*Sämtliche Bauteile sind mit eindeutigen Identifikationsmerkmalen ausgestattet. An den Montagearbeitsplätzen sind entsprechende Lesegeräte installiert. Nimmt der Mitarbeiter an einem Montagearbeitsplatz ein Bauteil aus einer Transportbox und baut dieses in das Endprodukt ein, wird dies erkannt. Zudem wird automatisiert festgehalten, dass der entsprechende Arbeitsschritt durchgeführt wurde. Durch die Identifikation der Komponenten ist dabei nachvollziehbar, welche Bauteile in welches Endprodukt eingebaut wurden und ob dies in der vorgesehenen Weise geschehen ist. Diese Informationen werden vom Montagearbeitsplatz direkt in das ERP-System übertragen, sodass eine lückenlose Aufzeichnung der Produktkonfiguration realisiert wird. Des Weiteren kann sofort festgestellt werden, welche Bauteile in einem Endprodukt noch fehlen. Der Mitarbeiter wird im Anschluss ohne Zeitverzug visuell informiert und kann entsprechend nacharbeiten. Erst wenn der intelligente Arbeitsplatz alle Montageschritte quittiert hat, kann das Endprodukt an den nächsten Prozessschritt weitergegeben werden. Der Mitarbeiter wird umfassend unterstützt, Fehler werden vermieden.*

---

#### 5.2.6.2 Die notwendigen Technologien

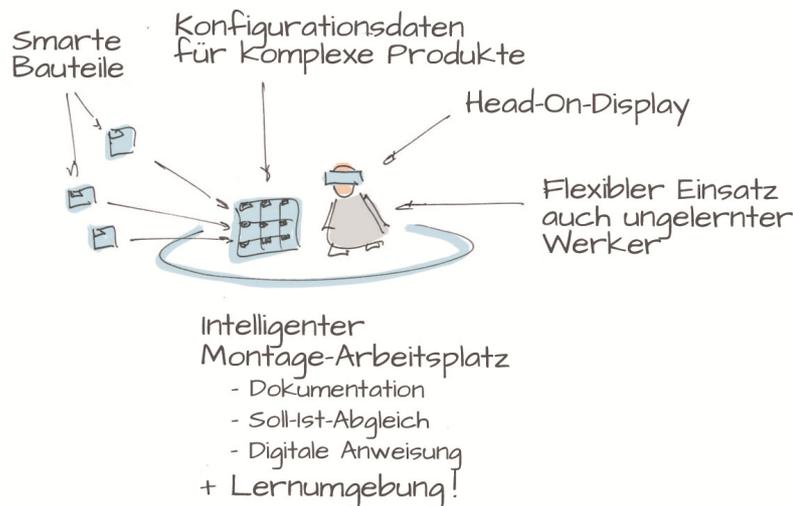
In diesem Zukunftsszenario ist der Montagearbeitsplatz das Cyber-Physische System. Für die Realisierung sind dabei folgende Funktionen erforderlich:

- Integration: Der Montagearbeitsplatz muss in die digitalen Systeme des Unternehmens integriert und eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Über entsprechende Sensoren am Arbeitsplatz können Bauteile identifiziert und deren korrekte Montage erfasst werden.
- Datenverarbeitung: Die erfassten Daten müssen durch die integrierte Mikroelektronik verwertet und mit definierten Soll-Werten abgeglichen werden.
- Vernetzung: Der Montagearbeitsplatz ist mit den IT-Systemen des Unternehmens vernetzt und kommuniziert mit den Bauteilen in seiner Umgebung.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Lösung skizzenhaft dargestellt.

Abbildung 17

### **Lösung zur Steigerung von Flexibilität und Effizienz an Montagearbeitsplätzen mit Hilfe von CPS**



Quelle: Fraunhofer IIS

Für die Realisierung des beschriebenen Lösungsszenarios muss der Montagearbeitsplatz per Ethernet oder drahtlos über eine WLAN-Verbindung mit den IT-Systemen des Unternehmens verbunden sein. Hierüber kommuniziert er die erfassten Daten und erhält gleichzeitig bspw. die Soll-Werte für die einzelnen Montageaktivitäten aus einer zentralen Datenbank. Zur Identifikation der Bauteile sind je nach Anwendungsgebiet bspw. Systeme mit RFID-Technologie oder optische Lösungen (Bildererkennung über Kamerasysteme) möglich. Zudem ist ein eingebettetes, leistungsfähiges Rechnersystem notwendig, um die erfassten Daten zu verarbeiten und erkennen zu können, welche Bauteile noch eingebaut werden müssen.

Die visuelle Darstellung macht dabei den Einsatz einer komplementären Technologie notwendig. Hier kann die Darstellung der aktuellen Konfiguration des Endprodukts durch ein fest installiertes Display oder bei großen Montagearbeitsplätzen mobil über ein Tablet oder auch über eine Brille mit integriertem HMI erfolgen. Durch eine mobile Lösung hat der Mitarbeiter die relevanten Informationen immer direkt verfügbar.

#### 5.2.6.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Die technische Machbarkeit dieser Anwendung wird sehr stark durch das Material der Bauteile und der Arbeitsplätze beeinflusst. So wird bei einem hohen Anteil an metallischen Komponenten die Qualität einer RFID-Lösung meist stark negativ beeinflusst. In diesem Fall stellt ein kamerabasiertes optisches Verfahren eine sehr gute Alternative dar. Wichtig sind in diesem Zusammenhang auch die Anforderungen des Unterneh-

mens an die Genauigkeit einer möglichen Lösung. Dabei ist sowohl die Anzahl der zu montierenden Teile als auch deren Größe ein wichtiger Einflussfaktor für die Eignung unterschiedlicher Technologien. Die Bewertung der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen ist für die Technologieauswahl daher entscheidend. Sowohl im Bereich von RFID als auch bei optischen Verfahren sind bereits ausgereifte Systeme am Markt erhältlich. Dennoch sind auch hier Anpassungen an die spezifischen Gegebenheiten notwendig. Erfüllen die erhältlichen Systeme die Anforderungen nicht, besteht im Bereich von RFID zudem die Möglichkeit aus den am Markt sehr variantenreich erhältlichen Tags und Lesegeräten individuell eine auf die Bedürfnisse zugeschnittene Lösung zu realisieren. In einem solchen Fall ist besonders die störungsfreie Kommunikation zwischen Tag und Lesegerät sicherzustellen. Softwareseitig sind bereits Programme zur Auswertung der entsprechenden Daten in grundlegender Form erhältlich. Anpassungen sind hier allerdings ebenfalls notwendig. Zusammengefasst ist eine solche Anwendung aus technischer Sicht gut realisierbar.

#### 5.2.6.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Der zentrale Nutzen einer Montageunterstützung durch intelligente Bauteile liegt vor allem in der Vermeidung von Fehlern und kostspieliger Nacharbeitsaktivitäten. Durch die visuelle Darstellung der Informationen am Arbeitsplatz wird der Mitarbeiter optimal unterstützt. Des Weiteren ergeben sich folgende Nutzenpotenziale:

- Rückverfolgbarkeit von einzelnen Bauteilen bis in das Endprodukt.
- Kostensenkung durch weniger Fehler und Nacharbeit.
- Unterstützung von Lernprozessen bei den Mitarbeitern.

Die beschriebene Anwendung hat vor allem für Unternehmen mit montageintensiven Produktionsprozessen große Potenziale. Dabei kann ein solches System sowohl bei standardisierten Montageprozessen wie etwa in der Serienfertigung als auch individuellen Montageprozessen bspw. im Analgenbau unterstützend wirken. Darüber hinaus kann die Anwendung auch mit weiteren Industrie-4.0-Lösungen in Zusammenhang stehen. So ist es z. B. denkbar, dass der Mitarbeiter über das am Arbeitsplatz befindliche Display eine „Schritt-für-Schritt“-Montageanleitung zu dem entsprechenden Bauteil erhält. Dadurch ist es zum einen auch ungelerten Mitarbeitern sehr rasch möglich, in der Montage zu arbeiten. Zum anderen erleichtert ein solches System die Herstellung von kundenindividuellen Produkten. Des Weiteren kann bei einer RFID-Lösung das auf dem Bauteil befindliche Tag auch dazu genutzt werden, Daten aus dem Produktionsprozess zu speichern und an anderer Stelle wieder zu kommunizieren. Auf dem Bauteil können so direkt wichtige Informationen über seine Produktionshistorie hinterlegt werden, eine lückenlose Erfassung aller Daten auf Bauteilebene ist somit gewährleistet.

### 5.2.6.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 18

#### **Lösungsprofil zur Erhöhung von Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen**

Höhere Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen	
<b>Bedarf:</b>	Vermeidung von Fehlern und Unterstützung der Montagemitarbeiter
<b>Lösungsidee:</b>	Auto-ID-Techniken, Mobile Computing und Virtual Reality zur Bewältigung zunehmender Variantenvielfalt und Komplexität in der Produktion
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu montierende Teile werden vor dem Einbau automatisch identifiziert</li> <li>• Digitale Anweisungen während des Einbaus</li> <li>• Automatischer Soll-Ist-Abgleich während der Montage</li> <li>• Dokumentation des Montageprozesses im ERP-System</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weniger Fehler bei der Montage von Bauteilen</li> <li>• Unterstützung von Lernprozessen beim Montageeinsatz</li> <li>• Kostenvorteile durch flexiblen Einsatz von Mitarbeitern</li> <li>• Rückverfolgbarkeit durch „Konfigurations-Management“</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.7 Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung

### 5.2.7.1 Bedarfe und Lösungsansatz

Die Produktionsplanung erfolgt in den meisten Unternehmen über ein ERP-System. Basierend auf den vorhandenen Auftragsdaten wird eine Grobplanung erstellt. Sobald die einzelnen Aufträge allerdings konkret in die Fertigung einfließen, erfolgt die Feinplanung aus Komplexitätsgründen auf Abteilungs- / Meisterebene oft manuell. Die hier getroffenen Entscheidungen werden häufig erst deutlich zeitversetzt in das entsprechende IT-System eingepflegt und stehen damit anderen Abteilungen nicht rechtzeitig zur Verfügung. Diese Informationsasymmetrien zwischen unterschiedlichen Abteilungen führen häufig dazu, dass sich jede selbst optimiert, ohne dabei den Blick für das Gesamtoptimum zu behalten. So werden bspw. Feinplanungen in einer Abteilung durchgeführt, ohne zu wissen, dass diese aufgrund der Feinplanungen der vorgelagerten Abteilung gar nicht realisierbar sind. Ein Austausch der Information erfolgt in vielen Unternehmen aktuell nur zeitversetzt auf persönlicher, nicht standardisierter Ebene.

Die beschriebenen Technologien eröffnen hier neue Möglichkeiten für innovative Lösungsansätze. Das nachfolgende Beispielszenario zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

*Zukunftsszenario: Entscheider in der Produktion sind digital vernetzt und über manuelle Anpassungen des Fertigungsprogramms aller anderen Abteilungen voll informiert*

---

*Die Entscheider in den entsprechenden Abteilungen sind über mobile Endgeräte mit dem IT-System des Unternehmens verbunden. Über eine speziell auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene Applikation können sie direkt auf dem Endgerät die Feinplanung ausarbeiten und simulieren. Die Auswirkung ihrer Planung auf alle anderen beteiligten Abteilungen wird ihnen unverzüglich dargestellt, das System unterbreitet Anpassungsvorschläge. In die Applikation fließen dabei alle Restriktionen und Rahmenbedingungen ein, welche die Feinplanung beeinflussen. Der Entscheider kann somit sofort sehen, welche Planungen nicht realisierbar sind. Nur wenn die Planung für alle anderen Abteilungen ebenfalls in Ordnung ist, kann diese fixiert werden. Ist dies der Fall, werden alle anderen Entscheider über die Veränderung informiert und können auf dieser Basis die eigenen Fertigungspläne gegebenenfalls anpassen. Alle getroffenen Entscheidungen fließen zudem in das ERP-System ein, um einerseits umfassend zu dokumentieren und andererseits bei Bedarf erneut auf diese Planungen zurückgreifen zu können.*

---

#### 5.2.7.2 Notwendige Technologien

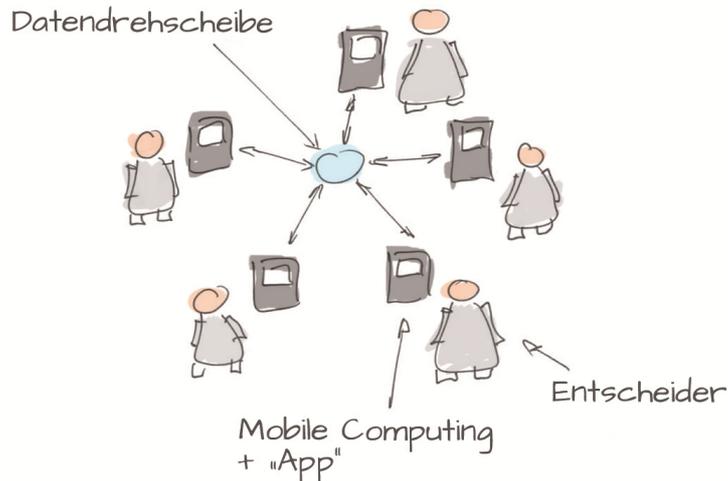
Zentraler Akteur in diesem Szenario ist der Entscheider in der Produktion. Für die Umsetzung der beschriebenen Anwendung sind die folgenden Funktionen erforderlich:

- Integration: Der Entscheider wird durch das mobile Endgerät in die IT-Systeme des Unternehmens integriert.
- Datenverarbeitung: Das System muss in der Lage sein, die Eingaben des Menschen zu verarbeiten, optimale Lösungen zu erarbeiten und dem Entscheider bedarfsgerecht Informationen anzuzeigen.
- Vernetzung: Der Entscheider ist mit den IT-Systemen und allen anderen Entscheidern in seiner Umgebung verbunden und kann mit diesen über definierte Schnittstellen kommunizieren.

Dieses Szenario unterscheidet sich im Hinblick auf die Architektur ein wenig von den zuvor beschriebenen. Die Mikroelektronik ist hier nicht in einen Gegenstand eingebettet. Sie begleitet den Menschen in Form eines mobilen und intelligenten Endgeräts. Nachfolgend ist das beschriebene Szenario skizzenhaft abgebildet:

Abbildung 19

**Einsatz von Mobile Computing-Technologien beim Abbau von Informationsasymmetrien bei der Feinplanung in der Fertigung**



Quelle: Fraunhofer IIS

Um den Entscheider in die digitale Welt zu integrieren, ist der Einsatz von Mobile Computing-Devices notwendig. Die mobilen Endgeräte sind den einzelnen Mitarbeitern eindeutig zugeordnet und ermöglichen die bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen. Die Kommunikation mit dem IT-System und den anderen Entscheidern findet dabei über eine WLAN-Verbindung statt. Bedeutend ist ebenfalls die auf den mobilen Endgeräten installierte Applikation zur Simulation der Feinplanung. Diese muss so konfiguriert sein, dass die Mitarbeiter ihre Feinplanung auf Basis aller Rahmenbedingungen simulieren können und dabei immer den Fokus auf dem Gesamtoptimum haben. Sollte die Simulation der Planung große Rechenkapazität benötigen, ist eine Auslagerung der Berechnung auf einen zentralen Server möglich, welcher sich entweder im Unternehmen oder innerhalb einer Cloud-Infrastruktur befindet. Hier könnten die Eingaben des Entscheiders mit allen anderen Informationen, die zur Berechnung notwendig sind, zusammenfließen und in der Berechnung berücksichtigt werden. Anschließend wird das Ergebnis dem Entscheider wieder auf seinem mobilen Endgerät zur Verfügung stehen.

### 5.2.7.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Entsprechend robuste mobile Devices, die auch im Produktionsumfeld eingesetzt werden können, sind bisher nur in sehr geringer Auswahl auf dem Markt erhältlich. Die Einbindung in das IT-System des Unternehmens erfolgt dabei drahtlos. Hierbei kommt üblicherweise der bereits weiter oben angesprochene WLAN-Standard zur Anwendung. Herausforderungen bestehen bei diesem Szenario hauptsächlich im Bereich der Software. Hier muss eine verteilte Applikation für die mobilen Endgeräte der Entschei-

der programmiert werden. Entscheidend ist dabei zunächst, die genauen Anforderungen des Unternehmens zu definieren, um hier eine umfassende Lösung zu schaffen. Die Applikation muss in der Lage sein, die Eingaben des Entscheiders unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen zu simulieren und ein Optimum zu finden. Sollten hier aufgrund der Datenmenge große Rechnerkapazitäten benötigt und eine Cloud-Lösung favorisiert werden, besteht im Zusammenhang mit der sicheren Übertragung und Verarbeitung der Informationen zusätzlicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Gleiches gilt für die drahtlose Kommunikation. Es muss sichergestellt werden, dass die Kommunikationsverbindungen zu den Geräten anderer Entscheider bzw. zur zentralen IT permanent und robust zur Verfügung stehen.

#### 5.2.7.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial des beschriebenen Szenarios liegt in der Beseitigung der Informationsasymmetrien zwischen den unterschiedlichen Abteilungen und der damit verbundenen Optimierung der Auftragsabarbeitung. Im Detail stiftet der beschriebene Lösungsansatz folgenden Nutzen:

- Lückenlose Dokumentation getroffener Entscheidungen.
- Reduzierung der Reibungsverluste zwischen Abteilungen.
- Vermeidung manueller Aufwände für die Dokumentation im ERP-System.

Vor allem in Unternehmen mit komplexen Produktionsstrukturen, in denen die Herstellung der Produkte zahlreiche Bearbeitungsstufen aufweist, ist eine solche Anwendung von großem Nutzen. Grundlage für den effizienten Betrieb ist dabei eine valide Datenbasis auf der die Planungen der einzelnen Abteilungen stattfinden. Grenzen sind dieser Anwendung durch die Anzahl der Entscheider gesetzt, denn mit zunehmender Beteiligung steigt die Komplexität des Systems erheblich. Die Beeinflussung der Planungen sollte daher auf eine möglichst geringe Zahl von Entscheidern beschränkt sein. Zudem ist darauf zu achten, dass durch die Anwendung nicht wiederholt umgeplant werden darf, da die Stabilität der Produktionsprozesse dadurch erheblich gefährdet wird. Im Kontext von Industrie 4.0 steht dieses Szenario auch im Zusammenhang mit anderen Anwendungen. So kann der Entscheider das mobile Endgerät ebenfalls zur ortsunabhängigen Abfrage von Auftragsinformationen oder Maschinenstatus verwenden. Je nach Szenario können so über eine entsprechende Applikation eine Vielzahl von Informationen abgefragt werden. Der Entscheider wird dadurch effizient und durchgängig über den gesamten Arbeitstag hinweg bei seinen Entscheidungen unterstützt.

### 5.2.7.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 20

#### **Lösungsprofil zur Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung**

Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung	
<b>Bedarf:</b>	Simulation und Kommunikation von Feinplanungen auf Abteilungsebene
<b>Lösungsidee:</b>	Entscheider in der Produktion sind digital vernetzt und über alle manuellen Anpassungen des Fertigungsprogramms anderer Abteilungen voll informiert
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuelle Anpassungen der Planung werden digital über eine einfache App erfasst</li> <li>• Betroffene Abteilungen werden direkt über „Events“ informiert</li> <li>• Planungsänderungen können direkt berücksichtigt werden</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganzheitliche Optimierung der Auftragsabarbeitung</li> <li>• Vermeidung von Reibungsverlusten zwischen Abteilungen</li> <li>• Entscheidungen werden digital dokumentiert</li> <li>• Informationen sind für alle Entscheider sofort verfügbar</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.8 Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung

### 5.2.8.1 Bedarf und Lösungsansatz

Bei der Produktionsplanung und -steuerung geht es vorrangig um die möglichst effiziente Planung vorhandener Ressourcen, d. h. Menschen, Maschinen und Materialien, sowie die Steuerung eines komplexen Materialflusses. Um einen möglichst zuverlässigen und realisierbaren Plan zu erstellen, bedarf es jedoch Transparenz hinsichtlich sämtlicher Ressourcen und deren Verfügbarkeiten sowie bereits in Bearbeitung befindlicher Aufträge. Aktuell erfolgen Rückmeldungen häufig in Papierform oder digital an vorgesehene Terminals nach bestimmten Arbeitsschritten, bspw. mittels Barcode-Scannern. Da nur nach definierten Stationen eine Rückmeldung erfolgt, ist Transparenz über den Fertigungsfortschritt nur bedingt und zeitverzögert vorhanden. Maschinenstörungen werden meist ebenso in Papierform oder mit Hilfe von Insellösungen erfasst, z. B. Tabellenverarbeitungsprogrammen, die jedoch meist nicht mit ERP-Systemen verknüpft sind. Die Transparenz über verfügbare Maschinenkapazitäten ist daher begrenzt.

Cyber-Physische Systeme bieten hier einen Lösungsansatz. Das folgende Beispiel zeigt wieder, wie die Zukunft aussehen könnte.

#### *Zukunftsszenario: Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung*

---

*Werden Teile an eine Maschine transportiert, werden sie automatisch von der Maschine anhand ihrer Teile- und Auftragsnummer identifiziert. Die Maschine leitet diese Informationen inklusive Zeitstempel direkt an das ERP-System weiter, sodass sofort erkennbar ist, in welcher Fertigungsstufe sich die Teile befinden. Nachdem die Bearbeitung der Teile abgeschlossen ist, meldet die Maschine die gefertigten Stückzahlen ans ERP-System und meldet den Auftrag damit automatisch von dieser Fertigungsstufe ab. Somit ist zu jedem Zeitpunkt Transparenz über die Fertigungsfortschritte der Teile möglich. Zudem können Umplanungen erfolgen, sofern sich Engpässe abzeichnen, bspw. wenn anhand der rückgemeldeten Stückzahlen erkennbar ist, dass die Soll-Menge unterschritten ist.*

---

#### 5.2.8.2 Die notwendige Technologie

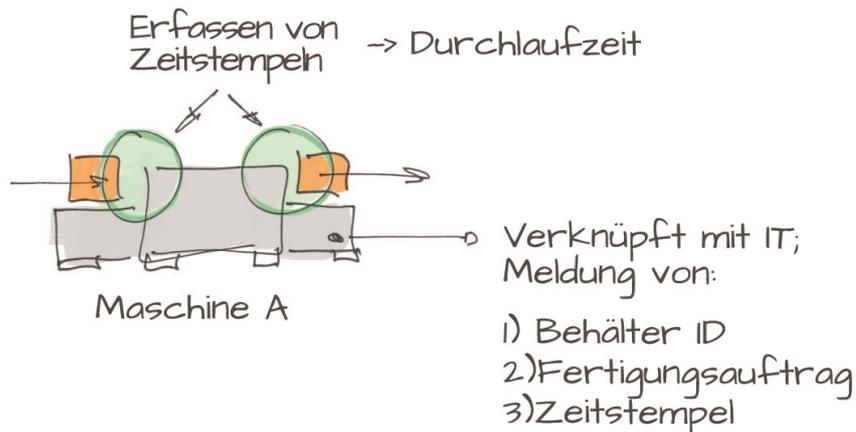
Das Cyber-Physische System ist hier die Produktionsmaschine selbst. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind die folgenden Funktionen erforderlich:

- Integration: Produktionsmaschinen und zu bearbeitende Teile bzw. Behälter müssen eindeutig identifiziert werden können.
- Sensorik: Die Maschinen müssen mit Hilfe von geeigneten Sensoren in der Lage sein, einerseits die Identität der zu bearbeitenden Teile festzustellen und andererseits die gefertigten Stückzahlen erfassen können.
- Datenverarbeitung: Daten, die von der Maschine vor, während und nach der Bearbeitung generiert werden, müssen mit der Identität der bearbeiteten Teile verknüpft und an die IT-Systeme zurückgemeldet werden.
- Vernetzung: Die Maschine muss zum einen über entsprechende Schnittstellen mit dem IT-System im Hintergrund und zum anderen mit dem zu bearbeitenden Teil kommunizieren können.

