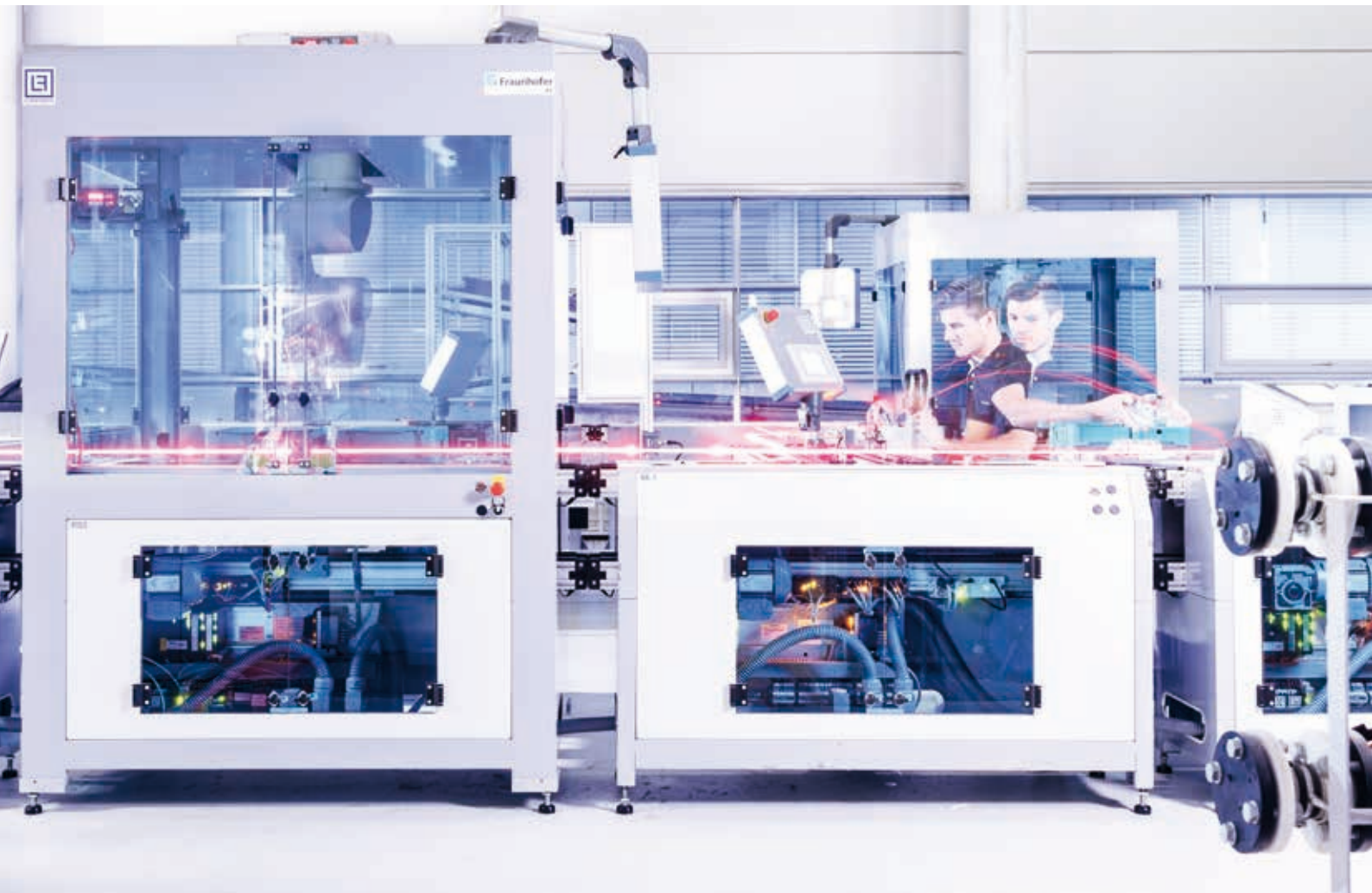


STRUKTURSTUDIE „INDUSTRIE 4.0 FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG“

Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR FINANZEN UND WIRTSCHAFT



STRUKTURSTUDIE „INDUSTRIE 4.0 FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG“

Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg

INHALT

Vorwort	5
Kernergebnisse	6
1. Problemstellung und Zielsetzung der Studie	7
2. Industrie 4.0	8
2.1 Lebenszyklusorientierung	9
2.2 Erfassung und Verfügbarkeit von lebenslaufbegleitenden Informationen mit Cyber-Physical Systems.....	10
2.2.1 Grundlagen	10
2.2.2 Aufbau von Cyber-Physical Systems	13
2.2.3 Anforderungen an CPS-Integratoren.....	22
2.3 Geschäftsmodelle.....	23
3. Baden-Württemberg auf dem Weg zu Industrie 4.0 – Kompetenzen und Akteure	26
3.1 CPS-Befähiger – Smarte Sensorik	28
3.2 CPS-Befähiger – Smarte Aktorik	28
3.3 CPS-Befähiger – Benutzerschnittstellen	30
3.4 CPS-Befähiger – Software für Forschung, Entwicklung, Herstellung, Betrieb und Recycling.....	32
3.5 CPS-Befähiger – IT-Infrastruktur und IT-Sicherheit.....	34
3.6 CPS-Integratoren	34
4. Handlungsempfehlungen	36
4.1 Einsatzbereiche einer Industrie 4.0-Anwendung.....	38
4.2 Funktionen von Industrie 4.0-Anwendungen	38
4.3 Schnittstellen bei Industrie 4.0-Anwendungen	40
5. Zusammenfassung	42
6. Glossar	43
7. Literaturverzeichnis	45
8. Abkürzungsverzeichnis Firmennamen.....	53
Impressum	55

VORWORT

Unsere wettbewerbsfähige Industrie mit ihren hochinnovativen Leitbranchen Maschinen-, Fahrzeugbau, Elektroindustrie und IT-Wirtschaft hat Baden-Württemberg zu einem der international führenden Wirtschaftsstandorte und zur High-Tech-Region Nummer Eins in Europa gemacht. Nicht zuletzt liegt dies in der Fähigkeit unserer Industrie begründet, komplexe industrielle Prozesse zu steuern und gezielt technologische Innovationen in der Produktion umzusetzen. Für den zukünftigen Erfolg des Standorts Baden-Württemberg ist es notwendig, diesen Prozess weiter aktiv mit zu gestalten und bei den Entwicklungen ganz vorne mit dabei zu sein.



Einer der Megatrends in der Produktion ist das Thema Industrie 4.0 – die Bezeichnung steht für das vertiefte Zusammenwachsen von Maschinenbau und Elektrotechnik mit der Informationstechnologie zu einer intelligent vernetzten Produktionsweise in den Fabriken der Zukunft. Dabei geht es auch um die intelligente Zusammenarbeit verschiedener Branchen, die optimierte Wertschöpfungsketten und eine größere Ressourceneffizienz ermöglicht. Zentrale Themen sind hierfür neue Arbeitswelten, Sicherheit, Standardisierung und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Die Produktionswelt in den Fabriken der Zukunft wird flexibler, effizienter und individueller. Fertigungsprozesse werden zunehmend autonom gesteuert und optimiert. Material, Maschinen und logistische Systeme werden direkt miteinander kommunizieren, Informationen austauschen und Entscheidungen für den Menschen vorbereiten oder sogar selbst treffen. Dabei wird das Internet die Akteure direkt miteinander verbinden. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bleiben die zentralen Faktoren in der Produktion, denn Industrie 4.0 wird nur im Zusammenspiel von Technik, Organisation und Menschen gelingen.

Baden-Württemberg ist für diesen Wandel gut aufgestellt. Bereits heute gibt es zahlreiche Aktivitäten im Land, die gemeinsam zur Entwicklung branchenübergreifender Lösungsansätze beitragen. Die vorliegende Studie soll einen technisch orientierten Einstieg in das komplexe Themenfeld ermöglichen und eine landesweite Auswahl von Akteuren und Aktivitäten vorstellen. Ich wünsche mir, dass sie ebenfalls den intensiven Austausch und Wissenstransfer zwischen Forschung, Industrie und Netzwerken zum Thema Industrie 4.0 weiter anregt und fördert.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nils Schmid'.