Nachfolgend ist die Lösung überblicksartig dargestellt. Detailliertere Beschreibungen finden sich direkt im Anschluss.

Abbildung 21

**Bausteine des Lösungsszenarios für die belastbare Datenbasis aus der  
Produktion für Planung und Steuerung**



Quelle: Fraunhofer IIS

Damit die Maschine die Teile erkennen kann, müssen diese über RFID-Tags, QR- oder Barcode eindeutig identifizierbar sein. Die Maschine muss über einen eingebetteten PC und die entsprechende Lesegerätetechnologie verfügen. Alternativ zu den eben genannten Auto-ID-Technologien kann auch die NFC-Technologie eingesetzt werden. Die Vernetzung der Maschine mit dem IT-System kann je nach Bedarf über eine drahtgebundene oder eine drahtlose Schnittstelle erfolgen.

Komplementär macht die Umsetzung des Szenarios eine zusätzliche Integrationsplattform erforderlich. Sämtliche Produktionsmaschinen müssen über eine solche Plattform mit dem bereits vorhandenen informationstechnischen System verknüpft werden, um vollständige Transparenz über den Fertigungsfortschritt zu gewährleisten. Durch die automatische Erfassung von Maschinen- und Produktinformationen entstehen große Datenmengen, sodass für dieses Szenario im Zusammenhang mit der Verwertung der gesammelten Informationen auch Big Data Analytics eine Rolle spielen kann.

### 5.2.8.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Für die Kennzeichnung von Teilen steht eine Vielzahl unterschiedlicher, ausgereifter Auto-ID-Technologien zur Verfügung. Im Einzelfall sind kleinere Anpassungen vorhandener Produkte erforderlich. Gleiches gilt für die entsprechenden Lesegeräte. Für nahezu alle relevanten Technologien existieren flexible Produkte, die in aller Regel problemlos mit wenig Entwicklungsaufwand in eine Maschine integriert werden können. Für industrielle Anwendungen entwickelte, eingebettete PCs sind ebenfalls in großer Zahl vorhanden. Sie können für die Integration von Lesegeräten und Sensoren in das System „Maschine“ eingesetzt und über drahtgebundene oder drahtlose Schnittstellen mit

der Umgebung verbunden werden. Im Bereich der Integrationsplattformen sind ebenfalls erste Produkte am Markt verfügbar. Im Einzelfall muss geprüft werden, ob bzw. inwieweit diese Produkte die konkreten Anforderungen der Anwendung erfüllen. In aller Regel ist mindestens eine Konfiguration der Produkte erforderlich. Unter Umständen müssen neue Software-Adapter erstellt werden, um neue Maschinen in den bereits vorhandenen Maschinenverbund zu integrieren. Die einzelnen Technologien sind folglich bereits vorhanden, müssen jedoch je nach Anwendungsfall auf die spezifischen Anforderungen angepasst werden und in ein komplexes, zuverlässiges System überführt werden. Um den Aufwand hierfür möglichst gering zu halten, sind Standards zur Anbindung von Maschinen notwendig, die bislang jedoch fehlen. Insgesamt ist eine Umsetzung des weiter oben beschriebenen Szenarios ohne großen Aufwand möglich.

#### 5.2.8.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Der vorrangige Nutzen liegt hier darin, dass Fertigungsfortschritte maschinenübergreifend mit hoher Granularität auf Teileebene und in Echtzeit dargestellt werden können, ohne dass zusätzlicher personeller Aufwand für die Datenerfassung anfällt. Auf einer zweiten Detaillierungsebene sind die folgenden Nutzenpotenziale von Bedeutung:

- Mit höherer Granularität und Durchgängigkeit der Abbildung des Fertigungsfortschritts vereinfacht sich die Planung.
- Recherchearbeiten zum Fertigungsfortschritt spezifischer Aufträge und die damit verbundenen Aufwände entfallen vollständig.
- Unsicherheiten hinsichtlich des aktuellen Fertigungsstands werden ebenso wie die hiermit verbundenen Risiken weitgehend abgebaut.
- Störungen wie z. B. Maschinenausfälle werden sofort und vollautomatisch sichtbar und können in der Planung sofort berücksichtigt werden.
- Die gesammelten Daten können zusätzlich für Controlling-Zwecke und Optimierungsmaßnahmen herangezogen werden.

Die oben beschriebene Lösung wird bspw. in Montagebetrieben der Automobilindustrie bereits an vielen Stellen eingesetzt. In der mittelständischen Metall- und Elektroindustrie scheint diesbezüglich jedoch Nachholbedarf zu existieren, da die Maschinen hier noch einen geringeren Grad an Vernetzung aufweisen. Vereinzelt gibt es hier bereits Lösungen für teil- und vollautomatisierte Rückmeldesysteme, aber keinen flächendeckenden Einsatz. Hier können Ideen und Konzepte aus anderen Branchen unter Umständen als Orientierung dienen.

### 5.2.8.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 22

#### **Lösungsprofil für die belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung**

Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung	
<b>Bedarf:</b>	Effiziente Planung und Steuerung von Ressourcen
<b>Lösungsidee:</b>	Echtzeittransparenz über den Fertigungsfortschritt auf Basis vollautomatischer Rückmeldungen durch intelligente Maschinen
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatische Identifikation von Teilen und Aufträgen</li> <li>• Meldung von Maschine an ERP-System, bei Ankunft der Teile an Maschine</li> <li>• Rückmeldung der gefertigten Stückzahlen und automatisches Abmelden des Auftrags von der Maschine</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vereinfachte und belastbarere Planung durch erhöhte Transparenz über Fertigung</li> <li>• Kein personeller Aufwand für Rückmeldungen</li> <li>• Fertigungsfortschritte maschinenübergreifend in Echtzeit abbildbar</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.9 Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter

### 5.2.9.1 Bedarfe und Lösungsansatz

Innerbetriebliche Transportprozesse werden in vielen Unternehmen mit Hilfe von Behältern durchgeführt. Die flächendeckende Nachverfolgbarkeit der oft in großer Zahl vorhandenen Behälter ist aufgrund von fehlenden technologischen Lösungen bisher nicht gewährleistet. Nicht selten sind daher beträchtlicher Suchaufwände notwendig, um bspw. das Material eines bestimmten Fertigungsauftrags zu finden. Bisher sind allenfalls Lösungen im Einsatz, bei denen an bestimmten neuralgischen Punkten in der Fertigung Rückmeldungen erfolgen. Bei dieser indirekten, sehr ungenauen Verortung kommen in der Regel Barcodes und entsprechende mobile Lesegeräte zum Einsatz. Solche Lösungen sind allerdings mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da die Rückmeldungen manuell durch einen Mitarbeiter erfolgen. Der Grad der Integration von Informations- und Materialflüssen reicht für eine vollständige Transparenz des Behälterflusses nicht aus.

Cyber-Physische Systeme bieten hier die Möglichkeit, eine kontinuierliche Lokalisierung und Identifikation aller im Unternehmen befindlichen Behälter zu realisieren. Im Folgenden wird eine mögliche Lösung etwas detaillierter beschrieben.

*Zukunftsszenario: Nutzung eingebetteter, energieeffizienter Mikroelektronik zur Positionsbestimmung von Behältern bei innerbetrieblichen logistischen Prozessen*

---

*Die internen Transportbehälter sind mit Hilfe von eingebetteter Mikroelektronik eindeutig lokalisier- und identifizierbar. In definierten Abständen senden sie Positionsdaten mit Zeitstempel, sodass genau nachvollzogen werden kann, wo sich ein Behälter wann befunden hat. Die integrierte Elektronik kann sich dabei auch mit anderen Behältern in der Umgebung vernetzen. Somit ist es möglich, einen Verbund von Behältern zu bilden und diesem einen konkreten Fertigungsauftrag zuzuordnen. Hierzu werden alle Lokalisierungs- und Auftragsdaten in die Integrationsplattform übertragen und die einzelnen Behälter den jeweiligen Fertigungsaufträgen zugewiesen. Der Mitarbeiter kann nun durch eine Abfrage eines Fertigungsauftrags zum Beispiel über eine Applikation auf einem Tablet die Position aller hierfür benötigten Transportbehälter abfragen. Somit ist es möglich, das für einen Fertigungsauftrag benötigte Material bzw. entsprechende Zwischenprodukte in der Halle schnell und ohne Suchaufwand zu finden.*

---

#### 5.2.9.2 Benötigte Technologien

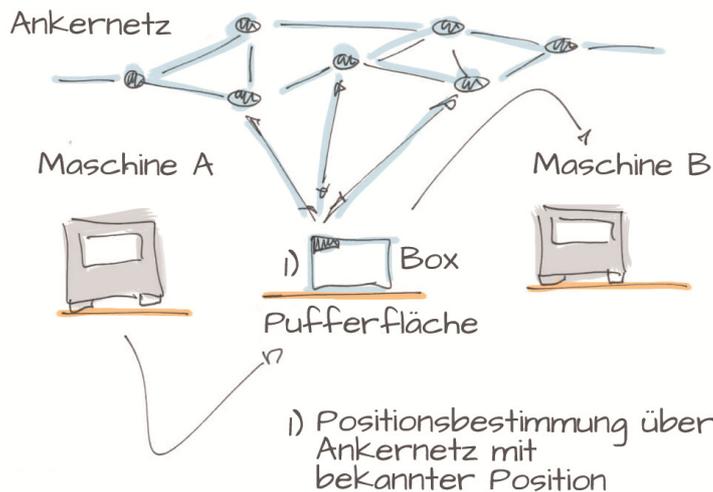
Das Cyber-Physische System ist in diesem Fall der intelligente Produktionsbehälter. Folgende Funktionen sind für die Umsetzung der Lösung erforderlich:

- Integration: Die in den Behälter eingebettete Mikroelektronik muss eine eindeutige Identifikationsnummer speichern, anhand derer der Behälter innerhalb der Produktion erkannt werden kann.
- Sensorik: Sensorische Elemente liefern Daten, auf deren Basis der Behälter die eigene Position mit ausreichender Genauigkeit bestimmen kann.
- Datenverarbeitung: Der Behälter muss in der Lage sein, Positionsinformationen mit zusätzlichen Zeitstempeln zu versehen, mit der Behälter-ID zu verknüpfen und diese in festen zeitlichen Abständen oder auf Anfrage an das Backend-System zu senden.
- Vernetzung: Intelligente Behälter müssen kontinuierlich mit der informations- und kommunikationstechnischen Infrastruktur verknüpft und damit permanent für das IT-System im Backend erreichbar sein.

Weitere Funktionen sind direkt auf dem intelligenten Behälter nicht unbedingt erforderlich. Gesteuert werden kann der Behälter zunächst durch eine entsprechende Logik im informationstechnischen Backend. Im Zusammenhang mit der Umsetzung der Vision Industrie 4.0 wäre es allerdings denkbar, dass sich der Behälter zukünftig auf Basis eines aus dem Backend heruntergeladenen digitalen Fertigungsauftrags selbständig durch eine Produktionshalle steuert. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Lösungs-idee in Form einer einfachen Skizze.

Abbildung 23

**Bausteine des Lösungsszenarios für die kontinuierliche Verfolgung von  
Produktionsbehältern innerhalb der Produktionshalle**



Quelle: Fraunhofer IIS

Zentrales Element dieser Lösung ist der intelligente Behälter. Für dessen Lokalisierung stehen heute eine ganze Reihe unterschiedlicher Technologien zur Verfügung. Beispielsweise können passive RFID-Etiketten an den Behältern angebracht und über eine entsprechende Infrastruktur geortet werden. Eine zweite Alternative sind die seit vielen Jahren am Markt verfügbaren Echtzeitlokalisierungssysteme. In diesem Fall werden aktive mikroelektronische Etiketten in die Behälter integriert. Die Etiketten stehen auch hier mit einer eigens installierten Infrastruktur in Verbindung, mit deren Hilfe die Position bestimmt werden kann. Eine dritte Alternative ist die Ortung intelligenter Behälter in bereits vorhandenen Kommunikationsnetzen. Beispielsweise existieren seit einiger Zeit technologische Lösungen, welche die in der Produktion in aller Regel vorhandenen WLAN-Netze für die Ortsbestimmung nutzen. Als letzte und vierte Möglichkeit ist die Ortung von Funkknoten in drahtlosen Sensornetzen zu nennen. Hier werden an beliebigen Stellen im Raum fest angebrachte drahtlos miteinander verknüpfte Funkknoten als Kommunikationsinfrastruktur verwendet. Die Position dieser „Ankerknoten“ ist bekannt. Mobile Funkknoten, die wiederum in die Behälter selbst integriert sind, vernetzen sich selbständig mit den gerade erreichbaren Ankerknoten, beschaffen sich die dort abgespeicherten Positionsinformationen und berechnen bspw. auf Basis von Feldstärkemessungen die eigene. Diese Positionsinformation kann dann problemlos und schnell über das Ankernetz und über ein sogenanntes Gateway an eine zentrale Instanz im IT-Backend weitergegeben und dort weiterverarbeitet werden.

Abgesehen vom eigentlichen Ortungssystem sind weitere komplementäre Innovationen erforderlich. Hier ist vor allem eine zusätzliche Integrationsplattform zu nennen, mit deren Hilfe Behälter und Ortungssystem in die vorhandene IT-Landschaft integriert

werden. Des Weiteren müssen Mitarbeiter, die für den Transport der Behälter innerhalb der Produktion verantwortlich sind, mit mobilen Endgeräten ausgestattet werden. Die Geräte werden primär zur Identifikation der Behälter genutzt. Auf Basis der ID eines Behälters können Informationen zum zugehörigen digitalen Fertigungsauftrag abgerufen und zur nächsten Produktionsmaschine transportiert werden. Zum anderen bieten diese Endgeräte die Möglichkeit, die Position eines spezifischen Behälters innerhalb der Produktion abzufragen. Mittel- bis langfristig wäre es auch denkbar, dass die Steuerungsintelligenz im Behälter selbst liegt und dass der Behälter Transportaufträge generiert und dem Mitarbeiter über das mobile Endgerät mitteilt.

#### 5.2.9.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Lokalisierungssysteme, mit denen Behälter in der Produktion verortet werden können, sind bereits heute verfügbar. Die erforderlichen Genauigkeiten werden grundsätzlich erreicht, einfache Ortungsprobleme lassen sich bereits mit den heute verfügbaren Produkten lösen. Allerdings sind die Ortungsergebnisse stark von Umgebungsbedingungen abhängig und insbesondere in der Produktion verursachen Mehrwegeausbreitung und Abschattungen Probleme. Beseitigen lassen sich diese durch die Fusion unterschiedlicher Lokalisierungsverfahren. Aktuell wird im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprojekten an entsprechenden Lösungen gearbeitet. Ziel ist die Realisierung von Lokalisierungssystemen für die Produktion, die einen bestimmten „Service Level“ beziehungsweise eine Mindestgenauigkeit unabhängig von den Umgebungsbedingungen bieten. Eine zweite Herausforderung ist die Versorgung intelligenter Behälter mit Energie. Technologieanbieter arbeiten in diesem Zusammenhang vor allem an der Energieeffizienz vorhandener Produkte. Des Weiteren versucht man, über Energy Harvesting-Ansätze Energie aus der Umgebung zu gewinnen. Erste Prototypen, die Solarenergie für den Betrieb nutzen, sind bereits vorhanden und werden stetig weiterentwickelt. Die Integration intelligenter Behälter über Integrationsplattformen und der Informationsaustausch zwischen Behälter und Mitarbeiter über mobile Endgeräte sind aus technischer Sicht unproblematisch und vergleichsweise einfach umsetzbar.

#### 5.2.9.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial dieses Szenarios liegt in der Vermeidung von Suchaufwänden und der eindeutigen Identifikation der Produktionsbehälter. Zudem sind folgende weitere Nutzenpotenziale vorhanden.

- Steigerung der Effizienz des innerbetrieblichen Transports.
- Einfachere Planungs- und Steuerungsprozesse.
- Generierung von Logistikkennzahlen für das Controlling.

Die Attraktivität dieser Anwendung wird dabei sehr stark durch die unternehmensspezifischen Gegebenheiten beeinflusst. So ist der Nutzen der beschriebenen Anwendung sehr stark davon abhängig, welche anderen Maßnahmen bereits im Unternehmen zur Reduktion der Suchaufwände eingeleitet wurden. Viele Unternehmen haben durch

definierte Pufferflächen und andere organisatorische Maßnahmen bereits eine deutliche Verbesserung der Problemstellung erreicht. Somit ist vor allem der Mehrwert im Verhältnis zu den entsprechenden Kosten auf Basis der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen für die Attraktivität relevant.

Der intelligente Behälter kann darüber hinaus für andere, in der vorliegenden Studie beschriebenen Lösungen von Bedeutung sein. So können intelligente Behälter einen digitalen Fertigungsauftrag mit sich führen und mit Maschinen, Transportmitteln und Lagereinrichtungen kommunizieren. Sie können steuernd eingreifen und die Vision Industrie 4.0 in signifikanter Weise umsetzen helfen. Im Verein mit den bereits in anderen Lösungsskizzen genannten intelligenten Maschinen sorgen die smarten Behälter vor allem für Transparenz produktionslogistischer Prozesse innerhalb von einzelnen Fertigungsstätten als auch innerhalb von internationalen bzw. globalen Produktionsnetzen. Sie stehen gemeinsam mit den intelligenten Maschinen für eine verteilte Infrastruktur miniaturisierter und leistungsfähiger Rechner, die eine Implementierung der Grundidee hinter Industrie 4.0, und zwar der dezentralen Steuerung von Fertigungsprozessen, erst ermöglicht.

Auch wenn smarte Behälter aus dem klassischen Blickwinkel der Produktion zunächst zweitrangig zu sein scheinen, darf deren Bedeutung für Industrie 4.0 vor diesem Hintergrund keinesfalls unterschätzt werden. Industrie 4.0 muss ganzheitlich aus der Perspektive vollständiger Wertschöpfungsketten betrachtet werden. Produktion und Logistik sind gleichermaßen wichtig. Eine vollständige Umsetzung der Vision setzt voraus, dass das traditionelle, rein funktionsorientierte Denken ersetzt wird durch eine moderne und vorbehaltlose prozessorientierte Denkweise.

### 5.2.9.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 24

#### **Lösungsprofil für die Lokalisierung von Produktionsbehältern**

Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter	
<b>Bedarf:</b>	Transparenz schaffen und Suchaufwände der Mitarbeiter vermeiden
<b>Lösungsidee:</b>	In die Behälter eingebettete, energieeffiziente Mikroelektronik für die Positionsbestimmung während der Pufferung oder des innerbetrieblichen Transports
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontinuierliche Bestimmung der Position von Behältern</li> <li>• Verfolgung der Position über entsprechendes System</li> <li>• Bei Bedarf Führung der Mitarbeiter zu entsprechendem Behälter</li> <li>• Digitale Verknüpfung der Behälter mit Maschine und FFZ</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung von Suchaufwänden</li> <li>• Höhere Effizienz innerbetrieblicher Transportprozesse</li> <li>• Einfachere Planungs- und Steuerungsprozesse</li> <li>• Einfaches Generieren von Logistikkennzahlen für das Controlling</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

### 5.2.10 Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte

#### 5.2.10.1 Bedarf und Lösungsansatz

Flurförderzeuge bzw. FFZ sind heute essenzieller Bestandteil innerbetrieblicher Transportprozesse in vielen Unternehmen. Der effiziente Betrieb von FFZ rückt dabei immer mehr in den Fokus, denn hier eröffnen sich bisher unbeachtete Optimierungspotenziale. Bislang wurde die Effizienz meist anhand von manuell erfassten Daten nur sehr lückenhaft festgehalten. Überdies war die Erfassung mit erheblichen personellen Aufwänden verbunden und die Ergebnisse waren mit teils hoher Subjektivität behaftet. Die Aussagefähigkeit und der Nutzen der erhobenen Daten sind bislang dementsprechend begrenzt. Ein kontinuierliches Monitoring findet in den meisten Unternehmen heute in aller Regel nicht statt. Entsprechende Lösungen sind erst noch zu entwickeln.

Cyber-Physische Systeme bieten eine neue Möglichkeit, eine valide Datenbasis zur Effizienzbewertung für interne Transportprozesse zu schaffen. Das nachfolgende Szenario zeigt einen möglichen Lösungsweg im Detail:

### *Zukunftsszenario: Monitoring und datenbasierte Steuerung von Flurförderzeugen zur effizienten Abwicklung innerbetrieblicher Transportaufträge*

---

*Alle im Unternehmen eingesetzten Flurförderzeuge sind mit Lokalisierungstechnologien und Sensoren ausgestattet. Durch diese ist es zum einen möglich, kontinuierlich die Position des FFZ zu bestimmen. Zum anderen können weitere Zustände wie zum Beispiel die Beladung erfasst werden. Auf Basis dieser Daten ist es möglich, Kennzahlen wie etwa die Fahr- und Standzeiten oder die Routentreue bei einem Routenzug darstellen zu können. Die Analyse der entsprechenden Kennzahlen ermöglicht anschließend die Bewertung der Effizienz und die Identifikation von Schwachstellen. Darüber hinaus kann auf Basis der erfassten Daten durch eine entsprechende Softwarelösung eine Steuerung der FFZ realisiert werden. Eine Integrationsplattform stellt dabei die Verbindung zwischen den offenen Transportaufträgen und den erfassten Ist-Daten der Transportmittel her. Der Mitarbeiter am FFZ kann nun zum Beispiel über ein mobiles Endgerät direkt mit dem nächsten Transportauftrag versorgt werden. Die Abwicklung aller Transportaufträge erfolgt somit hochgradig effizient und abhängig von der aktuellen Position des FFZ.*

---

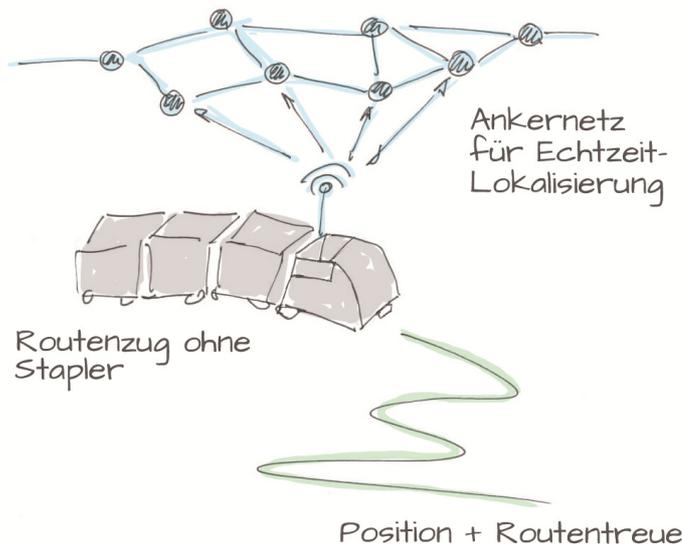
#### 5.2.10.2 Die notwendige Technologie

Für die Umsetzung dieses Szenarios müssen die eingesetzten FFZ in mobile CPS verwandelt werden. Folgende Funktionen müssen direkt auf dem Flurförderzeug realisiert werden:

- Integration: Das physische Flurförderzeug muss digital ins IT-System des Unternehmens integriert und zumindest innerhalb des Unternehmens eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Mit Hilfe von Sensoren wird festgestellt, wo sich das FFZ befindet, ob es sich bspw. im fahrenden oder stehenden Zustand befindet und ob es beladen ist oder nicht.
- Datenverarbeitung: Die FFZ verarbeiten die erfassten Positions- und Sensordaten direkt selbst.
- Vernetzung: Die FFZ müssen in der Lage sein, mit der Unternehmens-IT zu kommunizieren, um Informationen dorthin zu übermitteln oder um Fahraufträge von dort zu erhalten.

Die Datenverarbeitung und die Steuerung der FFZ erfolgen im informationstechnischen Backend des Unternehmens. Bei einer Weiterentwicklung wäre es auch denkbar, dass die einzelnen FFZ die Verteilung von Fahraufträgen direkt miteinander verhandeln. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine entsprechende Lösungsskizze.

Abbildung 25

**Nutzung von CPS-Technologien zur Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte**

Quelle: Fraunhofer IIS

Für die Realisierung der beschriebenen Lösung kommen unterschiedliche Technologien zum Einsatz. Zum einen wird das Flurförderzeug mit Hilfe von Lokalisierungstechnologien wie etwa einer WLAN-Ortung kontinuierlich lokalisiert. Besonders in Produktions- und Lagerhallen mit guter WLAN-Infrastruktur eignet sich diese Art der Lokalisierung aufgrund der aufwandsarmen Installation sehr gut. Alternativ kann hier auch durch im Boden integrierte RFID Tags eine Lokalisierung erfolgen. Mit Hilfe von Inertialsensorik ist es darüber hinaus möglich, die Fahr- und Standzeiten eines FFZ aufzuzeichnen. In Verbindung mit den Lokalisierungsdaten kann so ein noch detaillierteres Abbild der Fahrstrecken aufgezeichnet werden. Des Weiteren kann durch einen Ultraschallsensor der Beladungszustand eines Flurförderzeugs erfasst werden. Die Kommunikation mit der Integrationsplattform und den angeschlossenen IT-Systemen erfolgt dabei ebenfalls kabellos über WLAN oder alternativ über GSM-Modul und Mobilfunknetz.

Neben den für das CPS elementaren Technologien sind zur Realisierung der Lösung weitere komplementäre Bausteine notwendig. Besonders wichtig ist hier eine Integrationsplattform, welche die Auswertung der Daten und die Kommunikation zwischen den Transportmitteln und der Steuerungssoftware übernimmt. Die Ansteuerung der Mitarbeiter kann dabei über mobile Endgeräte wie z. B. Datenbrillen oder auf dem FFZ montierte Displays erfolgen. Mit Hilfe von speziell auf den Einsatzzweck zugeschnittenen „Apps“ kann der Mitarbeiter bedarfsgerecht mit Informationen aus der Integrationsplattform versorgt und der Transportprozess entsprechend gesteuert werden.

### 5.2.10.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Die für die Lokalisierung möglichen Technologien sind bereits in einem marktreifen Stadium erhältlich. Sensoren zur Erfassung zahlreicher weiterer Zustände sind ebenfalls in sehr variantenreichen Ausprägungen verfügbar. Je nach unternehmensspezifischen Gegebenheiten sind hier die geeigneten Technologien auszuwählen. So eignet sich ein Ultraschallsensor zur Erfassung des Beladungszustands bspw. nicht für Gitterboxen. Der Schall wird an diesen nicht ausreichend reflektiert und eine zuverlässige Erfassung der Beladung ist somit nicht gewährleistet. Hier können optische Systeme eine Alternative darstellen. Darüber hinaus muss die Installation aller relevanten Sensoren am FFZ so ausgelegt sein, dass sie zum einen dem normalen Betrieb der Förderzeuge standhält. Zum anderen muss die Manipulationssicherheit des Gesamtsystems gewährleistet sein. Die zuverlässige, drahtlose Kommunikation des im FFZ integrierten Systems mit der Integrationsplattform muss dabei ebenfalls sichergestellt werden. Bereits vorhandene Integrationsplattformen können als Basis genutzt und weiterentwickelt werden. Die Integrationsplattform muss die erfassten Daten allerdings soweit anonymisieren, dass nicht mehr auf das einzelnen Flurförderzeug bzw. den einzelnen Mitarbeiter rückgeschlossen werden kann, da sonst datenschutzrechtliche Probleme auftreten. Werden die erfassten Positionsdaten zur Steuerung der Flurförderzeuge eingesetzt, können als Grundlage auf dem Markt erhältliche Softwaresysteme genutzt und weiterentwickelt werden.

### 5.2.10.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das zentrale Nutzenpotenzial dieses Szenarios liegt in der Steigerung der Effizienz der eingesetzten FFZ. Durch die Schaffung von Transparenz in den Transportprozessen ist es möglich, Schwachstellen zu erkennen und eine Optimierung einzuleiten. Des Weiteren ergeben sich folgende Nutzenpotenziale:

- Reduktion der Kosten für die Erfassung relevanter Daten.
- Steigerung der Datenqualität bei der Datenaufnahme.
- Nutzung der Daten zur dynamischen Steuerung der Transportprozesse.
- Vermeidung von manuellen Verwaltung- und Planungsaufwänden.

Darüber hinaus liefert die Anwendung auch für das Controlling wertvolle Daten. Der Nutzen ist dabei allerdings stark von der Anzahl und der Art der eingesetzten FFZ abhängig. Besonders für Unternehmen mit einer hohen Zahl an FFZ, deren Einsatz nicht mehr manuell überwacht werden kann, ist diese Anwendung von großer Bedeutung. Weitere Chancen ergeben sich durch dieses Szenario auch im Zusammenhang mit Anwendungen wie bspw. dem intelligenten Transportbehälter. Durch eine Kommunikation zwischen dem Flurförderzeug und den Produktionsbehältern kann eine lückenlose Warenverfolgung gewährleistet werden. Überdies kann durch eine direkte Kommunikation der FFZ mit seiner gesamten Umgebung (Maschinen, Behältern, Mitarbeitern etc.) eine noch dynamischere und effizientere Transportabwicklung realisiert werden.

### 5.2.10.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 26

#### **Lösungsprofil zur Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte**

Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transportprozesse	
<b>Bedarf:</b>	Schaffung von Transparenz bei innerbetrieblichen Transportprozessen durch automatisiert erhobene Kennzahlen
<b>Lösungsidee:</b>	Nutzung eingebetteter mikroelektronischer Systeme für die Lokalisierung von Routenzügen und Staplern
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permanente Positionsbestimmung während des Betriebs</li> <li>• Zustandserfassung mit Hilfe von Sensorik</li> <li>• Nutzung der Daten für die Generierung von Kennzahlen</li> <li>• Betriebsoptimierung auf Basis der erhobenen Daten</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion der Kosten für die Datenaufnahme</li> <li>• Steigerung der Qualität der Datenaufnahme</li> <li>• Mögliche Optimierung der Transportprozesse</li> <li>• Verwendung der Positionsdaten für dynamische Transportsteuerung</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

### 5.2.11 Durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses

#### 5.2.11.1 Bedarfe und Lösungsansatz

Die Qualitätsanforderungen an produzierte Güter sind in vielen Branchen aktuell bereits auf einem sehr hohen Niveau und steigen kontinuierlich weiter. Dies setzt Unternehmen zunehmend unter einen hohen Kostendruck, da durch die höheren Anforderungen die bisherigen Produktionsstandards oftmals nicht mehr ausreichen. Dem Qualitätsmanagement kommt daher eine immer größer werdende Rolle zu. Bisher sind Qualitätskontrollen häufig sehr aufwendig und werden aus diesem Grund teilweise nur stichprobenartig außerhalb der Produktionslinie durchgeführt. Dies führt dazu, dass eventuell entstandene Qualitätsmängel erst deutlich nach ihrem Auftreten im weiteren Verlauf des Fertigungsprozesses erkannt werden und deren Behebung einen erheblichen Kosten- und Leistungsaufwand verursacht. Eine kontinuierliche, automatisierte Erfassung qualitätsrelevanter Parameter würde hier einen deutlichen Vorteil liefern.

Mit Hilfe von Cyber-Physischen Systemen lässt sich eine Lösung für dieses Problem realisieren. Im Folgenden wird ein mögliches Zukunftsszenario vorgestellt:

### *Zukunftsszenario: Einsatz verteilter Sensorik für die kosteneffiziente Messung von qualitätsrelevanten Kenngrößen bei zunehmend komplexeren Produktionsverfahren*

---

*Zur Sicherung der geforderten Qualität sind bei der Herstellung bestimmter Güter bspw. definierte Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc.) notwendig. Diese werden durch geeignete Sensoren an Arbeitsplätzen und Maschinen erfasst und durch eine entsprechende Softwareanwendung bewertet. Sollte eine Abweichung der definierten Vorgaben festgestellt werden, stößt das System automatisch einen vorgegebenen Prozess an und leitet selbstständig z. B. die Nacharbeit betroffener Bauteile ein oder sendet eine Warnmeldung an den zuständigen Mitarbeiter. Zudem werden alle erfassten qualitätsrelevanten Daten im Backendsystem gespeichert, sodass eine lückenlose Produktionshistorie vorhanden ist.*

---

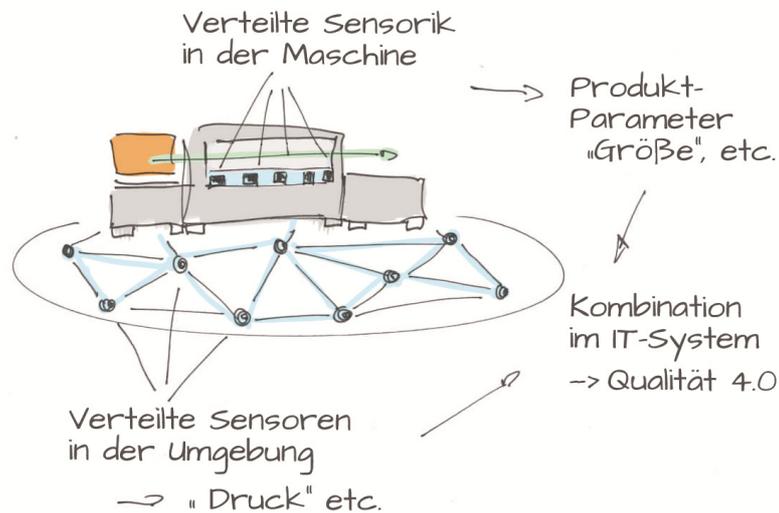
#### 5.2.11.2 Die notwendigen Technologien

Das Cyber-Physische System ist in diesem Szenario der Arbeitsplatz bzw. die Maschine in der Fertigung eines Unternehmens, an dem bzw. an der die qualitätsrelevanten Parameter erfasst werden. Folgende Funktionen sind dabei für die Realisierung der beschriebenen Lösung notwendig:

- Integration: Der Arbeitsplatz bzw. die Maschine muss über eine digitale Kennung im IT-System des Unternehmens eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Mit Hilfe entsprechender Sensorik ist es möglich, alle qualitätsrelevanten Parameter direkt zu erfassen.
- Datenverarbeitung: Der Arbeitsplatz bzw. die Maschine müssen die erfassten Daten verarbeiten können.
- Steuerung: Auf Basis der erfassten Daten muss das System selbstständig auf Abweichungen reagieren und Maßnahmen anstoßen.
- Vernetzung: Der Arbeitsplatz bzw. die Maschine müssen mit dem IT-System des Unternehmens vernetzt sein und über definierte Schnittstellen kommunizieren.

Darüber hinaus sind keine weiteren Funktionen erforderlich. Nachfolgend ist die Lösung in Form einer Skizze dargestellt.

Abbildung 27

**Lösung für die Erfassung qualitätsrelevanter Parameter**

Quelle: Fraunhofer IIS

Zur Realisierung des Szenarios sind Sensoren zur Erfassung aller qualitätsrelevanten Parameter notwendig. Hier können je nach Anwendungsfall sehr unterschiedliche Technologien eingesetzt werden. So erfolgt die Erfassung von Parametern wie z. B. die Prüfung der Oberflächenqualität mit Hilfe von optischen Sensoren direkt durch die Maschine selbst. Daneben werden relevante Umgebungsparameter wie die Luftfeuchtigkeit, die Temperatur, der Luftdruck etc. durch geeignete externe Sensoren erfasst. Die Verarbeitung dieser Daten muss anschließend durch ausreichend leistungsstarke eingebettete Computer erfolgen.

Daneben sind weitere komplementäre Technologien zur Realisierung dieses Szenarios notwendig. So werden alle erfassten Qualitätsdaten aller Sensoren in einer Integrationsplattform zusammengeführt. Mit Hilfe einer Big Data Analytics Softwarelösung können diese dann anschließend entsprechend den Anforderungen des Unternehmens effizient ausgewertet werden. Sollten Abweichungen analysiert worden sein, werden diese durch die Integrationsplattform wieder direkt an die Maschine zurückgemeldet und ein definierter Prozess wird angestoßen. Schlussendlich werden im digitalen Fertigungsauftrag alle qualitätsrelevanten Einzelheiten dokumentiert.

### 5.2.11.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Moderne Produktionsanlagen verfügen bereits über zahlreiche Sensoren zur Erfassung bestimmter Parameter. Problematisch sind hierbei allerdings die Schnittstellen zur Abfrage der gesammelten Daten. Hier besteht noch Entwicklungsbedarf hinsichtlich eines einheitlichen Standards. Bisher sind abhängig von der entsprechenden Maschine sehr aufwändige individuelle Lösungen notwendig. Für die Erfassung weiterer Parameter

außerhalb der Maschine ist aktuell bereits eine Vielzahl von Sensoren für die unterschiedlichsten Anwendungen auf dem Markt erhältlich. Die Verarbeitung der über diese Sensoren erfassten Daten kann bei modernen Maschinen bereits auf dem vorhandenen Rechnersystem stattfinden. Sollte diese Möglichkeit nicht vorhanden sein, muss ein entsprechend leistungsstarker Computer an der Maschine bzw. dem Arbeitsplatz angebracht werden. Entsprechende Produkte sind dabei allerdings bereits auf dem Markt erhältlich. Bei einer solchen individuellen, modularen Zusammenstellung des Systems, bestehend aus einem Rechner und entsprechenden Sensoren ist auf die stabile und sichere Kommunikation zwischen allen Komponenten zu achten. Die Auswahl geeigneter Hardware muss dabei auf Basis einer Anforderungsanalyse erfolgen und wird sehr stark durch die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen und Qualitätsanforderungen beeinflusst. Hinsichtlich der Integrationsplattform können bereits bestehende Entwicklungen genutzt und den Anforderungen entsprechend weiterentwickelt werden. Softwareseitig müssen passende Big Data Analytics Lösungen z. B. im Rahmen von Forschungsprojekten noch entwickelt und programmiert werden.

#### 5.2.11.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial liegt bei dieser Anwendung in der automatisierten und lückenlosen Erfassung aller relevanten Qualitätsparameter. Mit Hilfe von Sensoren wird kontinuierlich die Qualität der Produkte überwacht und bei Abweichung sofort reagiert. Hierdurch ergeben sich im Detail weitere Vorteile:

- Reduzierung der Ausschuss- und Nacharbeitsaufwände und -kosten.
- Verringerung des manuellen Überprüfungsaufwands.
- Einfachere Adaption von komplexen Produktionsverfahren.

Die Attraktivität dieser Anwendung ist für viele Unternehmen aus unterschiedlichen Bereichen sehr hoch. Vor allem die Integration von aktuell noch sehr aufwändigen Qualitätsprüfungen in den Produktionsprozess bringt einen großen Zeitvorteil mit sich. Zudem wird durch die automatisierte Erfassung das Risiko von manuellen Fehlern bspw. bei der Vermessung bestimmter Bauteile deutlich reduziert. Vor allem auch hinsichtlich geforderter Transparenz von Kundenseite hat eine solche Anwendung eine große Marktattraktivität. Darüber hinaus hat die beschriebene Anwendung auch einige Anknüpfungspunkte zu anderen Industrie-4.0-Ansätzen. So ist es denkbar, dass die gesammelten Qualitätsdaten durch einen vertrauenswürdigen Dienstleister zentral bzw. in einer Cloud gespeichert und somit allen beteiligten Unternehmen immer aktuell zur Verfügung gestellt werden. Des Weiteren ist denkbar, dass durch eine mobile Computing-Anwendung auf Basis der erfassten Daten eine Simulation von veränderten Produktionsverfahren erfolgt. So könnten Mitarbeiter Veränderungen in den Produktionsprozessen simulieren und die Auswirkungen auf die Qualität angezeigt bekommen.

## 5.2.11.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 28

**Lösungsprofil zur durchgängigen Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses**

Durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses	
<b>Bedarf:</b>	Lückenlose Erfassung aller qualitätsrelevanten Parameter in der Produktion
<b>Lösungsidee:</b>	Einsatz verteilter Sensorik für die kosteneffiziente Messung von qualitätsrelevanten Kenngrößen bei zunehmend komplexeren Produktionsverfahren
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensoren in und an der Maschine erfassen Qualitätsparameter</li> <li>• Information über Abweichung an die Qualitätssicherung</li> <li>• Direkter Anstoß von definierten Prozessen bei Fehlermeldung</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfüllung steigender Qualitätsansprüche der Kunden</li> <li>• Vermeidung manueller Prüfaufwände</li> <li>• Reduktion der Kosten für Nacharbeit und Ausschuss</li> <li>• Einfachere Adaption von komplexen Produktionsverfahren</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.12 Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen

### 5.2.12.1 Bedarf und Lösungsansatz

Gegenstand der Materialplanung ist unter anderem auch, C-Teile zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort und in der richtigen Menge bereit zu stellen. Eine echte Bestandsführung lässt sich hier allerdings aufgrund der hohen Vielfalt und des vergleichsweise geringen Werts nicht rechtfertigen. Sie ist letztlich zu aufwändig. Die Bestandsüberwachung und Bedarfsermittlung erfolgt in der Praxis in der Regel auf Basis grober Schätzungen und sporadischer Lagerbestandskontrollen. Bestellungen werden in aller Regel über ein klassisches ERP-System im Unternehmen manuell angestoßen. Beides ist mit Personalaufwand verbunden und kann zudem aufgrund mangelnder Genauigkeit zu Materialengpässen führen.

Cyber-Physische Systeme bieten hier einen Lösungsansatz. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen*

---

*Der intelligente C-Teile-Behälter erfasst mittels Sensorik den Füllstand an Teilen selbst und vergleicht den Ist-Wert mit Soll-Vorgaben. Bei Unterschreiten eines bestimmten Vorgabewerts löst der Behälter vollautomatisch eine Nachbestellung aus. Zuliefererunternehmen, die sich auf das Thema C-Teile-Management konzentrieren und sowohl die erforderliche Hardware als auch die notwendige Software als Dienstleistung zur Verfügung stellen, nehmen die Bestellungen entgegen und liefern die nachbestellten Teile ebenfalls vollautomatisch und ganz ohne Zutun des Auftraggebers direkt an den Lagerort im Unternehmen. Mitarbeiter im Unternehmen, die heute für die Gewährleistung der Verfügbarkeit von C-Teilen verantwortlich sind, werden von dieser Tätigkeit entlastet und können sich auf ihre Hauptaufgaben konzentrieren.*

---

### 5.2.12.2 Die notwendige Technologie

Das Cyber-Physische System ist hier der intelligente Behälter. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind folgende Funktionen erforderlich:

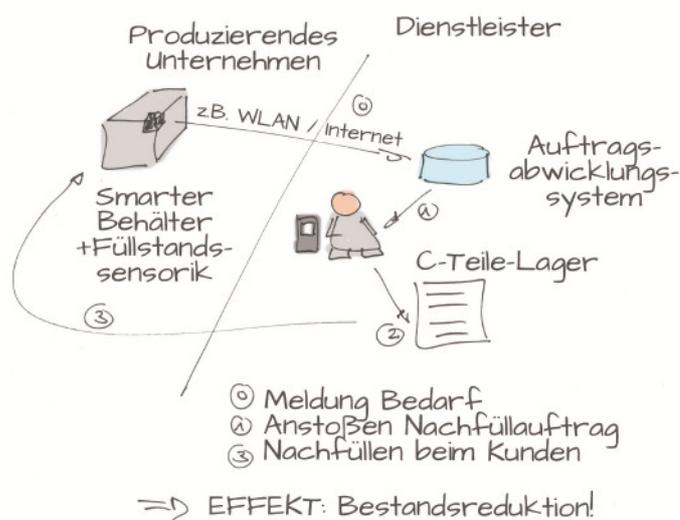
- Integration: Der Behälter muss eine eigene Identität besitzen und im ERP-System mit der Identität der C-Teile selbst verknüpft sein.
- Sensorik: Über geeignete Sensoren muss der Füllstand des Behälters in festen Zeitabständen und bei Bedarf gemessen werden können.
- Datenverarbeitung: Der intelligente Behälter muss auf Basis der Sensordaten den Füllstand berechnen, den Ist-Wert mit einem vorgegebenen Soll-Wert vergleichen und das Ergebnis dieses Abgleichs im Speicherbereich dokumentieren.

- Steuerung: Auf Basis des Soll-Ist-Abgleichs muss der Behälter unter Berücksichtigung der aktuellen Auftragslage entscheiden, ob bzw. wann nachgeliefert werden soll und eine entsprechende Meldung an das ERP-System versenden, auf deren Basis dort eine formale Bestellung beim C-Teile-Lieferanten vollautomatisch ausgeführt wird.
- Vernetzung: Der Behälter muss über eine drahtlose Schnittstelle mit der zentralen EDV im Unternehmen permanent verknüpft sein, um eine Bestellung ohne Zeitverzug auslösen zu können.

Weitere Funktionen wie zum Beispiel Aktuatorik oder Anpassungsfähigkeit sind hier zunächst nicht erforderlich. In einer weiteren Ausbaustufe wäre bspw. denkbar, dass der Behälter die Grenzwerte für den Füllstand auf Basis von Verbrauchshistorien selbst anpasst und damit in gewisser Weise selbst lernt. Die Lösung ist in der nachfolgenden Abbildung noch einmal skizzenhaft dargestellt.

Abbildung 29

### Lösung für die Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen



Quelle: Fraunhofer IIS

Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios muss der Behälter mit einem drahtlos kommunizierendem mikroelektronischen Etikett ausgestattet werden. Das Etikett kann entweder nachträglich an den Behälter angebracht oder direkt während der Herstellung des Behälters in diesen integriert werden.

Komplementär muss in der Nähe des Behälterstandorts eine entsprechende Basisstation installiert werden, welche die elektronische Bestellung aufnimmt und über eine ebenfalls zu installierende Integrationsplattform an das ERP-System im Hintergrund weiterleitet. Das ERP-System muss so angepasst werden, dass C-Teile-Bestellungen der Behälter automatisch weitergeleitet werden.