Dr. Nils Schmid MdL
Stellvertretender Ministerpräsident und
Minister für Finanzen und Wirtschaft des Landes Baden-Württemberg

KERNERGEBNISSE

Die Unternehmen in Baden-Württemberg sind einem immer stärkeren Druck ausgesetzt, sich schnell an die aktuelle Situation anzupassen, damit sie weiter im globalen Wettbewerb bestehen können. Die geforderte Anpassungsfähigkeit betrifft alle Ebenen, von den Produktionsnetzwerken, über die Beschäftigten, bis zu den Maschinen und den technischen Prozessen. Die Verfügbarkeit von aktuellen Informationen über den gesamten Lebenslauf eines Produktes ist einer der Schlüssel, damit alle an der Wertschöpfung Beteiligten (Menschen, Maschinen und Produkte) ihre Aufgaben optimiert ausführen können. Der Fortschritt in der Mechatronik, Mikrosystemtechnik, der Elektronik und der Kommunikationstechnik der vergangenen Jahre ermöglicht den wirtschaftlichen Einsatz von vernetzter Sensorik und Aktorik in Wertschöpfungsnetzwerken. Mit der Einführung dieser Technologien in die Produktion hat eine Entwicklung begonnen, die die Industrie nachhaltig verändert.

Industrie 4.0 ist eine sehr vielschichtige und interdisziplinäre Thematik. Der Einsatz von Industrie 4.0-Anwendungen ist prinzipiell nicht auf spezielle Industriezweige beschränkt. Im Fokus dieser Studie steht die klassische produzierende Industrie ohne das Baugewerbe. Auf technischer Ebene werden die Ansätze „Cyber-Physical Systems (CPS)“ und „Internet der Dinge und Dienste“, welche die Informationen in der physischen und digitalen Welt vernetzen, synchronisieren und den Menschen unterstützen, betrachtet.

Relevante technische Bereiche sind hier insbesondere der Maschinen- und Anlagenbau, die Automatisierungstechnik und Mechatronik, die Mikrosystemtechnik, die Elektronik, die Netzwerk- und Kommunikationstechnik inklusive der IT-Sicherheit sowie die Software für produzierende Unternehmen. Für eine erfolgreiche Umsetzung in der Anwendung sind unternehmensnahe Dienstleistungen, wie beispielsweise die technologische Entwicklung, die Einführung, die Instandhaltung oder der Service und die technologische Aufrüstung nichttechnische Bereiche wie beispielsweise die Schulung und Weiterbildung zu involvieren.

Diese Vielschichtigkeit und Interdisziplinarität stellt die Unternehmen, sowohl bei der Einführung als Anwender als auch als Anbieter, vor große Herausforderungen. Gleichzeitig können sich dadurch für das einzelne Unternehmen neue Wettbewerbsvorteile ergeben, beispielsweise durch eine höhere Produktivität in der

Produktion oder neue Alleinstellungsmerkmale bei Produkten durch weitere begleitende Dienstleistungen.

Als Technologiestandort für Anbieter von Industrie 4.0-Anwendungen ist Baden-Württemberg in einer guten Ausgangsposition. Aufgrund seiner tiefen Verwurzelung im Maschinen- und Anlagenbau und seinen hohen Kompetenzen bei eingebetteten Systemen und Software verfügt das Land über alle nötigen Voraussetzungen. Insbesondere in den Bereichen Sensorik und Aktorik sind zahlreiche Kompetenzen im Bereich der Mikrosystemtechnik und Mechatronik vorhanden. Schon heute arbeiten viele Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten im Land in Projekten und Initiativen an den erforderlichen Technologien. Für den Standort Baden-Württemberg ist es wichtig, diesen Vorteil zu nutzen und auszubauen. Konkret bedeutet dies, dass auch kleine und mittlere Unternehmen als wichtige Innovationstreiber des verarbeitenden Gewerbes das Thema aufgreifen müssen. Diese müssen beim Einstieg in Industrie 4.0-Anwendungen sowohl auf Anwender als auch auf Anbieterseite unterstützt werden. Die vorliegende Studie soll hierzu einen Beitrag leisten. Sie vermittelt die Grundlagen, zeigt die Potenziale von Industrie 4.0 auf und stellt relevante Akteure und Kompetenzen dar. Sie soll insbesondere kleineren und mittleren Unternehmen den Einstieg in Industrie 4.0 sowohl auf Anwender- als auch auf Anbieterseite erleichtern.

Kapitel 1

PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DER STUDIE

Die starke produzierende Industrie ist einer der Eckpfeiler der Wirtschaft Baden-Württembergs¹. Zahlreiche nationale und internationale Marktführer haben hier ihren Sitz.