### 5.2.12.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Grundsätzlich ist das beschriebene Szenario technisch umsetzbar. Die Kommunikation zwischen Behältern und ERP-System ist prinzipiell möglich. Gegebenenfalls ist hier Entwicklungsaufwand notwendig, wenn eine sehr große Anzahl von Behältern mit dem System kommunizieren muss. Auch die technologischen Grundlagen im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch und der drahtlosen Einbindung intelligenter C-Teile-Behälter sind vorhanden, können u. U. jedoch Anpassungen erfordern. Eine offene Frage ist hier, wie oft der Behälter den Bestand überprüfen muss und wie dieser aus energetischen Gesichtspunkten im Einzelfall ausgelegt werden muss. Des Weiteren kann die eindeutige Identifikation von C-Teilen im Behälter aufgrund der hohen Variantenvielfalt und aufgrund des oft ähnlichen Aussehens der Teile Entwicklungsaufwand erfordern. Forschungs- und Entwicklungsbedarf existiert zudem im Zusammenhang mit der Entscheidungslogik. Einfache Systeme, bei denen ein fester Grenzwert festgelegt wird und Basis für eine Nachbestellentscheidung ist, sind vergleichsweise einfach zu realisieren. Komplexer werden die Systeme dann, wenn auf Basis der aktuellen Auftragslage bzw. auf Basis von Absatzprognosen beschafft werden soll. Dass für diese Anwendung bereits Ansätze existieren, zeigt die kürzlich vorgestellte Lösungsvariante eines Unternehmens aus dem Industriedienstleistungsbereich. Hier wird der Behälter mit einem drahtlos kommunizierenden mikroelektronischen Etikett ausgestattet und der Behälterinhalt über eine miniaturisierte Kamera beobachtet.

### 5.2.12.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial liegt bei dieser Anwendung darin, dass der Personalaufwand für das C-Teile-Management stark reduziert werden kann, da die Bestandsüberwachung und Beschaffung automatisiert erfolgen. Auf einer zweiten Detaillierungsebene entstehen die folgenden konkreten Nutzenpotenziale:

- Die Versorgungssicherheit wird gesteigert.
- Der Bestand an C-Teilen wird im Hinblick auf das aktuelle und das zukünftige Geschäft optimiert.

Derzeit werden häufig Kanban-Systeme für das C-Teile-Management in den Unternehmen eingesetzt. Da diese meist reibungslos funktionieren, ist Handlungsbedarf in den Unternehmen an dieser Stelle aus Sicht der Workshopteilnehmer nur begrenzt vorhanden. Die Reduzierung von Personalaufwand und Fehlerquoten mit Hilfe von Automatisierungsmöglichkeiten erscheint allerdings technologisch durchaus interessant. Aufgrund des geringen Werts der C-Teile müssen Kosten- und Nutzenpotenziale genau abgewogen werden. Grundsätzlich lässt sich die Idee aus dem Bereich des C-Teile-Managements auch auf die Materialversorgung im Allgemeinen übertragen. Inwieweit dies sinnvoll ist, hängt allerdings von einer Vielzahl unterschiedlicher Rahmenbedingungen ab und müsste noch einmal im Detail untersucht werden.

### 5.2.12.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 30

#### **Lösungsprofil für die Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen**

Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen	
<b>Bedarf:</b>	Automatisierte Bestandsüberwachung für geringwertige Teile
<b>Lösungsidee:</b>	Verwendung intelligenter und kommunikationsfähiger C-Teile-Behälter mit integrierten Sensoren zu Messung des Füllstands
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C-Teile-Behälter überwacht mittels Sensorik seinen Teilefüllstand</li> <li>• Abgleich Soll-Ist-Werte</li> <li>• Auslösen der Nachbestellung bei Unterschreiten des Mindestbestands</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung des Personalaufwands für Bestandsüberwachung und Beschaffung</li> <li>• Steigerung Versorgungssicherheit</li> <li>• Optimierung des C-Teile-Bestands</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

### 5.2.13 Vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte

#### 5.2.13.1 Bedarf und Lösungsansatz

Für immer mehr Güter sind die Transportbedingungen von sehr hoher Bedeutung. Denn Reklamationen aufgrund von Beschädigungen oder anderer beim Transport auftretender Probleme verursachen bei den Herstellern nicht nur erhebliche Kosten, sondern schädigen auch die Geschäftsbeziehung zu den Kunden. Zudem ist die Positionsbestimmung für die Behälter während des Transports von zentraler Bedeutung, da das Fortschreiten des Transportprozesses überwacht und Suchaufwände vermieden werden können. Bislang wird der Transport von Waren mit Hilfe von Sendungsverfolgungssystemen nur sehr lückenhaft aufgezeichnet. Eine detaillierte Erfassung von Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Beschleunigung, Schock etc. erfolgt bisher kaum. Zwar werden bei Eintreffen der Waren Sichtkontrollen durchgeführt, jedoch sind Schäden nicht immer mit bloßem Auge erkennbar. Auch die Positionsbestimmungen von Behältern erfolgen bislang nur eingeschränkt an neuralgischen Punkten zwischen Organisationseinheiten beziehungsweise Unternehmen.

Cyber-Physische Systeme bieten hier einen Lösungsansatz. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Zukunft aussehen könnte:

#### *Zukunftsszenario: Vollständige Transparenz standortübergreifender Transportprozesse*

---

*Ein geschlossener Behälter mit eingebetteter Mikroelektronik wird beim Kunden nach der Beladung aktiviert und versendet, wobei während des Transports Umgebungsparameter wie Temperatur o. ä. aufgezeichnet werden. Sollte der Behälter bspw. geöffnet werden oder zu starken Erschütterungen ausgesetzt sein, erkennt und dokumentiert er dies und sendet eine entsprechende Meldung an eine Überwachungsinstanz. Diese kann bei Bedarf sofort reagieren, d. h. den Behälter lokalisieren und gegebenenfalls Personal zum Behälter schicken, um nach dem Rechten sehen. Der Empfänger liest beim Deaktivieren des Behälters die Informationen aus, prüft die Ladung und reklamiert den Transport beim Logistikdienstleister, falls vorgegebene Grenzwerte über- oder unterschritten wurden oder andere Unregelmäßigkeiten erkannt werden.*

---

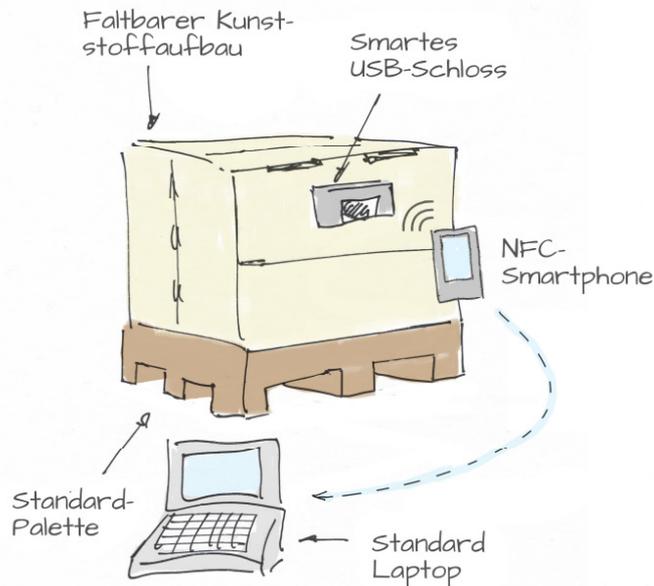
#### 5.2.13.2 Die notwendige Technologie

Das Cyber-Physische System ist hier ein intelligenter Behälter. Für die Umsetzung des eben beschriebenen Szenarios sind die folgenden Funktionen erforderlich:

- Integration: Der Behälter muss mit der virtuellen Welt verknüpft und auf einer globalen Ebene eindeutig identifizierbar sein.
- Sensorik: Mit Hilfe geeigneter Sensorik müssen die Umgebungsparameter und das Schließsystem überwacht sowie die Position des intelligenten Behälters kontinuierlich bestimmt werden.
- Datenverarbeitung: Der Behälter muss die Fähigkeit besitzen, die erfassten Informationen zu verarbeiten und Grenzwertüberschreitungen, Routenabweichungen und andere Unregelmäßigkeiten erkennen.
- Steuerung: Auf Basis der erfassten Daten muss der Behälter regelbasiert Entscheidungen treffen können und bei Bedarf vollautomatisch weitere Prozesse anstoßen.
- Vernetzung: Der Behälter muss sich in öffentliche Mobiltelekommunikationsnetze einwählen und in bestimmten Fällen auch drahtlos mit verteilten Sensoren im Inneren kommunizieren können.
- Aktuatorik: Vor allem bei internationalen oder weltweiten Transporten muss der Verschluss des Behälters bspw. für Zollbehörden und Sicherheitsorgane drahtlos und per Fernsteuerung geöffnet werden können.

Insgesamt weist der intelligente Transportbehälter damit beinahe alle Funktionen auf, die einem Cyber-Physischen System in Abschnitt 3.2 zugewiesen wurden. Einzige Ausnahme ist die Funktion des selbständigen Lernens. Aktuell ist hierfür allerdings kein besonderer Bedarf ersichtlich. Eine bildhafte Darstellung des Cyber-Physischen Systems findet sich in der nachfolgenden Abbildung.

Abbildung 31

**Lösung für vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte**

Quelle: Fraunhofer IIS

Zur Umsetzung der Vision muss der Behälter mit einer eingebetteten Recheneinheit ausgestattet werden, die hinsichtlich der Funktionalität sehr viel Ähnlichkeit mit intelligenten Siegeln aufweisen, die bereits heute im Bereich des Seeverkehrs für die Überwachung von Containertransporten eingesetzt werden.

Komplementär sind mobile Endgeräte erforderlich, über die Mitarbeiter in der verladenden Wirtschaft, bei Empfängern und Logistikbetrieben direkt mit dem intelligenten Container kommunizieren und auf diese Weise mit für die eigene Arbeit relevanten Informationen versorgt werden können. Zusätzlich wird eine Anwendungsplattform im Internet benötigt, über die Akteure in den Versorgungsketten auch über größere Entfernungen mit dem intelligenten Behälter in Verbindung treten können.

### 5.2.13.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Für die Umsetzung muss eine Recheneinheit in den Behälter integriert werden, die über die aus Anwendungssicht erforderlichen integrierten Sensoren und ein GPS-Modul für die Lokalisierung des Behälters verfügt. Für die Kommunikation mit der Umgebung, dem Menschen und dem Unternehmen müssen GSM-, WSN- und NFC-Schnittstellen vorhanden sein. Für internationale Transporte müssen zusätzlich Module für Satellitenkommunikation integriert werden. Erste Produkte, die einen großen Teil der erforderlichen Funktionen bieten, basieren auf klassischen Telematik-Modulen und sind bereits am Markt verfügbar. Kritisch ist bei solchen Anwendungen vor allem die Energieversorgung, da Kommunikation und Positionsbestimmung Energie verbrauchen.

chen. Aufgrund begrenzter Laufzeiten werden die vorhandenen Produkte bisher nur im Ausnahmefall eingesetzt. Durch die Entwicklung energiesparender Hardware und durch die Integration von Energy-Harvesting-Bausteinen versucht man derzeit, vollständig energieautonome Systeme zu entwickeln. Erste Erfolge konnten hier bereits erzielt werden, sodass die Realisierung energieautonomer und wartungsfreier intelligenter Behälter bereits heute grundsätzlich möglich ist. Aufgrund der zukünftig zu erwartenden Kostensenkungen für diese Technologien ist in den kommenden Jahren mit einem verstärkten Einsatz in der logistischen Praxis zu rechnen. Die unabhängig vom intelligenten Container erforderlichen mobilen Endgeräte und Integrationsplattformen sind im Hinblick auf die technische Machbarkeit unproblematisch. Entsprechende Produkte sind am Markt verfügbar und in der Praxis im Zusammenhang mit anderen Tracking- und Tracing-Anwendungen im Ansatz. Im Hinblick auf die beschriebene Industrie-4.0-Anwendung sind allenfalls begrenzte Anpassungen erforderlich.

#### 5.2.13.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das primäre Nutzenpotenzial der Anwendung liegt hier in der permanenten „Sichtbarkeit“ der Behälter und der durchgängigen Überwachung des Zustands der transportierten Güter. Auf einer zweiten Detaillierungsebene sind die folgenden Nutzenpotenziale von Bedeutung:

- Vermeidung von gravierenden Schäden durch das sofortige Einleiten von Gegenmaßnahmen bei Transportproblemen.
- Höhere Planungssicherheit aufgrund höherer Abbildungsqualität.
- Möglichkeit einer engeren Kopplung auch global verteilter Produktions- bzw. Wertschöpfungsaktivitäten.
- Kostenreduktion durch die Vermeidung von Such- und Rechercheprozessen.
- Erhöhung der Transportsicherheit beim Versand wertvoller Produkte und Teile.
- Vermeidung von Konventionalstrafen bei Nichteinhaltung von Service Level Agreements vor allem in eng gekoppelten zeitkritischen Versorgungsketten.

Im Fokus steht hier der standort- und unternehmensübergreifende Transport von Gütern. Die Überwachung ist insbesondere für Produkte sinnvoll, die während des Transports beschädigt werden können. Inwiefern diese von den Unternehmen selbst erfolgen oder von einem Dienstleister angeboten werden sollte, hängt einerseits von den mit der Implementierung verbundenen Kosten ab. Andererseits spielt das Vertrauensverhältnis der Partner im Wertschöpfungsnetzwerk eine Rolle.

## 5.2.13.5 Zusammenfassendes Profil

Abbildung 32

**Lösungsprofil für vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte**

Vollständige Transparenz standortübergreifender Transportprozesse	
<b>Bedarf:</b>	Überwachung von Behältern bzw. deren Inhalt während Transporten
<b>Lösungsidee:</b>	Einsatz eingebetteter Systeme in Transportboxen für eine permanente Verknüpfung von Informations- und Materialflüssen
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschlossener Behälter nach Beladung aktiviert und versendet</li> <li>• Aufzeichnung der Umgebungsparameter während des Transports</li> <li>• Meldung an Überwachungsinstanz bei Manipulation des Behälters</li> <li>• Auslesen der Transportdaten bei Ankunft des Behälters</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchgängige Überwachung des Zustands der transportierten Güter</li> <li>• Rechtzeitiges Einleiten von Gegenmaßnahmen bei Feststellen eines Transportschadens</li> <li>• Erhöhung der Transportsicherheit und Vermeidung von Konventionalstrafen</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

## 5.2.14 Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzleistungen

## 5.2.14.1 Bedarf und Lösungsansatz

Die Lebensdauer von Produkten hängt sehr stark von deren Belastung während der Nutzungsdauer ab. Viele Unternehmen geben ihren Kunden aus diesem Grund Empfehlungen über den optimalen Einsatz ihrer Produkte. Wie diese allerdings genutzt werden, kann aufgrund mangelnder Monitoringsysteme meist nur sehr lückenhaft nachvollzogen werden. Nicht nur im Schadensfall kann somit keine Aussage darüber getroffen werden, welchen Belastungen die Produkte ausgesetzt waren. Auch aus Sicht der Weiterentwicklung müssen die Unternehmen weitestgehend auf die direkte Kommunikation mit dem Kunden zurückgreifen, um zu erfahren, wie die Produkte genutzt werden. Für die Unternehmen wird es daher vor allem aufgrund der zunehmenden Komplexität der Produkte immer schwerer, gezielte Verbesserungen bestehender Produkte umzusetzen. Eine umfassende Datenbasis über die Nutzung der beim Kunden eingesetzten Produkte ist in den meisten Fällen nicht vorhanden.

Mit Hilfe von Cyber-Physischen Systemen kann hier ein möglicher Lösungsansatz vorgestellt werden.

*Zukunftsszenario: Eingebettete Systeme ermöglichen die Erfassung von Nutzungsdaten und unterstützen die kundenorientierte Weiterentwicklung von Leistungsbündeln*

---

*Die smarte Maschine beim Kunden ermittelt kontinuierlich mit Hilfe von Sensoren wichtige Betriebsparameter. So werden zum Beispiel die Laufzeit, die Drehzahl und der Verschleiß von Werkzeugen erfasst. Diese Daten werden auf einem zentralen Server digital sowohl für den Kunden als auch für den Hersteller zur Verfügung gestellt. Dem Kunden ist es dabei auf der einen Seite möglich, auf Basis der erfassten Daten Optimierungen der Maschinennutzung z. B. durch die Reduzierung der Drehzahl zu realisieren. Der Hersteller kann auf der anderen Seite durch die Daten Rückschlüsse auf das Nutzungsverhalten des Kunden ziehen und bspw. die Haltbarkeit bestimmter stark belasteter Bauteile durch eine Weiterentwicklung steigern. Des Weiteren kann der Hersteller dem Kunden individuelle Hinweise zur Optimierung seines Nutzungsverhaltens liefern. Außerdem kann z. B. auf Basis der Verschleißdaten eines Werkzeugs eine entsprechende Austauschdienstleistung angeboten werden, sodass der Kunde sich nicht aktiv um die Kontrolle und den Austausch der Werkzeuge kümmern muss.*

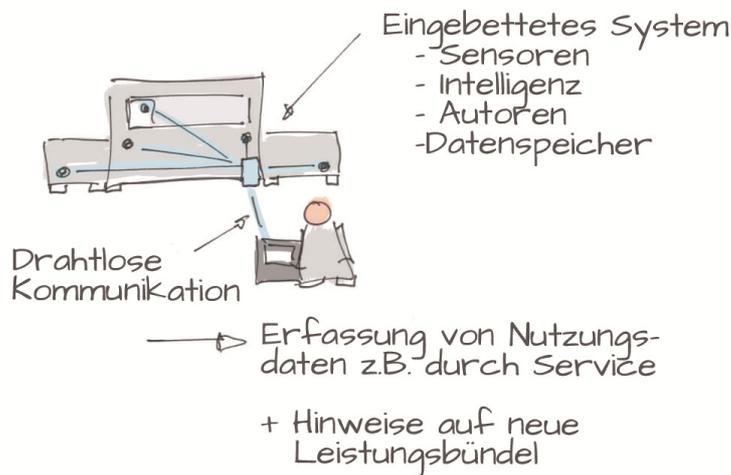
---

#### 5.2.14.2 Notwendige Technologien

Das zentrale Objekt des Cyber-Physischen Systems ist in dieser Anwendung das Produkt im Einsatz beim Kunden. Folgende Funktionen sind zur Realisierung dieses Szenarios bedeutend:

- Integration: Das physische Produkt muss sowohl im IT-System des Kunden als auch des Herstellers eindeutig identifizierbar integriert sein.
- Sensorik: Durch entsprechende Sensoren ist das Produkt in der Lage, die jeweiligen Nutzungsparameter zu erfassen.
- Datenverarbeitung: Das Produkt muss die Sensordaten so verarbeiten, dass sie sowohl für Mensch als auch Maschine auswertbar zur Verfügung stehen.
- Vernetzung: Das Produkt muss mit seiner Umgebung vernetzt sein und über Schnittstellen alle Daten kommunizieren können.

Abbildung 33

**Lösung für die Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzdienstleistungen mit Hilfe von CPS**

Quelle: Fraunhofer IIS

Zur Realisierung der oben genannten Funktionen muss das Produkt über einen eingebetteten Computer mit ausreichenden Rechnerkapazitäten verfügen, um die erfassten Daten verarbeiten und weiterleiten zu können. Die Anbindung des Produkts an die Umgebung kann dabei über Ethernet oder kabellos über WLAN erfolgen. Alternativ könnte die Datenübertragung auch per GSM-Modul über das Mobilfunknetz realisiert werden.

Darüber hinaus sind zur Umsetzung dieser Anwendung weitere komplementäre Innovationen notwendig. So können die Datenspeicherung und eventuell auch die Auswertung über einen vertrauenswürdigen externen Dienstleister zentral erfolgen. Sowohl der Kunde als auch der Hersteller können auf die Daten zentral zugreifen und haben somit immer die aktuellsten Datensätze vorliegen. Zudem werden Redundanzen der gespeicherten Daten vermieden. Auf Seiten des Herstellers sind zudem Big Data Analytics Softwarelösungen notwendig, da kontinuierlich Daten aus allen im Einsatz befindlichen Produkten übermittelt werden. Hier ist es notwendig, ein Konzept zu entwickeln, welches die automatisierte Verarbeitung und Auswertung der Daten übernimmt. Im Fokus steht hier die optimale Nutzung der erhaltenen Daten zur kundenorientierten Weiterentwicklung der bestehenden Produkte.

### 5.2.14.3 Überlegungen zur technischen Machbarkeit

Ein entscheidender Faktor für die technische Umsetzung ist die Art und Beschaffenheit der Produkte. In diesem Zusammenhang ist von größter Bedeutung, welche Daten sinnvoller Weise erhoben werden sollten, um die Nutzung der Produkte umfassend aufzuzeichnen. Sensoren sind in sehr variantenreicher Ausprägung auf dem Markt

erhältlich. Bedeutende Kriterien sind in diesem Zusammenhang die Größe und die Energieversorgung der Sensoren. Für bestimmte Anwendungen sind bereits sehr kleine und energieautarke Systeme erhältlich. Eine entsprechende Analyse der jeweiligen Anforderungen an die benötigten Sensoren ist dabei eine essenzielle Grundlage. Ähnliches gilt für den zur Datenauswertung notwendigen eingebetteten Computer. Auch hier sind bereits mannigfaltige Lösungen für unterschiedliche Anwendungen auf dem Markt erhältlich. Softwareseitig muss die Entwicklung einer Big Data Analytics Lösung für diese Anwendung z. B. durch Forschungsprojekte vorangetrieben werden.

#### 5.2.14.4 Überlegungen zur Marktattraktivität

Das entscheidende Nutzenpotenzial liegt bei dieser Anwendung in der Schaffung von Transparenz über die Nutzung der beim Kunden eingesetzten Produkte. Daraus ergeben sich direkt folgende Vorteile für Hersteller und Kunden:

- Direkter Rückfluss der gesammelten Informationen in die Entwicklungsabteilung des Produktherstellers.
- Schaffung von neuen Geschäftsfeldern und Angebot von ergänzenden Dienstleistungen für unterschiedliche Kundengruppen.
- Generieren kundenindividueller Nutzungsempfehlungen nach Möglichkeit direkt durch das beim Kunden vorhandene Produkt.
- Reduzierung von Produktausfällen beim Kunden durch ein angepasstes und richtiges Nutzungsverhalten.

Darüber hinaus ermöglicht die Erfassung der Nutzungsdaten vor allem auch für neue Produkte einen wichtigen Rückfluss an Informationen zur gezielten Weiterentwicklung. So kann z. B. die Stabilität und Zuverlässigkeit einer neuen Maschine direkt überwacht werden. Durch die direkte Datenverbindung kann der Hersteller bei Auffälligkeiten sofort agieren und dem Kunden bei aufgetretenen Problemen schneller helfen. Vor allem im Bereich der Maschinenhersteller werden solche Anwendungen im Rahmen von Fernwartungslösungen bereits teilweise in die Realität umgesetzt. Eine große Herausforderung ist in diesem Zusammenhang allerdings die erzeugte Transparenz der Prozesse beim Kunden. Aus diesem Grund wird die Realisierung einer solchen Anwendung nur bis zu einem gewissen Grad möglich sein, denn volle Transparenz über die Nutzung der Produkte wird ein Kunde nur unter ganz bestimmten Rahmenbedingungen zulassen. Für die Hersteller eröffnen sich durch diese Anwendung noch weitere Potenziale. So können auf Basis der Nutzungsdaten bspw. bestimmte Servicedienstleistungen gezielt zusätzlich angeboten werden. Trotz der sich in vielen Bereichen immer ähnlicher werdenden Produkte können sich Hersteller durch einzigartige Services einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Konkurrenten verschaffen.

#### 5.2.14.5 Zusammenfassendes Profil

Die nachfolgende Abbildung fasst wesentliche Punkte zu diesem Szenario in Form eines einfachen Profils zusammen.

Abbildung 34

**Lösungsprofil zur Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzdienstleistungen mit Hilfe von CPS**

Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzleistungen	
<b>Bedarf:</b>	Kundenindividuelle Weiterentwicklung von Produkten und Eröffnung neuer Geschäftsfelder
<b>Lösungsidee:</b>	Die in den Produkten durch eingebettete Systeme erfassten Nutzungsdaten unterstützen bei der kundenorientierten Weiterentwicklung von Leistungsbündeln
<b>Beschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoring des Produkts durch integrierte Sensoren</li> <li>• Sammlung von Informationen in einer Datenbank</li> <li>• Ableiten von neuen Produkt-Features</li> <li>• Weitere Erfassung von Nutzungsdaten durch Service beim Kunden</li> </ul>
<b>Nutzenpotenziale:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Transparenz des Nutzungsverhalten</li> <li>• Zusätzliche Hinweise auf nicht explizit gestellte Anforderungen</li> <li>• Eröffnung neuer Geschäftsfelder für das Unternehmen</li> <li>• Einfacherer Aufbau von Wettbewerbsvorteilen durch „Servitization“</li> </ul>

Quelle: Fraunhofer IIS

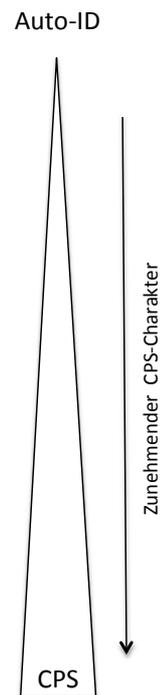
### 5.3 Die einzelnen Lösungen im Gesamtkontext

Die in Abschnitt 5.2 im Detail beschriebenen Lösungen sind in der nachfolgenden Abbildung noch einmal zusammenfassend aufgelistet.

Abbildung 35

#### Zum CPS-Charakter der im Projekt identifizierten und beschriebenen Lösungen

Basistechnologien	CPS-Funktionen							
	Integration	Steuerung und Kontrolle	Daten- & Info-verarbeitung	Sensorik	Vernetzung	Anpassungsfähigkeit	Aktuatorik	Auto-ID
Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine	X		X		X			
Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung	X		X		X			
Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung	X		X	X	X			
Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter	X		X	X	X			
Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte	X		X	X	X			
Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzleistungen	X		X	X	X			
Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion	X	X	X	X	X			
Reduzierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen	X	X	X	X	X			
Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement	X	X	X	X	X			
Erhöhung der Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen	X	X	X	X	X			
Durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses	X	X	X	X	X			
Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen	X	X	X	X	X	X		
Vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte	X	X	X	X	X		X	
Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen	X	X	X	X	X			X

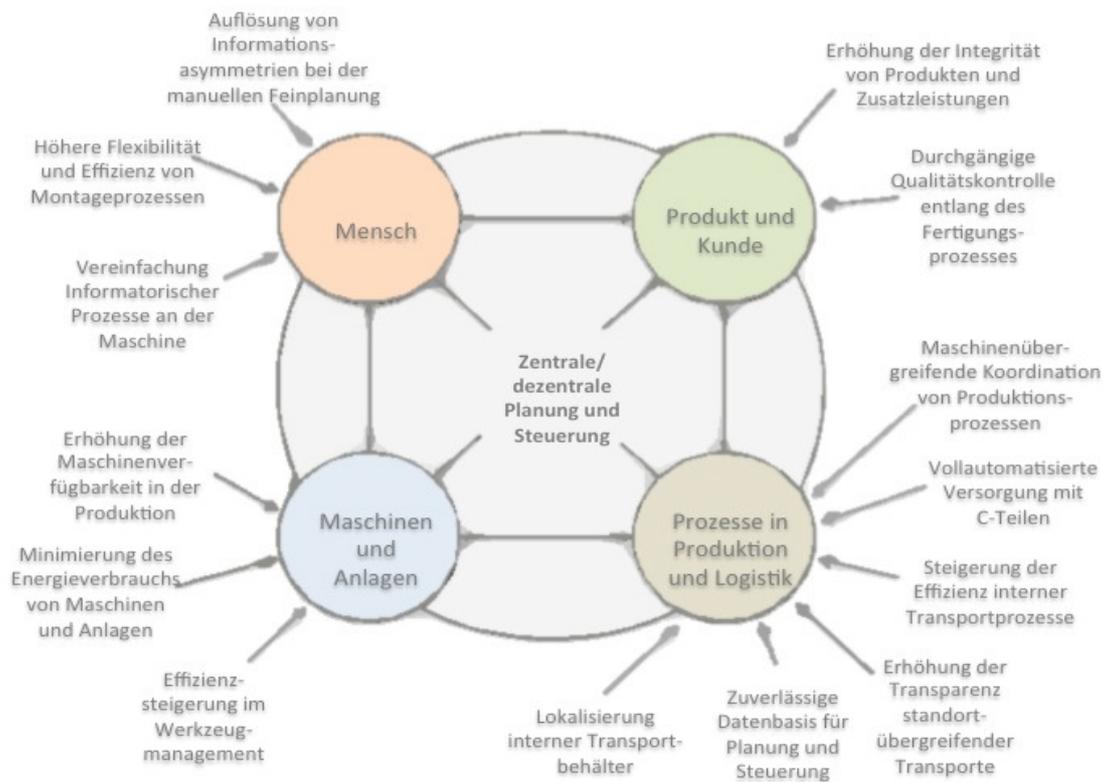


Quelle: Fraunhofer IIS

Die Darstellung zeigt, dass knapp die Hälfte der gemeinsam mit den Praxispartnern identifizierten und im Detail beschriebenen Lösungen der Definition von CPS im weiteren Sinne aus Abschnitt 3.2 nur teilweise entspricht. Die Funktion der dezentralen Steuerung wird hier noch nicht umgesetzt. Bei den übrigen Lösungen ist diese Anforderung durchweg erfüllt. Nur zwei Lösungen entsprechen der Definition im engeren Sinne. Unabhängig von den rein definitorischen Fragestellungen sind aus Sicht der Interviewpartner und Experten alle Lösungen praxisrelevant und sollten im Zusammenhang mit strategischen Diskussionen in den Unternehmen der mittelständischen Metall- und Elektroindustrie diskutiert werden.

Die einzelnen Lösungen dürfen zudem nicht unabhängig voneinander gesehen werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt alle Lösungen bildhaft im Überblick. Anschließend werden die Zusammenhänge zwischen den Lösungen noch einmal kurz erläutert.

Abbildung 36

**Die gefundenen Lösungen im Überblick**

Quelle: Fraunhofer IIS

Bei einigen Lösungen wie zum Beispiel bei der Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion, bei der Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement und der Minimierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen steht eben die Maschine selbst im Vordergrund. Die identifizierten Lösungen ergänzen sich gegenseitig und schaffen die technischen Voraussetzungen für eine effizientere Produktion. Bei der Umsetzung dieser Anwendungen müssen insbesondere die Maschinenhersteller einen wesentlichen Beitrag leisten.

Eine zweite Gruppe von Lösungen bezieht sich auf die produktionslogistischen Prozesse zwischen den einzelnen Maschinen. Hier sind die Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter, die Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transportprozesse, die vollautomatisierte Versorgung mit C-Teilen und die Erhöhung der Transparenz standortübergreifender Transportprozesse zu nennen. Bei der Umsetzung ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen den Produktionsplanern und den Supply Chain Managern in den produzierenden Betrieben erforderlich. Die genannten Lösungsbeispiele machen deutlich, dass bei Industrie 4.0 nicht nur Produktionsprozesse innerhalb eines Standorts, sondern entlang teilweise globaler Wertschöpfungsketten

optimiert werden sollen. Letzten Endes steht die Digitalisierung komplexer Wertschöpfungsprozesse im Fokus der Vision.

Sowohl die maschinen- als auch die logistikbezogenen Anwendungen liefern darüber hinaus eine belastbare Datenbasis für die im Idealfall dezentralisierte Planung und Steuerung von Produktionsprozessen sowie für die maschinenübergreifende Koordination und einen reibungslosen operativen Betrieb.

Nicht zu unterschätzen ist auch die Rolle des Menschen in Industrie 4.0. Mit der Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine, mit einer höheren Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen und der Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung richten sich einige der gefundenen Anwendungen direkt an den Mitarbeiter in der Produktion. Bei Industrie 4.0 darf es nicht darum gehen, den Menschen zu ersetzen, sondern diesen mit neuen Technologien zu unterstützen und ihn in die Lage zu versetzen, seine Aufgabe mit hoher Qualität zügig und soweit wie möglich selbstbestimmt zu erledigen.

Abschließend sind mit der durchgängigen Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses und der Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzleistungen zwei weitere Lösungsbeispiele zu nennen, die sich direkt auf das Produkt und damit auf den Konsumenten am Ende der Wertschöpfungskette beziehen. Letzten Endes geht es auch bei Industrie 4.0 darum, Kundenbedürfnisse so gut wie möglich zu erfüllen.



## 6 Zur Umsetzung der Anwendungen

Die Vision Industrie 4.0 muss schrittweise umgesetzt werden.

---

Die in Kapitel 5.2 beschriebenen Lösungen wurden in insgesamt 30 Experteninterviews bewertet. Anhand einer Portfolioanalyse wurde auf dieser Basis eine generische Roadmap für die Umsetzung der Vision erstellt, an der sich Unternehmen der mittelständischen Metall- und Elektroindustrie bei der Entwicklung einer eigenen Umsetzungsstrategie orientieren können. Im Folgenden werden die entsprechenden Ergebnisse zusammengefasst. In einem ersten Schritt wird auf die Portfolioanalyse eingegangen, die Roadmap für die Umsetzung ist Gegenstand des zweiten Abschnitts. Abschließend werden erste Konsequenzen für die an der Umsetzung beteiligten Unternehmen beschrieben sowie sich hieraus ergebende Chancen und Risiken diskutiert. Die in diesem Kapitel zusammengetragenen Ergebnisse sind gleichzeitig die Basis für die Formulierung von Handlungsempfehlungen für Anwender, Technologieanbieter sowie für Universitäten, Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen.

### 6.1 Portfolioanalyse als Basis

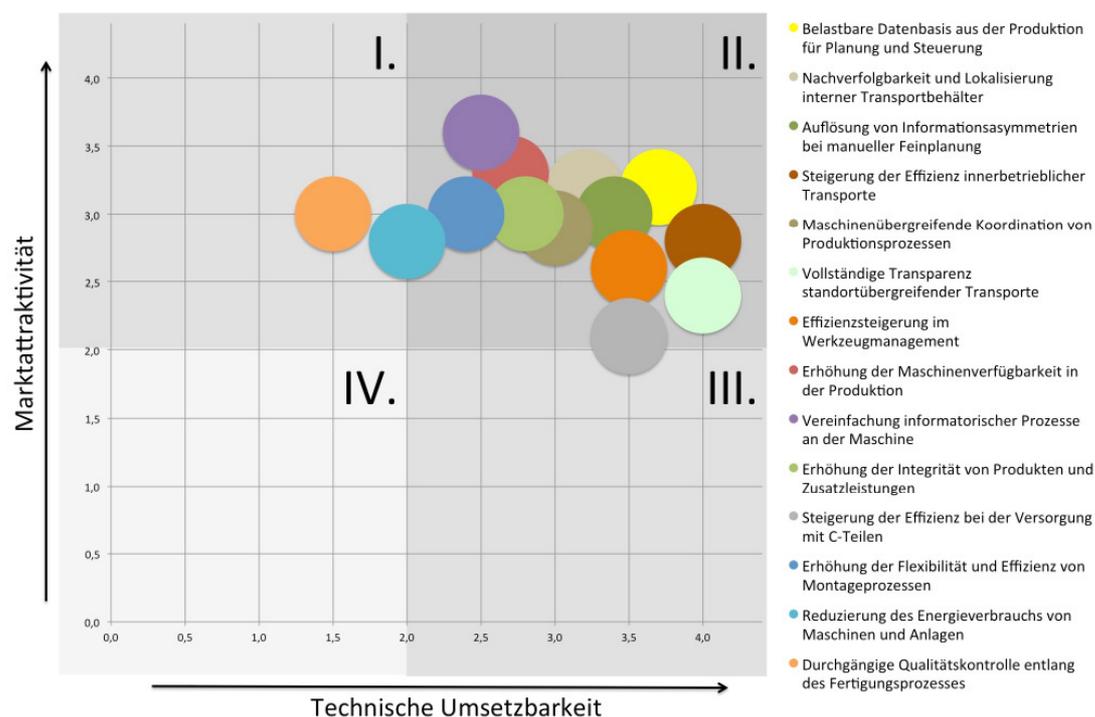
Als Basis für die Bewertung der einzelnen Lösungen wurde die Portfoliotechnik herangezogen. Als Hauptdimensionen wurden die Marktattraktivität der skizzierten Lösungen einerseits und deren technische Umsetzbarkeit andererseits gewählt. Jeder Experte wurde im Rahmen eines bis zu zweistündigen Interviews hinsichtlich der Details zu den identifizierten Bedarfen und Lösungen befragt. Nach einer Diskussion der wesentlichen Punkte wurde er um eine persönliche Einschätzung hinsichtlich der Marktattraktivität bzw. der technischen Umsetzbarkeit gebeten, wobei die Anwendungs- und Technologieexperten getrennt voneinander befragt wurden. Folgende Bewertungsskalen lagen für die beiden Hauptdimensionen zugrunde:

- Bewertung der Marktattraktivität:
  - Wert 0: Eher bedeutungslos für die mittelständische Wirtschaft
  - Wert 1: Ein „Nice to have“ für mittelständische Unternehmen
  - Wert 2: Ein „Soll“ für mittelständische Unternehmen
  - Wert 3: Ein „Muss“ für einzelne Branchen
  - Wert 4: Ein „Muss“ für die gesamte mittelständische Wirtschaft
  
- Bewertung der technischen Umsetzbarkeit
  - Wert 0: Nicht machbar
  - Wert 1: Grundlagenorientierte Forschung und Entwicklung notwendig
  - Wert 2: Anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung notwendig
  - Wert 3: Hardware und / oder softwaretechnische Anpassungen nötig
  - Wert 4: Technische Lösungen bereits vorhanden

Über alle Experteneinschätzungen wurden lösungsspezifische Mittelwerte für beide Hauptdimensionen des Portfolios gebildet und für eine Positionierung im Portfolio selbst herangezogen. Das entsprechende Ergebnis wird in Abbildung 37 dargestellt.

Abbildung 37

**Portfolio der gefundenen Anwendungen nach technischer Umsetzbarkeit und Marktattraktivität**



Quelle: Fraunhofer IIS

Für die vier Quadranten wurden die folgenden Basisstrategien festgelegt:

- **Quadrant I:** Lösungen in diesem Quadranten zeichnen sich durch eine hohe Marktattraktivität und eine vergleichsweise geringe technische Umsetzbarkeit aus. Hier ist im Rahmen von grundlagen- bzw. im Rahmen von anwendungsorientierten Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu klären, inwieweit technologische Lücken geschlossen werden können.
- **Quadrant II:** Hier sind Lösungen zu finden, die sowohl eine hohe Marktattraktivität als auch eine hohe technische Umsetzbarkeit aufweisen. Diese Lösungen sollten nach Möglichkeit von den Unternehmen direkt umgesetzt werden. Die Umsetzung kann im Grunde schnell im Rahmen von eigenfinanzierten Entwicklungsprojekten erfolgen. Nur im Ausnahmefall sollte auf öffentliche Mittel zurückgegriffen werden.
- **Quadrant III:** Lösungen im dritten Quadranten sind technisch zwar vergleichsweise problemlos umsetzbar, sind aber nur für einen kleinen Teil des Marktes attraktiv.

Unternehmen sollten hier prüfen, inwieweit die adressierten Bedarfe für die eigene Organisation von Bedeutung sind, und im Falle einer positiven Einschätzung direkt umsetzen.

- **Quadrant IV:** Hier eingeordnete Lösungen sind durch eine vergleichsweise geringe Marktattraktivität als auch durch eine geringe technische Umsetzbarkeit ausgezeichnet. Auf eine direkte Umsetzung sollte zunächst verzichtet werden. Allerdings verändern sich Geschäfte im Bereich der produzierenden Wirtschaft mit hoher Dynamik. In angemessenen zeitlichen Abständen sollte überprüft werden, inwieweit die aktuellen Einordnungen noch gültig sind.

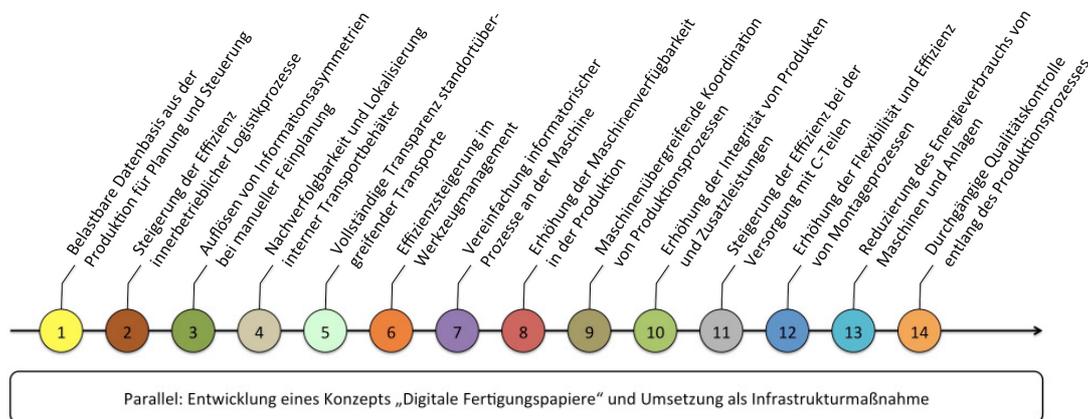
Das Portfolio zeigt, dass ein großer Teil der Lösungen im zweiten Quadranten und nur einige wenige im ersten positioniert wurden. Keine der Lösungen wurde dem dritten oder dem vierten Quadranten zugeordnet. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass in den Workshops nahezu ausschließlich praxisrelevante Bedarfe und Lösungen identifiziert bzw. diskutiert wurden. Im folgenden Abschnitt wird auf Basis des Portfolios die Roadmap für die Umsetzung abgeleitet. Für jede einzelne Lösung werden knappe Empfehlungen formuliert.

## 6.2 Ableitung einer Roadmap für die praktische Umsetzung

Die aus der Portfolioanalyse direkt abgeleitete generische Roadmap wird in Abb. 38 dargestellt.

Abbildung 38

### **Generische Roadmap für die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 in mittelständischen Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie**



Quelle: Fraunhofer IIS

Für die Entwicklung der in der Abbildung gezeigten Roadmap wurden sowohl die Marktattraktivität als auch die technische Umsetzbarkeit als Kriterien zu Grunde gelegt. Beide Kriterien wurden identisch gewichtet. Dementsprechend sind die Lösungen oben rechts im Portfolio als erstes und die unten links als letztes umzusetzen.

Im Folgenden werden die im Laufe der Studie entwickelten Empfehlungen für die im vierten Kapitel detailliert beschriebenen Lösungen in der Reihenfolge der Roadmap dargelegt:

- Belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung: In den Wirtschaftsbranchen, in denen immer wieder die gleichen Produkte in verschiedenen Varianten gefertigt werden, existieren bereits heute belastbare Daten zum Fertigungsfortschritt. Entsprechende Lösungen sind bereits vorhanden. Die technische Machbarkeit wurde vor diesem Hintergrund von den Experten als vergleichsweise hoch eingeschätzt. Auf der anderen Seite sind sich die befragten Praktiker weitestgehend darin einig, dass in der mittelständischen Metall- und Elektroindustrie diesbezüglich Nachholbedarf besteht. Eine bessere Transparenz des Fertigungsfortschritts nicht nur auf Auftragsebene, sondern auch auf Ebene des einzelnen Werkstücks oder Produkts würde viele der heute zweifellos vorhandenen Reibungsverluste aus den Produktionssystemen nehmen. Die Attraktivität der beschriebenen Lösung wurde entsprechend hoch eingeschätzt. Vor diesem Hintergrund sollten die Unternehmen vorhandene Lösungen aufgreifen, für die eigenen Zwecke anpassen und direkt implementieren. Herausforderung ist hier sicher, die Maschinenhersteller mit ins Boot zu holen und für entsprechende Standards zu sorgen.
- Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Logistikprozesse: Abgesehen von den Produktions- und Montageprozessen selbst spielen Effizienz und Effektivität der logistischen Prozesse zwischen Maschinen eine wichtige Rolle. Dementsprechend wurde die Attraktivität der präsentierten Lösung von einem großen Teil der Befragten als hoch bewertet. Allerdings fiel auch der Hinweis, dass es hierbei nicht nur um das Monitoring von Routenzügen und Staplern, sondern um Logistikprozesse im Allgemeinen gehen muss. Es scheint einen generellen Bedarf für das Erheben Controlling-relevanter Daten bei der Abwicklung von Produktionsaufträgen zu geben. Welche Prozesse überwacht werden müssen, ist im Einzelfall zu entscheiden. Die technische Machbarkeit wurde von den Experten als sehr hoch bewertet. Vor allen Dingen größere logistische Einheiten lassen sich mit den verfügbaren Technologien durchgängig verfolgen. Bei der Verfolgung kleinerer Einheiten ist noch das eine oder andere technische Problem zu lösen. Insbesondere Unternehmen, in denen die internen Logistikprozesse einen hohen Kostenanteil ausmachen bzw. in signifikanter Weise zum Unternehmenserfolg beitragen, können und sollten sich mit der möglichen Implementierung der vorgestellten Lösung zunächst im Rahmen technisch-betriebswirtschaftlicher Machbarkeitsstudien auseinandersetzen und bei Bedarf eine Implementierung in Erwägung ziehen.
- Auflösen von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung: Im Rahmen der Workshops und Interviews wurde von einer ganzen Reihe von Anwendern darauf

verwiesen, dass die wöchentliche Feinplanung in den einzelnen Fertigungsbereichen ohne Softwareunterstützung erfolgt. Manuelle Anpassungen der Auftragsreihenfolge sind an der Tagesordnung, Auswirkungen auf vor- oder nachgelagerte Fertigungsbereiche sind der Normalfall. Hier entstehende Reibungsverluste können aus Sicht der Befragten durch das vorgeschlagene Informationssystem auf Basis von Mobile Computing-Ansätzen deutlich vermindert werden. Die Attraktivität der Lösung wurde entsprechend hoch bewertet. Eine reine Übertragung des heute vorhandenen papierbasierten Prozesses in die digitale Welt reicht allerdings nicht aus. Das System muss die Verantwortlichen bei der Wahl der besten Lösung z. B. mit Hilfe von Simulationen unterstützen und die betroffenen Bereiche vollautomatisch informieren. Grundsätzlich wäre ein System vorstellbar, bei dem Softwareagenten im Auftrag der Verantwortlichen in den einzelnen Fertigungsbereichen miteinander verhandeln. Die technische Machbarkeit solcher Lösungen ist durchaus gegeben, eine direkte Umsetzung ist grundsätzlich denkbar. Hier könnte grundsätzlich bereits heute mit entsprechenden Umsetzungsprojekten gestartet werden.