Der zunehmende nationale und weltweite Wettbewerb erfordert eine ständige Anpassung der Produkte und der Fabriken an die aktuelle Marktsituation, Produktivitätsverbesserungen und marktkonforme Innovationen, um die Spitzenpositionen halten und festigen zu können. Neben der Forschung und Entwicklung ist eine wandlungsfähige Produktion dabei ein zentraler Bestandteil. Hier sind als Befähiger (Enabler) und Integratoren der Maschinen- und Anlagenbau, die Automatisierungstechnik, die industrielle Messtechnik und die Produktions-IT zur Ausrüstung der Fabriken von besonderer Bedeutung.

Wesentliche Grundlage, um schnelle Anpassungen durchzuführen, ist die Verfügbarkeit von aktuellen und richtigen Informationen zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort im Lebenslauf eines Produktes. Der Lebenslauf eines Produktes reicht von der Forschung und Entwicklung, über die Herstellung, den Betrieb und Instandhaltung bis hin zum Recycling.

Darauf aufbauend können alle an der Wertschöpfung Beteiligten – Menschen, Maschinen und Produkte – entsprechend ihre Aufgaben ausführen, angepasst und optimiert an Vorgaben und die aktuelle Situation. Der Schlüssel dazu ist eine weitreichende Vernetzung aller Beteiligten während des Lebenslaufs eines Produktes. Auf technischer Ebene stellen sogenannte, „Cyber-Physical Systeme (CPS)“ und das „Internet der Dinge und Dienste“ Ansatzpunkte dar, um dies prinzipiell umzusetzen. CPS bestehen aus Sensorik, Aktorik, Funktionen, welche die Aufgaben logisch umsetzen, Benutzer- und Kommunikationsschnittstellen. Ziel ist der Aufbau intelligenter Wertschöpfungsnetzwerke. Erste Entwicklungen in diese Richtung haben bereits damit begonnen, die Fabriken nachhaltig zu verändern. Dieser Prozess wird auch als die vierte industrielle Revolution – Industrie 4.0 – bezeichnet.²

In der Praxis wird der Begriff Industrie 4.0 nicht nur für den Prozess an sich, sondern häufig auch für Themen und Anwendungen in diesem Zusammenhang verwendet.

Doch wie kann Industrie 4.0 konkret in einem Unternehmen ausgestaltet werden?

Es ist schwer, aus den abstrakten Visionen und Konzepten konkrete Strategien und Projekte zum Thema Industrie 4.0 abzuleiten. Diese Studie soll Entscheidern und Projektverantwortlichen eine Hilfestellung sein, Projekte in diesem Bereich anzugehen. Sie soll einen Überblick über Industrie 4.0-relevante Themen und Fragestellungen geben.

Allgemein kann zwischen zwei Grundszenarien unterschieden werden, zum einen die Einführung von Industrie 4.0 in die eigene Produktion, zum anderen die Entwicklung von Industrie 4.0-fähigen Produkten. Daraus ergeben sich mehrere Fragestellungen, die im Rahmen dieser Studie beantwortet werden sollen:

- Was sind die Grundlagen von Industrie 4.0?
- Welche Entwicklungsmöglichkeiten und neue Geschäftsmodelle existieren?
- Welche Akteure und Kompetenzen in Form von (Teil-)Produkten, Dienstleistungen und Forschung sind in Baden-Württemberg bereits vorhanden?
- Welche technologischen Kompetenzen werden zur Einführung von Industrie 4.0 in die Produktion und zum Anbieten Industrie 4.0-fähiger Produkte benötigt?

Der Einsatz von Industrie 4.0-Anwendungen ist prinzipiell nicht auf spezielle Industriezweige beschränkt, im Fokus dieser Studie steht jedoch die klassische produzierende Industrie ohne das Baugewerbe.