- Nachverfolgbarkeit und Lokalisierung interner Transportbehälter: Ein großer Teil der befragten Anwender wies darauf hin, dass in der Praxis immer wieder nach Behältern beziehungsweise nach einzelnen Teilen gesucht wird. Auch hier existieren beträchtliche Reibungsverluste, die mit entsprechenden Monitoring-Systemen vermeidbar wären. Die Attraktivität der vorgestellten Lösung wurde dementsprechend als hoch eingeschätzt. Die befragten Technologieexperten wiederum sind sich darin einig, dass eine grobe Lokalisierung von mobilen Objekten bereits heute mit einer begrenzten Genauigkeit durchaus möglich ist. Inwieweit diese Genauigkeit im Einzelfall bereits ausreicht, muss im Rahmen von Machbarkeitsuntersuchungen geprüft werden. Grundsätzlich können die Unternehmen bereits heute mit entsprechenden Projekten starten und im Falle eines positiven Ergebnisses mit der Implementierung der Technologie beginnen. Neben den Prozessen an der Maschine – siehe hierzu auch die Ausführungen oben – werden auf diese Weise auch die Prozesse zwischen Maschinen transparent und verbessern die für eine vernünftige Planung erforderliche Datengrundlage zusätzlich.
- Vollständige Transparenz standortübergreifender Transportprozesse: Für einen Teil der Befragten spielt im Zusammenhang mit Industrie 4.0 neben der Transparenz standortinterner logistischer Prozesse auch das Monitoring logistischer Aktivitäten zwischen Standorten bzw. zwischen Unternehmen eine nicht unerhebliche Rolle. Die Tatsache, dass die Optimierung solcher Prozesse üblicherweise den Logistikern im Unternehmen zugeschrieben wird, erklärt die etwas verhaltene Bewertung durch die Praxis. Workshop-Teilnehmer und Interviewpartner kamen im Wesentlichen aus dem Bereich der Produktion bzw. aus produktionsnahen Bereichen. Aus technischer Sicht ist das Problem der standortübergreifenden Transportüberwachung bereits gelöst. Bereit heute existieren entsprechende Dienstleistungen am Markt. Im Grunde müssen diese Services nur noch an die Anforderungen der digitalisierten Produktion angepasst und in einen Produktionskontext eingebettet werden. Hier ist es erforderlich, dass die Verantwortlichen für Produktion, Logistik und Supply Chain Manage-

ment im Unternehmen zusammenarbeiten und die vielfach noch vorhandenen Barrieren zwischen den einzelnen Funktionen einreißen.

- Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement: Verglichen mit anderen Lösungen ist das CPS-basierte Werkzeugmanagement über Maschinengrenzen hinweg aus Sicht der befragten Unternehmen eher als ein „Add-On“ zu betrachten. Die technische Umsetzbarkeit der weiter vorne beschriebenen Lösung ist angesichts reifer Technologien für die automatische Identifikation sehr hoch. Für einzelne Maschinen mit eigenen Werkzeugregistern sind bereits Lösungen am Markt verfügbar. Sinn macht ein solches Instrument in der vernetzten Produktion vor allem in den Unternehmen, in denen dasselbe Set an Werkzeugen in verschiedenen Maschinen und an unterschiedlichen Standorten zum Einsatz kommt. Hier sind Optimierungspotenziale zu vermuten, die eine entsprechende Implementierung rechtfertigen würden. Aus strategischer Sicht wäre zu prüfen, wie sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis im Unternehmen darstellt. Im Falle ausreichender Profitabilität sollte die Umsetzung nach einer detaillierten Spezifikationsphase gemeinsam mit externen Partnern erfolgen. Kritisch ist hier allerdings die Frage, inwieweit Maschinenhersteller eine Nachrüstung der eigenen Produkte erlauben oder unterstützen. Diese sollten in entsprechende Projekte unbedingt mit einbezogen werden.
- Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine: Menschen, die an Maschinen Prozesse verrichten, sind heute in aller Regel auf Papierunterlagen angewiesen. Digital unterstützte Prozesse scheiterten nach Ansicht von Anwendungsexperten aus der Industrie bislang insbesondere an der Komplexität der Prozesse in den Unternehmen. Das Internet der Zukunft, verknüpft mit Mobile Computing- und „App“-Konzepten, stellt einen neuartigen Lösungsansatz dar, der in Einzelprojekten z. B. im Automotive-Umfeld in enger Zusammenarbeit mit Maschinenherstellern bereits ansatzweise verfolgt wird. Einzelne abgrenzbare Aufgaben werden mit zweckorientiert entwickelten sowie einfach und intuitiv zu bedienenden Applikationen unterstützt. Der größte Teil der Befragten rechnet diesem neuen Ansatz auch im Mittelstand durchaus hohe Erfolgschancen zu. Auf der technischen Seite sind vor allem die Modularisierung von Anwendungssoftware und der Aufbau unternehmensübergreifender Plattformen für die Integration und Orchestrierung generischer Software Services Kernherausforderungen. Auch wenn die im Rahmen der Realisierung erforderlichen Basistechnologien bereits zur Verfügung stehen, ist hier nach Ansicht der befragten Technologieexperten noch ein gewisses Maß an anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung im Rahmen von Projekten erforderlich.
- Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion: Die Verfügbarkeit insbesondere von Engpassmaschinen ist für jeden Produktionsprozess kritisch und verdient damit aus Sicht der befragten Unternehmen höchste Aufmerksamkeit. Maschinen müssen in die Lage versetzt werden, potenzielle Ausfälle vorab zu erkennen und entsprechende Wartungsprozesse vollautomatisiert anzufordern. Größte technische Herausforderung ist die Entwicklung entsprechender Sensorik-Systeme. Für die Lösung des Problems bieten sich Forschungsprojekte an, die entweder durch das eigene Unternehmen selbst oder durch die öffentliche Hand finanziert werden

können. Aufgrund der Komplexität der Fragestellung müssen hier die Maschinenhersteller selbst aktiv werden und entsprechende Projekte starten. Denkbar wären auch Kooperationen mit den ohnehin seit einigen Jahren im Bereich der präventiven Wartung aktiven Telekommunikationsunternehmen. Besondere Aufmerksamkeit verdient dieses Thema im Zusammenhang mit der zunehmenden „Servitization“ im Maschinen- und Anlagenbau. Es ist davon auszugehen, dass zukünftig nicht mehr die Hard- und Software von Maschinen, sondern Maschinenleistung selbst verkauft wird.

- Maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen: In der Massenfertigung ist die informationstechnische Verknüpfung von Maschinen bereits heute Stand der Technik, in den mittelständischen Betrieben der Metall- und Elektroindustrie nach Ansicht der Befragten eher der Ausnahmefall. Erste Beispiele aus der Praxis zeigen allerdings, dass eine Vernetzung jedoch auch hier helfen kann, Reibungsverluste in der Auftragsabwicklung abzubauen. Grundsätzlich sind sich die befragten Anwender diesbezüglich einig. Entsprechende Lösungen sollten vor diesem Hintergrund vorangetrieben werden. Hierbei ist allerdings sicherzustellen, dass die heute in den Unternehmen vorhandene Flexibilität in der Auftragsabwicklung keinesfalls verloren geht, sondern eher noch unterstützt wird. Eins zu eins lassen sich die Lösungen aus der Massenfertigung nicht übertragen. Herausforderung ist zudem, die Maschinenhersteller dazu zu bewegen, die technischen Voraussetzungen für eine Vernetzung nicht nur bei neuen, sondern auch bei älteren Maschinen zu schaffen und die Kommunikation über standardisierte Schnittstellen zu ermöglichen. Vor diesem Hintergrund ist auch die technische Umsetzbarkeit grundsätzlich gegeben. Wichtig wäre an dieser Stelle, dass insbesondere die Pioniere unter den Mittelständlern Kosten und Nutzenpotenziale integrierter Lösungen transparent machen und in die Breite tragen. Auf dieser Basis können weitere Anwender sehr viel besser entscheiden, inwieweit die vorgestellte Lösung auch für das eigene Unternehmen eine Rolle spielt.
- Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzdienstleistungen: Auch die Weiterentwicklung von Leistungsangeboten auf Basis von Nutzungsdaten, die durch eigene intelligente Produkte bei Anwendern generiert werden, wird nach Ansicht der Befragten zukünftig im Zusammenhang mit Industrie 4.0 eine große Rolle spielen. Offen ist hier allerdings die Frage, inwieweit die Nutzer den weiter vorne beschriebenen Lösungsansatz tatsächlich akzeptieren. Nutzungsdaten haben zudem einen nicht unbeträchtlichen betriebswirtschaftlichen Wert, Eigentumsverhältnisse diese Daten betreffend sind bislang noch nicht geklärt, Auswirkungen auf die heute vorhandenen Geschäftsmodelle unbekannt. Entsprechende Fragen sind vor einer Implementierung entsprechender Lösungen im Rahmen von Forschungsprojekten zu beantworten. Im Zusammenhang mit technischen Fragestellungen sehen die befragten Experten Bedarf für weitere anwendungsorientierte Forschungsarbeiten, die sich mit der zielorientierten Auswertung der gesammelten Daten, z. B. mit Hilfe von Big Data Analytics, und zum anderen mit der Sicherheit dieser Daten befassen. Notwendigerweise kommunizieren intelligente Produkte über das Internet mit dem Hersteller. Nutzungsdaten sind in diesem Zusammenhang als äußerst sensibel zu

werten und entsprechend zu schützen. Auch im technischen Umfeld existieren damit Fragen, die in Kooperationsprojekten gemeinsam von Anwendern, Technologen, Systemanbietern und Forschern zu beantworten sind.

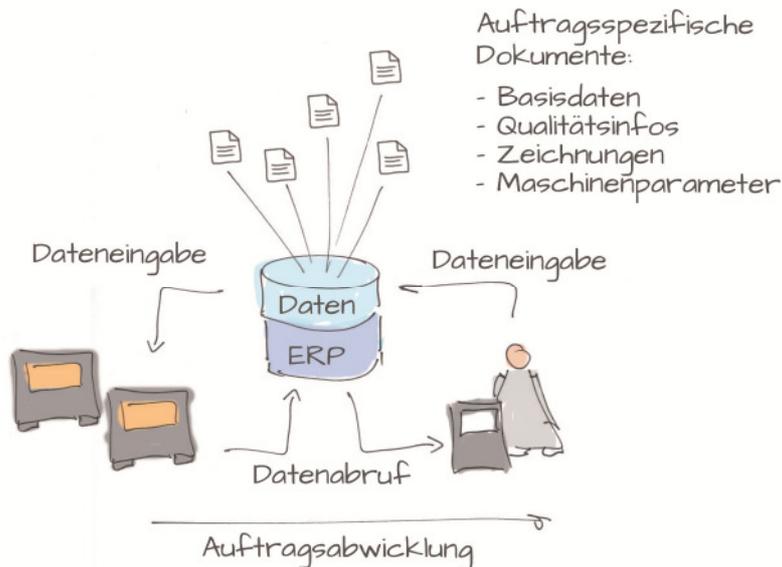
- **Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen:** Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 müssen Unternehmensprozesse ganzheitlich betrachtet werden. Neben den primär wertschöpfenden Prozessen im Bereich der Produktion existieren unterstützende Aktivitäten wie bspw. das Management von C-Teilen. Auch diese können mit Hilfe von CPS optimiert werden. Die weiter vorne vorgestellte Lösung wurde von den Befragten zwar als durchaus interessant erachtet, muss aber noch mehr als das Werkzeugmanagement als „Add-On“ betrachtet werden. Die Marktattraktivität wurde bei dieser Anwendung dementsprechend am niedrigsten eingeschätzt. Die technische Machbarkeit hingegen ist weitestgehend gegeben. Erste einfache Systeme sind bereits am Markt verfügbar. Der Weiterentwicklungsbedarf ist begrenzt und bezieht sich im Wesentlichen auf Fragen der Energieversorgung von und der Kommunikation zwischen intelligenten C-Teile-Behältern. Vertreter der im Rahmen dieser Studie adressierten Zielgruppe sollten sich mit dem Thema grundsätzlich auseinandersetzen, die betriebswirtschaftliche Machbarkeit für sich prüfen und bei positiver Bewertung umsetzen.
- **Höhere Effizienz und Flexibilität von Montageprozessen:** Industrielle Montageprozesse sind nach Ansicht der Befragten vor allem dann sehr fehleranfällig, wenn eine gewisse Variantenvielfalt parallel gefertigt bzw. wenn häufig umgerüstet werden muss. Hier kann die vorgestellte Lösung dann aber sehr hohen Nutzen generieren. Die Lösung ist nur für einen kleineren Teil des Marktes von Bedeutung und wurde von den Befragten hinsichtlich der Marktattraktivität deswegen etwas konservativer eingeschätzt. Fraglich aus technischer Sicht ist zudem, ob die heute vorhandenen Auto-ID-Technologien bereits ausreichen, alle relevanten Teile sicher und vollautomatisch zu identifizieren. Hier wurden von den befragten Technologen durchaus Zweifel angemeldet. Inwieweit der Stand der Technik genügt, muss im Einzelfall überprüft werden. Zudem stellt sich hier die Frage, ob die Zulieferer bereit sind, die eigenen Produkte entsprechend zu kennzeichnen. Generell müssen die Lösungen so gestaltet werden, dass sie für den Anwender eine echte Hilfestellung sind und ihn nicht belasten. Es darf nicht der Eindruck entstehen, dass der Montagemitarbeiter entmündigt und zur „Maschine“ degradiert wird, die stupide nach Anweisung Arbeiten ausführt. Auch in diesem Zusammenhang existiert Forschungsbedarf, der am besten im Rahmen entsprechender Forschungsprojekte adressiert wird.
- **Minimierung des Ressourcenverbrauchs von Maschinen und Anlagen:** Grundsätzlich versuchen Maschinenhersteller die Ressourceneffizienz ihrer Produkte permanent zu verbessern. Niedriger Energieverbrauch wird als Verkaufsargument betrachtet. Darüber hinaus ist die Steigerung der Energieeffizienz in der vernetzten Produktion durch Koordination des Verbrauchsverhaltens von Maschinen für einige der befragten Unternehmen ein durchaus relevantes Thema. In Summe wurde die Marktattraktivität von den Befragten allerdings eher vorsichtig eingeschätzt. Vereinzelt steuern sich Maschinen bereits heute gegenseitig, um Energie zu sparen. „Kleine“

Lösungen existieren damit bereits. Ein durchgängiger Ansatz über die Maschinen mehrerer Hersteller hinweg existiert heute allerdings noch nicht. Eine Herausforderung ist hier bspw. die Entwicklung von Agentensystemen für Maschinen, die das Anfahrverhalten unterschiedlicher Verbraucher unter Berücksichtigung von Produktionsprogrammen verhandeln und gemeinsam die „beste“ Lösung erarbeiten. Zudem fehlen die entsprechenden Standards. Eine vernünftige Strategie für den Mittelstand wäre an dieser Stelle, die laufenden Entwicklungs- und Standardisierungsaktivitäten zu verfolgen und spätestens dann aktiv zu werden, wenn die notwendigen technischen Voraussetzungen und Standards existieren. Unternehmen mit energieintensiver Fertigung sollten nach Möglichkeit zusätzlich in Forschungs- und Entwicklungsprojekten Grundlagen legen und sich nach Möglichkeit an laufenden bzw. noch zu initiiierenden Normungsprozessen beteiligen.

- Durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Fertigungsprozesses: Innovative Technologien und Produktionsverfahren, neue Materialien, steigende Anforderungen an industriell gefertigte Produkte machen eine durchgängige Kontrolle der Qualität entlang des Fertigungsprozesses erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Prozessindustrie und für die Hersteller von Hightechprodukten. Die befragten Unternehmen sind sich einig, dass die weiter vorne beschriebene CPS-basierte Lösung hier einen nicht zu unterschätzenden Zusatznutzen liefern kann. Dementsprechend hoch wurde die Marktattraktivität der Lösung eingeschätzt. Schwieriger ist die Beurteilung der technischen Machbarkeit. Von den Technologieexperten wurde darauf verwiesen, dass zusätzliche Qualitätskontrollen in der Regel mit hohen Zusatzkosten verknüpft sind, dass auch mit innovativer und miniaturisierter Sensorik nicht alle relevanten Parameter erfasst werden können und dass insbesondere die Auswertung von einmal erfassten Umgebungsparametern mit Hilfe von Big Data Analytics-Verfahren sowie die Ableitung von schlüssigen Hinweisen auf eine mögliche Optimierung von Produktionsprozessen eine beträchtliche technische Herausforderung darstellen. Hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit wurde dieses Thema dementsprechend vorsichtig eingeschätzt. Vor allem in diesem Fall sind durch die öffentliche Hand geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekte sinnvoll, in denen Grundlagen aufgearbeitet, erweitert und anschließend im Rahmen von anwendungsorientierten Arbeiten in die Praxis transferiert werden.

Voraussetzung für die Realisierung der zunächst vorgestellten und schließlich hinsichtlich der Marktattraktivität und der technischen Umsetzbarkeit bewerteten Lösungen sind der Entwurf und die Umsetzung eines Konzepts zu „digitalen Fertigungspapieren“. Denkbar ist bspw. ein erstes digitales Dokument, welches zunächst nur die Auftragsdaten umfasst und mit jeder Planungs-, Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsaktivität wächst. Sämtliche Daten, die durch die Cyber-Physischen Systeme und Mitarbeiter im Unternehmen anwendungsbezogen generiert bzw. von diesen benötigt werden, müssen letztlich Bestandteil der digitalen Dokumentation sein. Die nachfolgende Abbildung zeigt die grundsätzliche Idee hinter dem Konzept der digitalen Auftragspapiere noch einmal grafisch zusammengefasst.

Abbildung 39

**Basisidee hinter dem Konzept der digitalen Fertigungsdokumente**

Quelle: Fraunhofer IIS

Wo die einzelnen Daten letztendlich vorgehalten werden, ist dabei zunächst unerheblich. Wichtig ist im Grunde nur die grundsätzliche Verfügbarkeit der Daten für die verschiedenen Akteure im Unternehmen. Ein entsprechendes Design- und Implementierungsprojekt muss im Grunde mit der Planung der ersten Industrie-4.0-Lösung begonnen werden. Mit jeder weiteren Anwendung ist die Weiterentwicklung der Systematik der digitalen Fertigungsdokumentation erforderlich. Voraussetzung für die effiziente und nachhaltige Entwicklung eines solchen Systems sind entsprechende Standards, die branchenübergreifend auf der nationalen und auf der internationalen Ebene gelten. Dementsprechend ist ein begleitendes Standardisierungsprojekt für den Datenaustausch zwischen den einzelnen Systembausteinen, an dem sich mittelständische Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie mindestens auf der nationalen Ebene intensiv beteiligen sollten, ebenfalls erforderlich.

Sowohl die weiter oben dargestellte Roadmap als auch die auf den letzten Seiten dargestellten Umgebungen sind generischer Natur. Bei der Entwicklung unternehmensspezifischer Strategien zum Umgang mit Cyber-Physischen Systemen bzw. zum Umgang mit der Vision Industrie 4.0 muss die Relevanz der einzelnen Lösungen und auch die Reihenfolge noch einmal kritisch hinterfragt werden. Die bisher dargestellten Ergebnisse erheben auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bei der Entwicklung entsprechender Strategien in den Unternehmen werden mit Sicherheit weitere Bedarfe und Lösungen identifiziert werden, die umgesetzt werden können, sollen oder müssen.

## 7 Ableitungen von Handlungsempfehlungen

Die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 erfordert eine intensive Vernetzung und Kooperation zwischen Unternehmen.

---

Die im Rahmen der Studie beschriebenen Lösungen basieren auf unterschiedlichsten innovativen Technologien, die miteinander in neuer Art und Weise kombiniert werden. Die Detaillierung und Umsetzung dieser und weiterer, zukünftig noch zu identifizierenden Industrie-4.0-Lösungen erfordern in der Regel ein umfassendes Kompetenzprofil, welches von einzelnen Unternehmen kaum mehr alleine gestemmt werden kann. Bei der Weiterentwicklung und Implementierung sind die Beiträge unterschiedlicher, auf bestimmte Fragestellungen spezialisierter Unternehmen gefragt. Strategische Kooperationen zwischen diesen Unternehmen sind erforderlich. Im nachfolgenden Kapitel sind die wichtigsten Unternehmenstypen zunächst überblicksartig genannt. Für die einzelnen Typen sind erste praktische Konsequenzen beschrieben, die sich direkt aus den in den letzten Kapiteln zusammengetragenen Studienergebnissen ableiten lassen. Mit diesen Konsequenzen sind wiederum allgemeine Chancen und Risiken verbunden, die in einem zweiten inhaltlichen Block genannt und erläutert werden. Im dritten und letzten Teil des Kapitels werden erste wesentliche Handlungsempfehlungen für nächste Schritte aus der Anwendungsperspektive und aus der Technologiesicht beschrieben.

### 7.1 Konsequenzen für die an der Umsetzung beteiligten Unternehmen

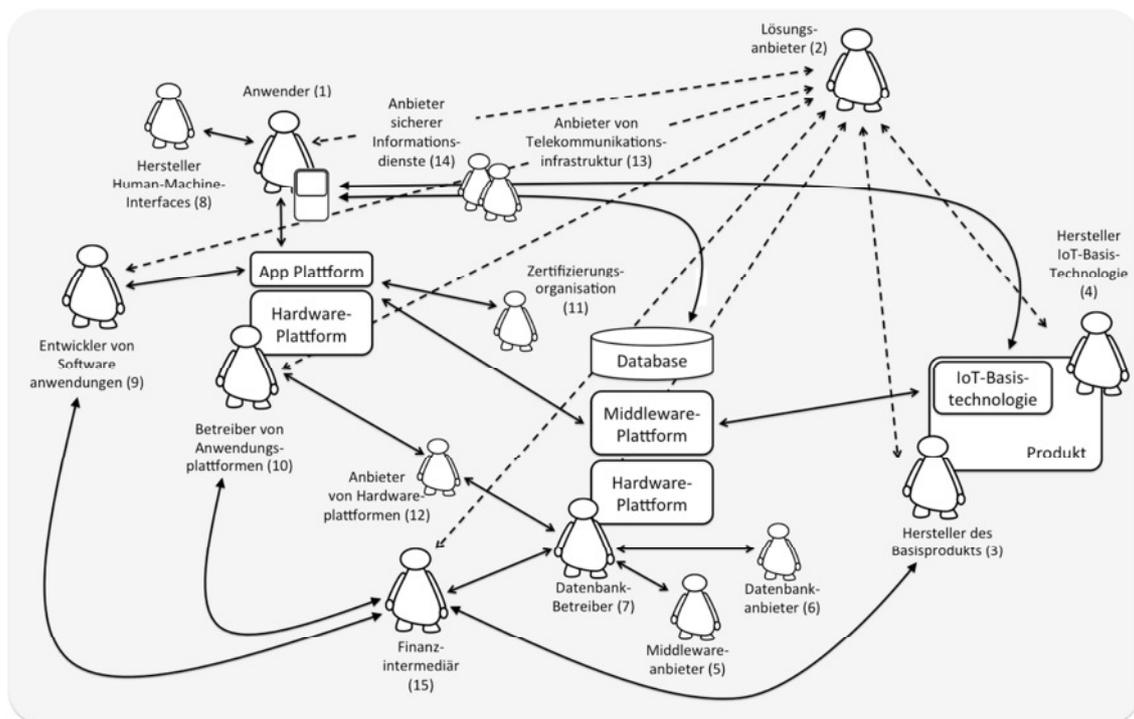
Abbildung 40 zeigt in einem einfachen Modell die unterschiedlichen Unternehmenstypen bzw. „Rollen“, die an der Weiterentwicklung und Umsetzung CPS-basierter Industrie 4.0-Anwendungen beteiligt sind und einen eigenen Beitrag leisten.

Der Anwender (1) hat die Aufgabe, gemeinsam mit dem Lösungsanbieter (2) sowohl den Bedarf als auch die Lösung zu spezifizieren. Für die Realisierung eines erforderlichen CPS ist der Hersteller des betroffenen physischen Produkts (3) gemeinsam mit Anbietern von Basistechnologien für das Internet der Dinge (4) verantwortlich. Das entstehende Cyber-Physische System ist über ein Middleware-Produkt (5) mit der Gesamtlösung verknüpft. Die vom CPS generierten bzw. von ihm benötigten Daten wiederum werden in geeigneten, verteilten Datenbankstrukturen hinterlegt und für Auswertungszwecke bereitgestellt. Auch die Anbieter (6) und Betreiber von Datenbanken (7) sind damit bei der Lösungsentwicklung zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere im Zusammenhang mit Anwendungen, bei denen große Mengen heterogener, schnell anfallender Daten analysiert werden müssen. Für die Integration des Menschen in das Gesamtsystem sind die Hersteller von HMI (8) verantwortlich. Die eigentlichen Softwareapplikationen, die auf mobile Endgeräten des Nutzers, zentrale Server und Cyber-Physische Systeme verteilt sind, werden von weiteren Partnern (9) entwickelt, auf Anwendungsplattformen (10) gehostet und für den Einsatz in der Produktion zertifiziert

(11). Sowohl für den Betrieb von Datenbanken als auch für den Betrieb von Anwendungsplattformen ist entsprechend leistungsfähige Hardware erforderlich, die von zusätzlichen Spezialisten (12) zugeliefert wird. Für die drahtgebundene und drahtlose Vernetzung zwischen den einzelnen Systembestandteilen sorgen Unternehmen der Telekommunikationsbranche (13). Weitere Partner (14) werden für die „End-2-End“-Absicherung von Informationsflüssen zwischen den einzelnen Systembausteinen benötigt. Die Verfügbarkeit der für die Entwicklung und Implementierung einzelner Lösungen erforderlichen finanziellen Mittel stellen Finanzintermediäre (15) sicher.

Abbildung 40

### **Rollenmodell für die Entwicklung und Umsetzung von CPS-basierten Lösungen für Industrie 4.0**



Quelle: in Anlehnung an Pflaum, Papert (2014)

Bei der Umsetzung der Vision Industrie 4.0 ergeben sich für die Vertreter der unterschiedlichen Rollen langfristig eine Reihe von Konsequenzen. Die wichtigsten sind im Nachgang kurz erläutert:

- **Anwender:** In der produzierenden Wirtschaft werden sich die IT-Systeme im Hinblick auf die Architektur grundlegend verändern. Ein Teil der relevanten Entscheidungen wird dezentral von CPS selbst getroffen, Menschen werden informationstechnisch auf neue Art und Weise in die Geschäftsprozesse eingebunden. Industrie-4.0-Lösungen werden nicht im Sinne einmaliger Investitionen gekauft, sondern von internen oder externen Anbietern als Service bezogen. In diesem Zusammenhang

werden sich neue Geschäftsmodelle etablieren, unter Umständen werden sich Unternehmen mit zunehmender Digitalisierung auch hinsichtlich der Aufbauorganisation anpassen.

- Lösungsanbieter: Die zunehmende Implementierung von CPS-basierten Industrie-4.0-Anwendungen wird sich in signifikanter Weise auf das Geschäft von Lösungsanbietern im IT-Umfeld auswirken. Hier steht auf der technischen Seite ein ernstzunehmender Paradigmenwechsel an, der sich auf alle Bereiche des Unternehmens auswirkt. Eine neue Klasse von Anwendungen erfordert vor allen Dingen eine intensive Auseinandersetzung mit existierenden und zukünftigen IT-Architekturen sowie mit den zugrundeliegenden informationstechnischen Trends. Auf der betriebswirtschaftlichen Seite müssen im Zusammenhang mit SaaS-Ansätzen neue Geschäftsmodelle entwickelt werden.
- Hersteller von Basisprodukten: Maschinen, Behälter, Flurförderzeuge, Infrastrukturbausteine etc. werden sich hinsichtlich ihres Funktionsumfangs deutlich verändern. Zusätzlich zur Basisfunktion in der Produktion werden diese Objekte zukünftig selbst sensorisch Daten erfassen, mit Daten aus der Umgebung verknüpfen, verarbeiten und die Ergebnisse nutzen, um Prozesse in der Produktion bzw. in Wertschöpfungsketten zu steuern. Letztlich wird sich das Angebot der Unternehmen grundlegend verändern. Solchen Entwicklungen muss auf der Ebene der strategischen Planung und der Unternehmensentwicklung unbedingt Rechnung getragen werden.
- Hersteller von IoT-Basistechnologien: Für die Hersteller von RFID-Systemen, drahtlosen Sensornetzen, Lokalisierungssystemen und eingebetteten Systemen eröffnet sich mit Industrie 4.0 ein bislang nur teilweise adressierter Markt im Bereich der Produktion. Mit der sukzessiven Umsetzung entsprechender Lösungen werden sich allerdings auch die Anforderungsprofile an die eigenen Technologien deutlich verändern. Diese Anforderungen müssen sauber erfasst und umgesetzt werden, um einen entsprechenden Marktanteil zu generieren. Konsequenterweise müssen die entsprechenden Geschäftseinheiten in den Unternehmen gestärkt bzw. bei Bedarf geschaffen werden.
- Middleware-Anbieter: Hier sind die Hersteller von Integrationsplattformen für die unterschiedlichen Basistechnologien des Internets der Dinge gemeint. Für diese Unternehmen eröffnet sich ein neues Anwendungsfeld mit eigenen und lange etablierten IT-Infrastrukturen. Für die Umsetzung der Vision von Industrie 4.0 müssen die existierenden Integrationsplattformen funktional erweitert werden und mit den heute ebenfalls bereits vorhandenen MES in geeigneter Form zusammenwachsen. Welche Konsequenzen dies für Aufbauorganisation und Unternehmensstrukturen hat, ist heute nicht abzusehen. Die nächsten Jahre werden zeigen, wie sich der Angebotsmarkt hier strukturell entwickelt.
- Anbieter von Datenbanksystemen: Im Rahmen von CPS-basierten Industrie-4.0-Lösungen fallen große Mengen heterogener Daten an unterschiedlichen Orten an,

die zudem schnell verarbeitet werden müssen. Für die Hersteller moderner und verteilter Datenbanksysteme ergibt sich hieraus die Möglichkeit, ein zusätzliches, hinsichtlich seiner Größe nicht zu unterschätzendes Marktsegment zu erschließen. In der strategischen Planung muss dies berücksichtigt werden. Gravierende Auswirkungen auf das eigene Unternehmen sind allerdings auf den ersten Blick nicht zu erwarten.

- Betreiber von Datenbanksystemen: Gegenüber der heutigen Situation dürften mit der Entwicklung und Implementierung von CPS-basierten Lösungen die verteilte Speicherung, die Sicherung, die Analyse und die Präsentation der in der Produktion anfallenden Daten eine sehr viel höhere Bedeutung annehmen. Strukturelle Veränderungen in bereits vorhandenen Aufbauorganisationen oder die Aus- bzw. Neugründung von Unternehmen mit entsprechender Expertise sind im Grunde zu erwarten. Die zukünftige Entwicklung wird sehr stark davon abhängen, welche Anwendungen in den kommenden Jahren implementiert werden und inwieweit produzierende Unternehmen bereit sind, den Betrieb und die Analyse von Daten an kompetente Partner zu vergeben.
- Hersteller von Human-Machine-Interfaces: Gemeint sind hier im Wesentlichen Smart Phones und Tablets, Datenbrillen, intelligente Kleidungsstücke etc. Die entsprechenden Hersteller müssen bei der Weiterentwicklung der eigenen Produkte darauf achten, dass diese die höheren Anforderungen der industriellen Produktion an Robustheit und Sicherheit erfüllen und dass die Geräte leicht und intuitiv zu bedienen sind. Darüber hinaus sind aus heutiger Sicht keine Anpassungen des eigenen Geschäfts erforderlich. Für die Anpassung der eigenen Produkte bedarf es allerdings detaillierter Anforderungsanalysen. Verglichen mit dem heute durch die Hersteller adressierten Massenmarkt ist der Markt für mobile Endgeräte im industriellen Umfeld eher gering.
- Entwickler von Softwareanwendungen: In der industriellen Produktion existieren etablierte Softwareprodukte und Systemarchitekturen. Der Wechsel von der zentralen hin zur dezentralen Steuerung, der Einsatz grundlegend neuer Basistechnologien und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, orientiert am Lösungsgedanken, stellen einen Paradigmenwechsel dar, der nicht unterschätzt werden darf. Im Markt etablierte und neue Unternehmen müssen sich mit diesem Wandel intensiv auseinandersetzen, um den Anschluss nicht zu verlieren bzw. um einen Teil des Marktes für sich zu erschließen. Auch wenn nicht davon auszugehen ist, dass der zu erwartende radikale Wechsel sich von heute auf morgen vollzieht, sind bereits heute die Weichen zu stellen.
- Betreiber von Softwareplattformen: Unabhängig davon, ob die einzelnen Softwareapplikationen von der eigenen IT-Abteilung oder von Dritten gehostet werden, werden sich mit der Umsetzung der Vision hinter Industrie 4.0 Anwendungsplattformen entwickeln. Einzelne Applikationen werden dem Nutzer hier zum Download zur Verfügung gestellt. Idee hinter dem Internet der Zukunft ist, dass die Betreiber dieser Plattformen generische Softwareservices aus dem Internet beziehen und verwerten,

um die Effizienz bei der Entwicklung bzw. Orchestrierung einzelner Apps zu erhöhen. Wie sich solche Plattformen im Detail entwickeln, ist heute schwer abzusehen. Erste Einsichten lassen sich auf Basis einer detaillierten Analyse der Anwendungsplattformen für Smart Phones gewinnen. Es ist davon auszugehen, dass neben unternehmensinternen IT-Abteilungen auch Telekommunikationsunternehmen und Integratoren aktiv werden und eigene Lösungen entwickeln.

- **Zertifizierungsorganisationen:** Bei den meisten Industrie-4.0-Applikationen handelt es sich um kritische Anwendungen, die robust und zuverlässig funktionieren müssen. Unternehmen, die sich bereits heute auf den Test und die Zertifizierung von Softwareprodukten, z. B. im Medizinbereich, konzentrieren, werden von der Umsetzung der Industrie-4.0-Vision profitieren. Auch im Bereich der digitalisierten Produktion werden und müssen sich ähnliche Strukturen etablieren. Dies gilt insbesondere dann, wenn mehr und mehr Software Services als Open-Source-Produkte im Sinne eines Future Internets eben aus dem Internet bezogen werden.
- **Anbieter von Hardwareplattformen:** Sowohl für den Betrieb von Datenbankstrukturen als auch für den Betrieb von Anwendungsplattformen ist entsprechend skalierbare Hardware erforderlich. Hier existieren etablierte Akteure am Markt. Aus heutiger Sicht lassen sich abgesehen von einer gewissen Echtzeitfähigkeit keine weiteren Anforderungen aus den vorgestellten Lösungen ableiten. Skalierbar sind diese Plattformen bereits heute. Hier kann mit schon vorhandenen Produkten gearbeitet werden.
- **Betreiber von Telekommunikationsinfrastrukturen:** Sowohl die kabelgebundene als auch die drahtlose Kommunikation zwischen einzelnen Systembausteinen erfordert zuverlässige, unternehmensspezifisch angepasste Infrastrukturen. Im drahtlosen Bereich kommen WLAN, DECT, LTE sowie weitere, standardisierte bzw. proprietäre Protokolle in Frage. Zuverlässige drahtlose Kommunikation im elektromagnetisch belasteten industriellen Umfeld erfordert eine umfassende Analyse der aktuellen Verhältnisse, detaillierte Planung der Infrastruktur und umfangreiche Tests im Rahmen der Installation. Telekommunikationsunternehmen können ihr Angebot in diese Richtung erweitern.
- **Anbieter sicherer Informationsdienste:** Im Rahmen der Umsetzung von Industrie 4.0 müssen sich Unternehmen aus informationstechnischer Sicht deutlich weiter öffnen, als es bisher der Fall ist. Anbieter von Informationsdiensten, die von der Informationsquelle bis zur Informationssenke auf globaler Ebene Datensicherheit bieten, werden in diesem Zusammenhang immer wichtiger. Nicht nur Unternehmen mit eigener Telekommunikationsinfrastruktur, sondern auch deren virtuelle Pendanten werden hier aktiv. Gefragt sind Angebote, die einen sicheren und schnellen Datentransfer garantieren. Hier entsteht ein Markt signifikanter Größe, dessen Volumen sich heute nur schwer abschätzen lässt. Die eben genannten Unternehmen müssen dies bei der Entwicklung der eigenen Strategie berücksichtigen und sich entsprechend aufstellen.

- Finanzintermediäre: Im Zusammenhang mit der Implementierung der beschriebenen Lösungen werden über einen längeren Zeitraum finanzielle Aufwände anfallen, die gerade im Mittelstand ohne die Hilfe von Finanzintermediären nicht aufgebracht werden können. Vor diesem Hintergrund müssen sich auch Banken sehr intensiv mit der Vision der digitalisierten Produktion und hier vor allem mit Kostenstrukturen und Fragestellungen der Refinanzierung auseinandersetzen. Einige Unternehmen wie z. B. die Deutsche Bank haben dies bereits getan. Weitere werden mit Sicherheit folgen.

Wie viele und welche Unternehmen letzten Endes bei der Entwicklung und Implementierung von Lösungen einen Beitrag leisten, hängt vom Einzelfall ab. Grundsätzlich können einzelne Unternehmen innerhalb des weiter oben dargestellten Modells natürlich mehrere Rollen übernehmen.

## 7.2 Chancen und Risiken

Aus den vorgestellten Lösungen und den im letzten Abschnitt erläuterten Konsequenzen einer Umsetzung der Industrie-4.0-Vision ergeben sich eine Reihe von Chancen und Risiken, die von Anwendern und Technologieanbietern bei der weiteren Planung berücksichtigt werden müssen. Sie werden in der nachfolgenden Abbildung stichpunktartig zusammengefasst und im Nachgang noch einmal detaillierter erläutert.

Abbildung 41

### **Chancen und Risiken im Rahmen einer Umsetzung der Industrie 4.0 Vision**

#### **Chancen:**

- Steigerung der Effizienz der physischen Produktionsprozesse
- Steigerung von Flexibilität und Agilität in der Planung
- Höhere Integrität von Produkten und Dienstleistungen
- Entlastung und Unterstützung des Menschen in der Produktion
- Bessere Wettbewerbsposition im internationalen Vergleich

#### **Risiken:**

- Sicherheit der Daten im Hinblick auf Angriffe von außen
- Kompetenz- und Kontrollverlust im Bereich der IT
- Akzeptanz des Technologieeinsatzes innerhalb der Organisation
- Beherrschbarkeit des komplexen Innovationsproblems
- Unterschiedlicher Reifegrad einzelner Systembausteine

Quelle: Fraunhofer IIS

Die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 ist mit einer Reihe von Chancen verknüpft:

- Steigerung der Effizienz der physischen Produktionsprozesse: Grundsätzlich wird durch den Einsatz innovativer Informationssysteme die Transparenz bzw. die Abbildungsqualität für physische Prozesse erhöht. Höhere Maschinenverfügbarkeiten, geringerer Ressourcenverbrauch, verbessertes Werkzeugmanagement, schnelleres und einfacheres Umrüsten, eine bessere maschinenübergreifende Koordination von Fertigungsaufträgen, geringere Suchaufwände, effizientere innerbetriebliche und überbetriebliche Logistikprozesse, verbessertes C-Teile-Management etc. sind die Folge. Bei einer vollständigen Umsetzung der Vision dürfen beträchtliche Kosteneinsparungen erwartet werden.
- Steigerung von Flexibilität und Agilität in der Planung: Mit Hilfe der weiter vorne beschriebenen Lösungen werden zum einen qualitativ hochwertige Informationen in Echtzeit generiert, welche die Planung mit Hilfe von Softwarewerkzeugen deutlich verbessern können. Zum anderen bieten die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien die Möglichkeit, auch die manuell durch Entscheidungsträger in der Produktion durchgeführte Feinplanung digital zu dokumentieren und zu unterstützen, so dass auch hier mit deutlich weniger Reibung zu rechnen ist. Die Planungsprozesse werden zeitlich gestrafft, sie werden agiler und flexibler. Dies gilt auch und vor allem bei kleineren Losgrößen.
- Höhere Integrität von Produkten und Dienstleistungen: Insbesondere durch die Auswertung von Nutzungsdaten sowie durch eine durchgängige Qualitätskontrolle entlang des Fertigungsprozesses kann die Qualität und vor allem die Integrität von Leistungsbündeln, bestehend aus Produkt und Zusatzdienstleistungen signifikant erhöht werden. Der Einsatz der neuen Technologien in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsprozessen unterstützt damit auch den allgemeinen Trend hin zu einer „Servitization“ in der produzierenden Wirtschaft. Die Erhebung von Nutzungsdaten vereinfacht bspw. die Entwicklung und Implementierung von „Product as a Service“-Geschäftsmodellen.
- Entlastung und Unterstützung des Menschen in der Produktion: Ein ganz wesentlicher Punkt, der im Rahmen der Workshops und Interviews immer wieder deutlich wurde, ist, dass der Mensch im Produktionsprozess noch besser unterstützt werden muss. Die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien können informativ Prozesse an der Maschine deutlich vereinfachen und auch bei Montageprozessen helfen. Wesentlich dabei ist, dass der Mensch nicht entmündigt und selbst zu einer Art Maschine degradiert wird. Die neuen Technologien können auch dazu genutzt werden, Menschen direkt am Arbeitsplatz weiterzubilden und Lern- und Arbeitsumgebungen direkt zu integrieren.
- Verbesserung der Wettbewerbsposition im internationalen Vergleich: Ein letzter, nicht unwichtiger Punkt betrifft den internationalen Wettbewerb. Länder wie bspw. die USA haben längst erkannt, dass Produktion im eigenen Land einen ganz wesentlichen Wettbewerbsvorteil darstellt und haben entsprechende Initiativen gestar-

tet. Auch hier wird das Thema Industrie 4.0 unter dem Namen „Industrial Internet“ mit aller Macht getrieben. Auch in China sind entsprechende Initiativen zu beobachten. Vor diesem Hintergrund muss gerade der deutsche Mittelstand als Innovationsmotor aktiv werden und das Thema Industrie 4.0 verstärkt aufgreifen. Die aktuellen Aktivitäten der Bundesregierung und auch die der bayerischen Staatsregierung sind eine gute Basis für die Konzeption und den Start entsprechender Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Auf der anderen Seite ist die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 allerdings auch mit Risiken verknüpft, die an dieser Stelle genannt werden müssen:

- Sicherheit der Daten im Hinblick auf Angriffe von außen: Aufgrund der insgesamt offeneren IT-Architekturen, die mit der Umsetzung des Industrie-4.0-Konzepts verbunden ist, werden Angriffe von außen, Industriespionage etc. wahrscheinlicher. Die Politik hat diesen Punkt allerdings bereits erkannt und entsprechende Initiativen gestartet. Im Rahmen des Programms „Bayern Digital“, das aktuell von der Bayerischen Staatsregierung aufgelegt wird und das die Digitalisierung nicht nur in der Produktion, sondern auch in anderen Lebensbereichen vorantreibt, sind umfangreiche Mittel für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem wichtigen Bereich vorgesehen.
- Kompetenz- und Kontrollverlust im Bereich der IT: Die Komplexität der informationstechnischen Systeme hinter Industrie 4.0 zwingt die produzierende Wirtschaft, sehr viel intensiver mit Dritten zusammenzuarbeiten. Die Auslagerung von IT an Dienstleister ist zwar einerseits mit positiven betriebswirtschaftlichen Effekten verbunden, führt aber letzten Endes auch zu Kompetenz- und Kontrollverlusten im eigenen Unternehmen. Im Rahmen der Strategieentwicklung müssen Anwender intensiv diskutieren, welche Lösungen im eigenen Haus und mit eigenen Kompetenzen vorangetrieben werden und welche vollständig oder ganz als Dienstleistung von Dritten bezogen werden.
- Akzeptanz des Technologieeinsatzes: Durch Industrie-4.0-Lösungen werden Produktionsprozesse in jeder Hinsicht transparenter. Je intensiver moderne Informations- und Kommunikationstechnologien zum Einsatz kommen und je weniger Papier für Steuerungs- und Dokumentationszwecke genutzt wird, desto leichter lassen sich auch Mitarbeiter überwachen und kontrollieren. Die Systeme müssen in enger Zusammenarbeit mit den Mitarbeitervertretern im Unternehmen so gestaltet werden, dass die Freiheiten und Rechte des einzelnen Mitarbeiters nicht berührt werden, dass aber auf der anderen Seite dennoch eine sukzessive Verbesserung des Betriebs möglich ist. Generell muss das Interesse der Mitarbeiter bei der Systementwicklung mit im Vordergrund stehen und zusätzlich entsprechende Aufklärungsarbeit geleistet werden.
- Beherrschbarkeit des komplexen Innovationsproblems Industrie 4.0: Im Rahmen der Studie ist deutlich geworden, dass bei der Umsetzung der digitalisierten Produktion sowohl unterschiedlichste als auch grundlegend neue Informationstechnologien zum

Einsatz kommen und miteinander kombiniert werden. Unternehmen alleine sind durch den abzusehenden Paradigmenwechsel im Grunde bereits heute überfordert. Letztlich braucht es eine funktionierende „Community“ von Unternehmen, die in Summe alle für die Umsetzung der Vision hinter Industrie 4.0 notwendigen Kompetenzen repräsentiert. Es ist Aufgabe der Politik, der Verbände, der Hochschulen und Universitäten, eine solche Community aufzubauen, nachhaltig zu entwickeln und permanent zu mobilisieren.

- Unterschiedlicher Reifegrad einzelner Systembausteine: Im Rahmen der Diskussionen mit Praxisvertretern und Technologieexperten wurde deutlich, dass nicht alle beschriebenen Lösungen technisch gleichermaßen machbar sind. Vor einer breiten Ausrollung des Themas in der Praxis müssen noch eine ganze Reihe technischer Fragen geklärt werden. Eine vollständige Umsetzung wird nur dann möglich sein, wenn Politik, Verbände und vor allem Anwender und Technologieanbieter entsprechende Budgets allokieren und zur Verfügung stellen. Die Bayerische Staatsregierung geht mit der Gründung des „Zentrums für die digitalisierte Produktion“ mit gutem Beispiel voran.

### 7.3 Handlungsempfehlungen aus der Anwenderperspektive

Auf Basis der bisherigen Ergebnisse der Untersuchung lassen sich Handlungsempfehlungen für die Praxis ableiten. Die wichtigsten werden in der nachfolgenden Abbildung genannt und anschließend jeweils knapp erläutert.