1 vgl. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012

2 vgl. Kagermann et al. 2013

Kapitel 2

INDUSTRIE 4.0

Das Thema Industrie 4.0 ist vielschichtig und interdisziplinär. Bereits für die rein technische Umsetzung sind neben Kompetenzen im Maschinenbau auch Fähigkeiten in den Bereichen Elektrotechnik, Software, Informations- und Kommunikationstechnik erforderlich. Für die Umsetzung auf organisatorischer Ebene sind weitere Bereiche wie die Arbeitsorganisation einzubeziehen. Gerade diese Interdisziplinarität macht das Thema komplex. In den folgenden Kapiteln werden daher die Kernthemen und Konzepte strukturiert erklärt. Im Rahmen dieser Studie wird die Definition des Begriffs Industrie 4.0 der zugehörigen Plattform verwendet. Sie wurde von den großen Industrieverbänden BITKOM, VDMA und ZVEI gegründet.

Industrie 4.0 ist keine plötzliche oder völlig neue Entwicklung. Daher lohnt sich ein Blick in die Vergangenheit, um die zukünftigen Entwicklungen besser zu verstehen. Industrie 4.0 baut hier auf den

Definition Industrie 4.0

„Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.“³

vorausgegangenen Entwicklungen aus der Mikrosystemtechnik, Automatisierung und Produktions-IT, wie Produktlebenszyklusmanagement, digitale Fabrik und Fabrikbetrieb, auf. Neu ist, dass der Begriff einen Rahmen bietet, um bisher abgegrenzt verlaufende Entwicklungstrends aus Produktion, Informations- und Kommunikationstechnik zu vereinigen. Entscheidende Teilaspekte sind hier im Unterschied zu vorherigen Entwicklungen:

- Eine ganzheitliche Herangehensweise ausgehend vom Produktlebenszyklus
- Die echtzeitnahe Synchronisierung der physischen Welt mit den Modellen in der digitalen Welt
- Eine flexible und sichere Vernetzung der Informationen in unterschiedlichen Werkzeugen und Systemen

Hinzu kommen neue Schlüsseltechnologien (Enabler) aus der Informations- und Kommunikationstechnik wie Service-Orientierte Softwarearchitekturen (SOA), das Internet of Things, Breitband- und Mobilkommunikationstechnologien, Apps und die Verlagerung von Software in die Cloud. Sogenannte Cyber-Physical Systems oder für die Produktion spezialisierte Cyber-Physical Systems bilden hier den verbindenden Ansatz. Sie ermöglichen die wirtschaftliche Umsetzung als Basis für die Verfügbarkeit von Informationen über den Lebenslauf eines Produktes. Außerdem können Industrie 4.0-Anwendungen, welche diese Schlüsseltechnologien verwenden, ihre Aufgaben angepasst und optimiert an Vorgaben und die aktuelle Situation ausführen.

Daraus leiten sich zwei grundsätzliche Aspekte einer Industrie 4.0-Anwendung ab, welche in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt werden:

- Das Lebenszyklusmodell zur ganzheitlichen Betrachtung und Einordnung einer Industrie 4.0-Anwendung.
- Cyber-Physical Systems (CPS) als technischer Ansatz für Industrie 4.0-Anwendungen zur Informationserfassung und -verarbeitung sowie zur Vernetzung der Lebenszyklusphasen.

3 Plattform Industrie 4.0 2013

2.1 LEBENSZYKLUSORIENTIERUNG

Die Verfügbarkeit aller Informationen eines Produktes von der Entwicklung, über die Fertigung, bis zur Verwendung beim Kunden und schließlich zum Recycling, ist ein wichtiger Aspekt der vierten industriellen Revolution. Dieser Ansatz bildet einen Rahmen zur Abbildung von Informationen und Prozessen entlang der Lebenszyklen von Produkten, Fabriken und Technologien. Dieser ermöglicht es, sowohl herkömmliche Anwendungen als auch zukünftige Industrie 4.0-Anwendungen einzuordnen. Daher sollen im Folgenden die Lebenszyklusphasen, die relevanten Daten sowie das Product Lifecycle Management (PLM) kurz erläutert werden.