Abbildung 42

#### **Handlungsempfehlungen für die Praxis aus Nachfrage- und Angebotsperspektive**

##### **Nachfrageseite:**

- Entwicklung unternehmensspezifischer Anwendungsroadmaps
- Entwicklung anwendungsspezifischer Referenzmodelle
- Beteiligung an Standardisierungsaktivitäten
- Aufbau unternehmensspezifischer Ökosysteme für die Umsetzung
- Design und Implementierung erster eigener Anwendungen

##### **Angebotsseite:**

- Schließen aktueller technologischer Lücken im Angebot
- Entwicklung neuer und geeigneter Geschäftsmodelle
- Aufbau eines Kursangebots für die berufliche Weiterbildung
- Aufbau einer Community für die Lösungsentwicklung
- Schaffen von Demonstrations- und Testumgebungen

Für die Nachfrageseite können folgende Handlungsempfehlungen formuliert werden:

- Entwicklung unternehmensspezifischer Anwendungsroadmaps: Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde gemeinsam mit ausgewählten Praxisvertretern eine generische Roadmap „Industrie 4.0“ für den Gesamtmarkt entwickelt. Vertreter der bayerischen Metall- und Elektroindustrie können in ganz ähnlicher Weise eigene unternehmensspezifische Umsetzungsroadmaps generieren und damit die Grundlage für die Umsetzung der Vision im eigenen Unternehmen legen. Wissenschaftliche Einrichtungen und Beratungshäuser können hierbei bei Bedarf unterstützen. Die im Rahmen dieser Studie entwickelten Lösungsansätze können und sollen hierfür als Basis dienen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass weitere Anwendungsideen entstehen.
- Entwicklung anwendungsspezifischer Referenzmodelle: Für eine spätere Umsetzung müssen die einzelnen Lösungen deutlich detaillierter, nach Möglichkeit in Form von Referenzmodellen beschrieben werden. Hierfür können Vorgehensweisen des Solution und Service Engineerings wie bspw. das Nürnberger Service Engineering Binokular NSEB<sup>®</sup> herangezogen werden. Im Idealfall erfolgt eine solche Entwicklung unternehmensübergreifend im Rahmen von Fokusgruppen. Das entstehende Referenzmodell kann im Anschluss von einzelnen Unternehmen aufgegriffen und für die eigenen Zwecke weiter detailliert werden. Die Ergebnisse solcher Bemühungen können dann auch Basis für das Verfassen von Ausschreibungen sein.
- Beteiligung an Standardisierungsaktivitäten: Referenzmodelle für einzelne Anwendungen stellen darüber hinaus eine gute Basis für Standardisierungsprozesse dar. Im Rahmen der Studie wurde immer wieder deutlich, dass es im Zusammenhang mit der Umsetzung der Vision Industrie 4.0 an Standards mangelt. Mittelständische Unternehmen sollten sich angesichts des hohen Aufwands für internationale Standardisierungsprozesse vor allem an der Entwicklung von nationalen Normen, wie sie bspw. vom DIN e.V. vorangetrieben werden, beteiligen. Ergebnisse aus diesen Bemühungen können dann in einem weiteren Schritt von größeren und in der Regel finanzkräftigeren Unternehmen auch in internationale Standardisierungsgremien eingebracht werden.
- Aufbau unternehmensspezifischer Ökosysteme: Für die Umsetzung von CPS-basierten Lösungen sind Kompetenzprofile erforderlich, die von einzelnen Unternehmen nicht mehr erfüllt werden können. Hier sind strategische Kooperationen erforderlich. Anwender können das in Abbildung 40 dargestellte Kooperationsmodell nutzen, um gezielt ein eigenes unternehmensspezifisches Ökosystem aufzubauen. Hierfür ist zunächst die Entwicklung einer eigenen Umsetzungsroadmap, die Definition des eigenen Wertschöpfungsbeitrags, die Identifikation potenzieller Kooperationspartner, die Vereinbarung von Auswahlkriterien, die Auswahl von Partnern und das Etablieren einer nach Möglichkeit längerfristigen und nachhaltigen Kooperation erforderlich. Auch hierbei können wissenschaftliche Einrichtungen bzw. Beratungshäuser unterstützen. Voraussetzung ist entsprechendes Marktwissen.

- Design und Implementierung erster eigener Anwendungen: Mit Hilfe des Partnernetzwerks können in einer weiteren Phase erste Schritte in Richtung Umsetzung getan werden. Hierfür müssen ausgewählte Lösungen gemäß der entwickelten Roadmap mit Partnern aus dem eigenen unternehmerischen Ökosystem spezifiziert und realisiert werden. Nach einer ersten Phase des operativen Betriebs sollten die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen evaluiert und bei Bedarf weitere Anpassungsmaßnahmen vorgenommen werden. Ergebnisse aus dem Pilotbetrieb werden im Idealfall mit einer größeren Community geteilt und diskutiert. Auf diese Weise können Synergien und auch die volkswirtschaftlichen Effekte erreicht werden, die von Seiten der Verbände und der einschlägigen Regierungsorganisationen mit dem Thema Industrie 4.0 verknüpft werden.

Im Zusammenhang mit dem Angebot lassen sich die folgenden Handlungsempfehlungen formulieren:

- Schließen aktueller technologischer Lücken im Angebot: Im Rahmen der Studie wurden eine ganze Reihe von technologischen Lücken deutlich, die für die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 noch geschlossen werden müssen. Herausforderungen existieren im Zusammenhang mit hochwertigen Informationen zur Position mobiler CPS, mit einer deterministischen drahtlosen Kommunikation zwischen CPS und der Umgebung, mit dem energieeffizienter Betrieb von CPS basierend auf Energy Harvesting und Management, mit der Integration von CPS in existierende IT-Landschaften, dem Aufbau entsprechender Anwendungsplattformen und dem Handling großer und durch CPS generierter Datenmengen. Hier müssen entsprechende Forschungsprojekte gestartet werden. In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die Gründung des „Zentrums für die digitalisierte Produktion“ durch die Bayerische Staatsregierung hingewiesen.
- Entwicklung neuer und geeigneter Geschäftsmodelle: Der hohe Grad an Innovation, der sich hinter Industrie 4.0-Applikationen verbirgt, erfordert eine intensive Auseinandersetzung mit betriebswirtschaftlichen Fragen. Es ist zu klären, welche Kosten mit den weiter vorne beschriebenen Anwendungen verbunden sind und welche Nutzenpotenziale erschlossen werden können. Generell werden sich mit zunehmender Digitalisierung der wirtschaftlichen Welt neue Geschäftsmodelle entwickeln, die bis heute noch nicht untersucht wurden. Vor diesem Hintergrund gründen die Otto-Friedrich-Universität Bamberg und das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen aktuell das „Kompetenzzentrum für Geschäftsmodelle in der digitalen Welt“. Ziel ist letztlich, Unternehmen beim Transfer der aktuell vorhandenen Organisation in das digitale Pendant von morgen zu unterstützen. Hierfür sollen Modelle, Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge entwickelt und gemeinsam mit Unternehmen evaluiert werden.
- Aufbau eines Kursangebots für die berufliche Weiterbildung: Neues Wissen zu den Basistechnologien, zu Lösungen und Geschäftsmodellen hinter Industrie 4.0 muss in die Industrie transferiert werden. Aktuell fehlt es im Zusammenhang mit der beruflichen Weiterbildung an entsprechenden Angeboten. Die Praxis ist heute darauf an-

gewiesen, selbst nach relevanten Kursen zu suchen und in einen Gesamtkontext zu integrieren. Angesichts der Komplexität des Themas ist diese Aufgabe für die Unternehmen heute kaum zu bewältigen. An Universitäten und Hochschulen existieren auf der anderen Seite allerdings bereits erste Kurse, die sich mit relevanten Themen auseinandersetzen und als Basis für ein entsprechendes Weiterbildungsprogramm durchaus geeignet sind. Diese Angebote müssen in einer konzertierten Aktion zusammengetragen und in ein Gesamtangebot eingebettet werden, aus dem sich die Praxis bedienen kann.

- Aufbau einer Community für die Lösungsentwicklung: Für eine möglichst schnelle Umsetzung der Industrie-4.0-Vision muss ein Netzwerk geschaffen werden, in dem sich die relevanten Anbieter, Integratoren und Anwender untereinander und mit der Wissenschaft austauschen können. Das in Abbildung 40 dargestellte Rollenmodell stellt hierfür einen guten Ansatzpunkt dar. Für jede Rolle sind die relevanten Akteure zu identifizieren, anzusprechen und in eine Gesamtorganisation zu integrieren. Auch hier bietet das von der Bayerischen Staatsregierung geplante „Zentrum für die digitalisierte Produktion“ eine hervorragende Basis. Das Zentrum wird voraussichtlich Anfang 2015 seinen Betrieb aufnehmen und an der Weiterentwicklung der Basistechnologien sowie an der Umsetzung der Lösungen arbeiten. Die Gründung einer bayerischen Community zum Thema Industrie 4.0 ist bereits Bestandteil des Antrags. Herausforderung wird sein, das Netzwerk über einen längeren Zeitraum zu mobilisieren.
- Schaffen von Demonstrations- und Testumgebungen: Im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung von Technologien und der Umsetzung von Lösungen werden in Bayern zusätzliche Demonstrations- und Testzentren benötigt. Hier müssen sich neue Entwicklungsergebnisse in nachgestellten industriellen Umgebungen beweisen, bevor sie in der Praxis eingesetzt werden können. Sogenannte „Living Labs“, die sich mit der Zeit anpassen und im Zeitverlauf immer wieder die aktuellsten Entwicklungsergebnisse präsentieren, scheinen hier ein vernünftiger Ansatz. Im Rahmen der Arbeiten am „Zentrum für die digitalisierte Produktion“ werden solche Zentren entstehen. Anwender und Technologieanbieter sind aufgerufen, sich inhaltlich an der Gestaltung und Weiterentwicklung dieser Demonstrations- und Testumgebungen zu beteiligen.

## 8 Zum revolutionären Charakter von Industrie 4.0

Das Gegenstromverfahren kann bei der Realisierung der Vision Industrie 4.0 helfen.

---

Im Rahmen der Workshops sowie der Interviews wurde immer wieder die Frage nach dem revolutionären Ansatz hinter „Industrie 4.0“ gestellt. Kern des Konzeptes ist, und das bestätigt die Literatur, die Dezentralisierung der Planungs- und Steuerungsfunktion. In der Produktion von morgen sollen sich intelligente Maschinen, Werkstücke, Zwischenprodukte, Behälter, Infrastrukturen selbst organisieren und den Menschen dabei unterstützen, das für ein Unternehmen bzw. für eine Versorgungskette betriebswirtschaftlich beste Ergebnis zu erzielen. Es ist unbestreitbar, dass hinter dieser Idee ein revolutionärer Gedanke steckt. Die Literatur beantwortet allerdings nicht die Frage, in welchen Schritten und in welcher Zeit diese Vision umgesetzt werden kann. Bisher wurde lediglich eine Vision skizziert, die es jetzt umzusetzen gilt.

Eine Möglichkeit, die Lücke zwischen Realität und Vision zu schließen, steckt hinter dem Konzept des „Gegenstromverfahrens“. Hierbei handelt es sich um eine Kombination aus „Top-Down“- und „Bottom-Up“-Vorgehensweisen, bei dem iterativ versucht wird, ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Im ersten, bereits abgeschlossenen Schritt wurde von wissenschaftlichen Einrichtungen, von Verbänden, unterstützt durch die Politik, eine erste, zugegebenermaßen noch sehr vage Vision der Produktion der Zukunft erstellt. Im Wesentlichen wurden aktuelle Trends und Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien identifiziert und miteinander zu einem Gesamtbild kombiniert. Das Ergebnis wurde vor dem Hintergrund des Anwendungsfelds der industriellen Produktion betrachtet. Auf dieser Basis wiederum konnte ein Zukunftsbild der Produktion von morgen „Top-Down“ gezeichnet und in Form von anwendungsorientierten Studien und wissenschaftlichen Papieren publiziert werden.

Für die vorliegende Analyse wurden diese Studien und Papiere ausgewertet und in eine allgemeinverständliche Form verpackt. Idee war, Praktiker „Bottom-Up“ mit den Ergebnissen zu konfrontieren und die Vision greifbarer zu machen. In den Workshops und Interviews wurde die Basisidee hinter Industrie 4.0 bzw. hinter CPS vorgestellt. Es wurde gefragt, mit welchen konkreten Problemen sich die Unternehmen in der Produktion auseinandersetzen und inwieweit man diese Probleme mit Hilfe des neuen Ansatzes lösen kann. Ergebnis sind die in der vorliegenden Studie dargestellten Bedarfe und Lösungen, die Aussagen zu praktischen Konsequenzen, zu Chancen und Risiken sowie zu Handlungsempfehlungen. Mit diesen Ergebnissen wird die Vision aus Sicht der Autoren deutlich klarer.

Aufgabe der Anwender und Technologieanbieter ist jetzt, die Lösungsansätze aufzugreifen, weiterzuentwickeln und nach Möglichkeit auch umzusetzen. Auf diese Weise entsteht ein neuer „State of the Art“, der in einem weiteren „Top-Down“-Schritt für eine weitere Konkretisierung der Vision Industrie 4.0 herangezogen werden kann, die dann wiederum zu weiteren neuen Anwendungen führen wird.



## Literaturverzeichnis

---

- [Aarts et al., 2001] Aarts, E., Harwig, R., Schuurmans, M. (2001): *Ambient Intelligence*. In: Denning, P.J. (2002): *The Invisible Future: The Seamless Integration Of Technology Into Everyday Life*, McGraw-Hill Companies, 2001
- [Bach et al., 2011] Bach, C. et al. (2011): *Machine-to-Machine-Kommunikation – eine Chance für die deutsche Industrie*, Bericht der AG2 Kompetenznetzwerk Machine-to-Machine-Kommunikation im Rahmen des nationalen IT-Gipfels, 2011, München.
- [Geisenberger / Broy, 2012] Geisenberger, E.; Broy, M. (2012): *agenda CPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech), München.
- [Hansen / Thiel 2012] Hansen, M.; Thiel, C. (2012): *Cyber-Physical Systems und Privatsphärenschutz*, Datenschutz und Datensicherheit – DuD 36(1): 26-30.
- [Ivanov / Sokolov, 2012] Ivanov, D.; Sokolov, B. (2012): *The inter-disciplinary modelling of supply chains in the context of collaborative multi -structural cyber-physical networks*, Journal of Manufacturing Technology Management 23(8): 976-997.
- [Kagermann et al., 2013] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung
- [Lee, 2009] Lee, E. A. (2009): *Computing Needs Time*, Communications of the ACM 52(5): S. 70-79.
- [Mattern, 2003] Mattern, F. (2003): *Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing*. In: Mattern, F. (2003): *Total Vernetzt*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- [Pflaum / Hupp, 2007] Pflaum, A.; Hupp, J. (2007): *Sensornetzwerke und Lokalisierungsverfahren als Schlüsseltechnologien für die intelligente logistische Umwelt von morgen*. In: Bullinger, H. J.; ten Hompel, M. (2007): *Internet der Dinge*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- [Pflaum / Papert, 2014] Pflaum, A; Papert, M. (2014): *Die Vernetzung der Welt als Chance für den Mittelstand*. In: Becker, W.; Ulrich, P. (2014): *Handbuch der mittelstandsorientierten Betriebswirtschaftslehre*, Veröffentlichung voraussichtlich im Winter 2014/2015.
- [Prockl / Pflaum, 2013] Prockl, G.; Pflaum, A. (2013): *Mehr Transparenz in der Versorgungskette durch das „Internet der Dinge“*. In: Stölzle, W.; Lieb, T. C. (2013): *Business Innovation in der Logistik – Chancen und Herausforderungen für Wissenschaft und Praxis*, Springer Gabler, Wiesbaden.
- [Sahingoz, 2013] Sahingoz, O. K. (2013): *Large scale wireless sensor networks with multi-level dynamic key management scheme*, Journal of Systems Architecture 59(9): S.801-807.

- [Sendler, 2013]** Sendler, U. (2013): Industrie 4.0 – *Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management)*. In: Sendler, U. (2013): *Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management)*, Springer-Vieweg, Berlin Heidelberg.
- [Spath et al., 2013]** Spath, S., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S. (2013): *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*, Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- [Verl et al. 2012]** Verl, A.; Lechler, A.; Schlechtendahl, J. (2012): *Glocalized cyber physical production systems*, Production Engineering 6(6): S.643-649.
- [Wegener, 2013]** Prof. Wegener, D. (2013): VDI Zukunftskongress Industrie 4.0 nach Friedel, C. (2013): *Industrie 4.0: Update für die Fabrik der Zukunft*, MaschinenMarkt (8), S.24-25.
- [Weiser et al., 1999]** Weiser, M., Gold, R., Brown, J.S. (1999): *The origins of ubiquitous computing at PARC in the late 1980s*. In: IBM Systems Journal, Vol 30, Nr. 4, 1999, S.693-696.
- [Wolf / Schulz, 2013]** Wolf, I., Schulz, S. (2013): *Industrie 4.0, Cyber Physical Systems in der Produktion*, Schriftenreihe des NRW.IKT, Wuppertal 2013.

## Abbildungsverzeichnis

---

<b>Abbildung 1</b>	Industrie 4.0 im Kontext revolutionärer Entwicklungen in der Produktion
<b>Abbildung 2</b>	Cyber-Physische Systeme als Bestandteil des Internets der Dinge
<b>Abbildung 3</b>	Technologische Trends hinter der digitalisierten Produktion
<b>Abbildung 4</b>	Basistechnologien des Internets der Dinge im CPS-Kontext
<b>Abbildung 5</b>	Grundidee hinter Mobile Computing
<b>Abbildung 6</b>	Basistechnologien von Industrie 4.0 im Kontext
<b>Abbildung 7</b>	Bausteine des Lösungsszenarios für eine Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion
<b>Abbildung 8</b>	Lösungsprofil für eine Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit in der Produktion
<b>Abbildung 9</b>	Bausteine des Lösungsszenarios für maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen
<b>Abbildung 10</b>	Lösungsprofil für maschinenübergreifende Koordination von Produktionsprozessen
<b>Abbildung 11</b>	Lösung für die Minimierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen
<b>Abbildung 12</b>	Lösungsprofil zur Minimierung des Energieverbrauchs von Maschinen und Anlagen
<b>Abbildung 13</b>	Bausteine des Lösungsszenarios für Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement
<b>Abbildung 14</b>	Lösungsszenario für Effizienzsteigerung im Werkzeugmanagement
<b>Abbildung 15</b>	Bausteine des Lösungsszenarios für die Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine
<b>Abbildung 16</b>	Lösungsprofil zur Vereinfachung informatorischer Prozesse an der Maschine
<b>Abbildung 17</b>	Lösung zur Steigerung von Flexibilität und Effizienz an Montagearbeitsplätzen mit Hilfe von CPS
<b>Abbildung 18</b>	Lösungsprofil zur Erhöhung von Flexibilität und Effizienz von Montageprozessen
<b>Abbildung 19</b>	Einsatz von Mobile Computing-Technologien beim Abbau von Informationsasymmetrien bei der Feinplanung in der Fertigung
<b>Abbildung 20</b>	Lösungsprofil zur Auflösung von Informationsasymmetrien bei manueller Feinplanung

<b>Abbildung 21</b>	Bausteine des Lösungsszenarios für die belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung
<b>Abbildung 22</b>	Lösungsprofil für die belastbare Datenbasis aus der Produktion für Planung und Steuerung
<b>Abbildung 23</b>	Bausteine des Lösungsszenarios für die kontinuierliche Verfolgung von Produktionsbehältern innerhalb der Produktionshalle
<b>Abbildung 24</b>	Lösungsprofil für die Lokalisierung von Produktionsbehältern
<b>Abbildung 25</b>	Nutzung von CPS-Technologien zur Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte
<b>Abbildung 26</b>	Lösungsprofil zur Steigerung der Effizienz innerbetrieblicher Transporte
<b>Abbildung 27</b>	Lösung für die Erfassung qualitätsrelevanter Parameter
<b>Abbildung 28</b>	Lösungsprofil zur durchgängigen Qualitätskontrolle entlang des Produktionsprozesses
<b>Abbildung 29</b>	Lösung für die Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen
<b>Abbildung 30</b>	Lösungsprofil für die Steigerung der Effizienz bei der Versorgung mit C-Teilen
<b>Abbildung 31</b>	Lösung für vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte
<b>Abbildung 32</b>	Lösungsprofil für vollständige Transparenz standortübergreifender Transporte
<b>Abbildung 33</b>	Lösung für die Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzdienstleistungen mit Hilfe von CPS
<b>Abbildung 34</b>	Lösungsprofil zur Erhöhung der Integrität von Produkten und Zusatzdienstleistungen mit Hilfe von CPS
<b>Abbildung 35</b>	Zum CPS-Charakter der im Projekt identifizierten und beschriebenen Lösungen
<b>Abbildung 36</b>	Zum CPS-Charakter der im Projekt identifizierten und im Detail beschriebenen Lösungen
<b>Abbildung 37</b>	Portfolio der gefundenen Anwendungen nach technischer Umsetzbarkeit und Marktattraktivität
<b>Abbildung 38</b>	Generische Roadmap für die Umsetzung der Vision Industrie 4.0 in mittelständischen Unternehmen der bayerischen Metall- und Elektroindustrie
<b>Abbildung 39</b>	Basisidee hinter dem Konzept der digitalen Fertigungsdokumente
<b>Abbildung 40</b>	Rollenmodell für die Entwicklung und Umsetzung von CPS-basierten Lösungen für Industrie 4.0

**Abbildung 41** Chancen und Risiken im Rahmen einer Umsetzung der Industrie 4.0 Vision

**Abbildung 42** Handlungsempfehlungen für die Praxis aus Nachfrage- und  
Angebotsperspektive

## Tabellenverzeichnis

---

<b>Tabelle 1</b>	Definitionen des Begriffs „Industrie 4.0“ aus Studien
<b>Tabelle 2</b>	Beispiele existierender CPS-Definitionsansätze
<b>Tabelle 3</b>	Funktionen Cyber-Physischer Systeme aus der wissenschaftlichen Literatur
<b>Tabelle 4</b>	Abgrenzung weiterer Begriffe rund um „Industrie 4.0“ und „CPS“
<b>Tabelle 5</b>	Übersicht der gefundenen Industrie 4.0 Anwendungen

## Autoren

---



Prof. Dr. Alexander Pflaum  
Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS  
Lehrstuhl für BWL, insbesondere Supply Chain Management  
Otto-Friedrich-Universität Bamberg



Christoph Hohmann  
Gruppe Technologien  
Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS



Bettina Hofmann  
Gruppe Service-Entwicklung  
Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS



Dr. Julia Boppert  
Gruppe Technologien  
Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS



Christoph Klötzer  
Lehrstuhl für BWL, insbesondere Supply Chain Management  
Otto-Friedrich-Universität Bamberg



## **Ansprechpartner**

### **Dirk Pollert**

stv. Hauptgeschäftsführer

Telefon 089-551 78-314  
Telefax 089-551 78-315  
dirk.pollert@baymevbm.de

### **Dr. Georg Liedl**

KME – Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH

Telefon 089-54 84-21 40  
Telefax 089-54 84-21 49  
georg.liedl@kme-mittelstand.de



## Impressum

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Rechteinhaber unzulässig und strafbar.

Durch die Verwendung geschützter Kennzeichen (z. B. Marken, geschäftliche Bezeichnungen, Werktitel) wird kein Recht eingeräumt, diese Kennzeichen zu nutzen. Für die Vollständigkeit, Aktualität und Richtigkeit der in dem Werk enthaltenen Inhalte sowie für Maßnahmen, die auf Grundlage der Inhalte durchgeführt werden, wird keine Haftung übernommen.

Sollte trotz aller Sorgfalt ein fremdes Urheber- oder sonstiges Recht verletzt worden sein, wird der Inhaber des Rechtes um Kontaktaufnahme an den Herausgeber gebeten.

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich grundsätzlich sowohl auf die weibliche als auch auf die männliche Form. Zur besseren Lesbarkeit wurde meist auf die zusätzliche Bezeichnung in weiblicher Form verzichtet.

Herausgeber:

**bayme**  
Bayerischer Unternehmensverband  
Metall und Elektro e. V.

**vbm**  
Verband der Bayerischen Metall-  
und Elektro-Industrie e. V.

Max-Joseph-Straße 5  
80333 München

[www.baymevbm.de](http://www.baymevbm.de)

Verfasser:

Prof. Dr. rer. pol. Dipl.-Ing.  
Alexander Pflaum  
Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltun-  
gen IIS  
Nordostpark 93  
90411 Nürnberg  
[www.iis.fraunhofer.de](http://www.iis.fraunhofer.de)

Lehrstuhl für BWL, insbesondere Supply  
Chain Management  
Otto-Friedrich-Universität Bamberg  
Feldkirchenstraße 21  
96052 Bamberg  
[www.uni-bamberg.de](http://www.uni-bamberg.de)