Der Produktlebenslauf beginnt mit der Produktentstehungsphase. Ziel dieses Lebenszyklusabschnitts ist die Entwicklung eines serienreifen Produkts, wobei die Leistungsziele Kundennutzen, Kosten, Zeit und Qualität über den gesamten Lebenszyklus optimiert werden sollen. Dazu werden im Verlauf der Phase Markt- und Kundenanforderungen untersucht und mit technischen Trends abgeglichen.⁴ Nach Abschluss der Entstehungsphase tritt das Erzeugnis in die Nutzungsphase ein, wobei erst hier, mit der Herstellung und Nutzung des Produkts, die eigentliche Wertschöpfung beginnt. Um in diesem Zusammenhang die Rentabilität eines Produktes immer weiter zu erhöhen, werden neue Methoden und Strategien zur Kostensenkung und Nutzensteigerung entwickelt.⁵ Im letzten Lebenszyklusabschnitt, der Entsorgungsphase, wird das

Produkt einem Downcycling, einer Aufarbeitung oder einem Upcycling zugeführt. Bei einem Downcycling werden die Produkte in ihre Grundbestandteile zerlegt und gegebenenfalls einer weiterführenden Wertschöpfung dauerhaft entzogen. Im Gegensatz dazu beschreibt Upcycling die Wiederverwendung auf einem höheren Niveau.⁶ Beispielsweise kann eine Werkzeugmaschine modernisiert werden. Durch einen Austausch von Komponenten wie der Steuerung steigt der Wert der Maschine über den des ursprünglichen Neuprodukts.⁷ An dieser Stelle eröffnet die Lebenszyklusorientierung beispielsweise den Herstellern von Werkzeugmaschinen weitere Geschäftsmodelle in der Modernisierung veralteter Maschinen.

Beim Lebenszyklusmodell handelt es sich um einen universellen Ansatz, der sich neben Produkten auch auf viele weitere Bereiche anwenden lässt. Schenk und Wirth oder Westkämper übertragen den Lebenszyklusansatz auf die Fabrik. Er umfasst die Phasen Entwicklung, Aufbau, Anlauf, Betrieb und Abbau.^{8,9}

4 vgl. Westkämper 2006

5 vgl. Bullinger et al. 2009

6 vgl. Bullinger et al. 2009

7 vgl. Bullinger et al. 2009

8 vgl. Schenk und Wirth 2004

9 vgl. Westkämper et al. 2013

10 Quelle: Schuh 2006

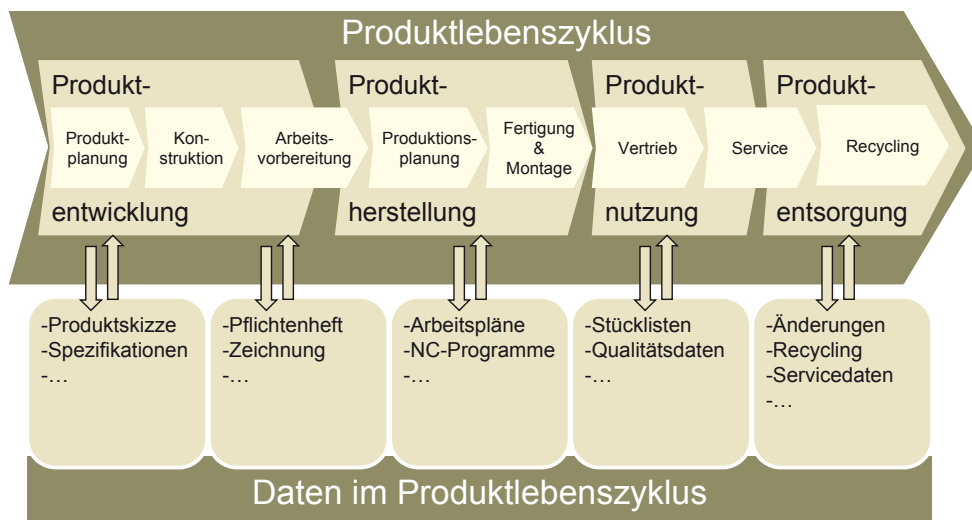


Abbildung 1:
Daten im Produktlebenszyklus¹⁰

Kapitel 2

Product Lifecycle Management (PLM) ist ein Konzept zur Organisation und Verwaltung aller Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus mithilfe von Informationstechnologie. Ziel ist die Bereitstellung der richtigen Information, zum richtigen Zeitpunkt, in der richtigen Form und an der richtigen Stelle.¹¹ Das PLM hat dabei zwei Kernaufgaben. Als Erstes soll PLM die über den Produktlebenszyklus entstehenden Daten im Rahmen des Produktdatenmanagements abteilungs- und standortübergreifend verwalten, speichern und bereitstellen. Es wird hier zwischen der virtuellen und der realen Produktentstehung, also zwischen Entwicklung und Produktion unterschieden. In der Produktentwicklung wird das Produkt spezifiziert, wobei Geometriedaten oder Arbeitspläne erzeugt werden. In der Produktherstellung werden die bisher gewonnenen Daten durch ERP- und PPS-Systeme zur Planung und Kontrolle von Fertigungsprozessen bereitgestellt. Gleichzeitig werden Produktdaten durch die Produktion und den Vertrieb erstellt und im System gespeichert. Die zweite Kernaufgabe des Product Lifecycle Management ist es, die für die Umsetzung benötigten Anwendungen, wie CAD-Software oder PPS-System, als ganzheitliches System in die Organisationseinheiten und Prozesse zu integrieren. Eine große Herausforderung ist die Beherrschung der Daten- und Systemheterogenität. Ziel ist die Gewährleistung eines durchgängigen Informationsflusses während des gesamten Produktlebenszyklus.¹² Abbildung 1 (Seite 9) fasst die gewonnenen Erkenntnisse zusammen. Sie gibt einen Überblick über die Phasen des Produktlebenszyklus und die dabei eingebundenen Unternehmensbereiche.

2.2 ERFASSUNG UND VERFÜGBARKEIT VON LEBENSLAUFBEGLEITENDEN INFORMATIONEN MIT CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Cyber-Physical Systems (CPS) sind die technische Basis der vierten industriellen Revolution. Sie stellen eine Brücke zwischen der physischen, uns umgebenden und der digitalen Welt dar und sind das Ergebnis der Durchdringung unseres täglichen Lebens mit Informationstechnologie. In den Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 definiert die Plattform Industrie 4.0 Cyber-Physical Systems.

¹¹ vgl. Arnold 2011

¹² vgl. Schuh 2006

¹³ Kagermann et al. 2013

„**Cyber-Physical Systems** umfassen eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen. Cyber-Physical Systems sind offene soziotechnische Systeme und ermöglichen eine Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften.“¹³

Wie lassen sich Cyber-Physical Systems nun in der Praxis umsetzen?

Um diese Frage zu klären, ist es notwendig, sehr viel tiefer als in den bisherigen Diskussionen anzusetzen. Daher wird im Folgenden zunächst auf die Mechatronik und auf die Struktur des mechatronischen Systems eingegangen. Im weiteren Verlauf werden das Internet der Dinge und Dienste sowie die Cyber-Physical Systems beschrieben. Nachdem ein Überblick über den Aufbau und die Funktionsweise eines solchen Systems gegeben wurde, werden die einzelnen Bestandteile ausführlicher vorgestellt. Die Betrachtung beginnt bei Sensoren und fährt entlang des Informationsflusses mit Funktionen, Aktoren, Benutzer- und Kommunikationsschnittstellen fort.

2.2.1 Grundlagen

Das Fachgebiet Mechatronik setzt sich aus Themen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informationstechnik zusammen. Ziel dieser interdisziplinären Ingenieurwissenschaft ist es, Synergien zwischen diesen Technologiebereichen zu schaffen und dadurch optimierte industrielle Prozesse und Produkte zu nutzen. Das mechatronische System übersetzt das Zusammenspiel dieser Disziplinen in ein praktisch anwendbares System, welches zur Abbildung eines beliebigen physikalischen Systems imstande ist. Meist handelt es sich dabei jedoch um eine mechanische, elektro-

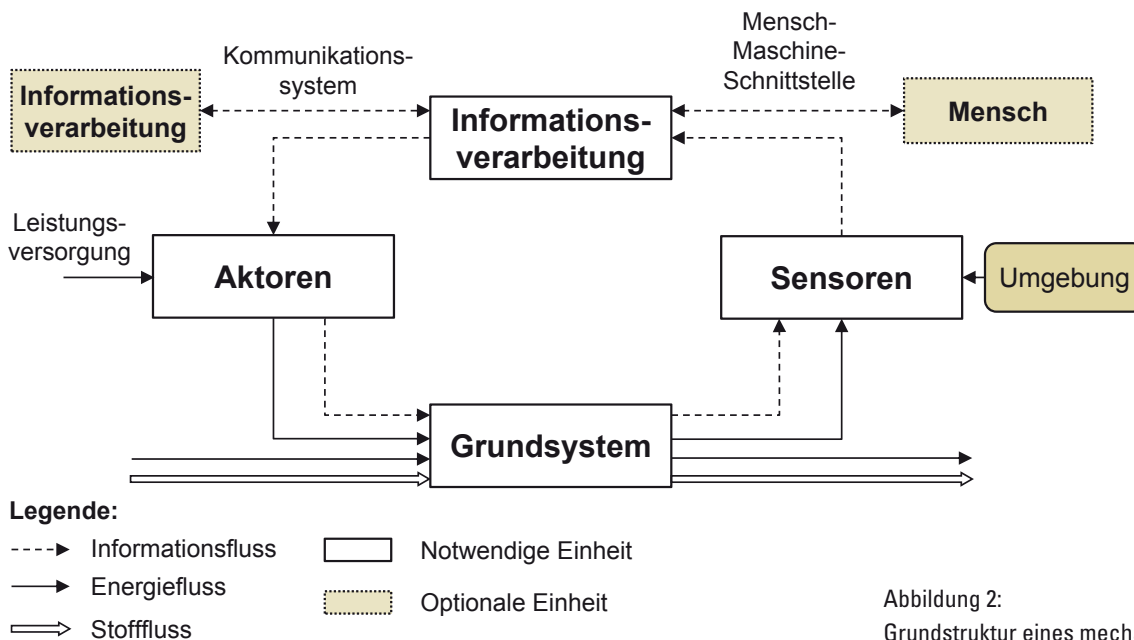


Abbildung 2:
Grundstruktur eines mechatronischen Systems¹⁵

mechanische, hydraulische oder pneumatische Struktur.¹⁴ Abbildung 2 zeigt den typischen Aufbau eines mechatronischen Systems. Im unteren Bereich der Abbildung befindet sich das Grundsystem, wie beispielsweise die Mechanik. Mit Sensoren können Veränderungen an diesem Grundsystem oder der Umwelt erfasst und an die Informationsverarbeitung weitergeleitet werden. Dieser Mikroprozessor wertet die Signale mithilfe von vordefinierten Programmen aus und leitet Maßnahmen ab. Die Ergebnisse werden an die Aktoren weitergegeben. Aufgabe dieser Komponente ist es, die physische Welt entsprechend der Vorgaben der Informationsverarbeitung zu verändern. Hierzu wird eine Hilfsenergie benötigt. Es kann sich beispielsweise um einen Elektromotor handeln, der mithilfe einer Energiequelle eine dem Eingangssignal entsprechende Bewegung ausführt. Durch den Einsatz von herstellereinspezifischen Schnittstellen ist das System zudem in der Lage, die gewonnenen Informationen an den Menschen oder andere mechatronische Systeme weiterzuleiten.

Die Fortschritte in der Elektronik und der Mikrosystemtechnik in den vergangenen Jahren ermöglichen eine Miniaturisierung und Integration von Funktionen. Sensoren werden zu integrierten

Systemen, die neben dem eigentlichen Messwertempfänger zur weiteren Signalaufbereitung auch einen Analog/Digital-Umsetzer und einen Mikroprozessor in einem Gehäuse beherbergen. Hierdurch wird es möglich, analoge physikalische Messgrößen wie Druck oder Temperatur aufzunehmen, sie zu digitalisieren und die Daten sofort zu verarbeiten.¹⁶ Smarte Aktoren können durch digitale Signale direkt angesteuert werden. Im Aktor werden die digitalen in analoge Signale umgewandelt, verstärkt und als Kräfte aufgebracht oder in Bewegungen umgewandelt.¹⁷ Abbildung 3 verdeutlicht das Prinzip am Beispiel eines Sensors. Dieser kann nicht nur Messwerte aufnehmen, sondern sie auch in digitale Signale umformen und mithilfe eines Mikroprozessors anhand vordefinierter Programme auswerten. Sogenannte MEMS¹⁸ vereinigen Messwertempfänger, Signalaufbereitung, teilweise auch Regelfunktionen sowie eine Kommunikationsschnittstelle in einem Gehäuse.

¹⁴ vgl. VDI 2206

¹⁵ Quelle: VDI 2206

¹⁶ vgl. VDI 2206

¹⁷ vgl. VDI 2206

¹⁸ Micro-Electro-Mechanical System

Kapitel 2

Typische Beispiele für MEMS-Sensoren sind Beschleunigungssensoren, Gyroskope oder Mikrophone. Ein weiterer Trend ist es, Funktionen zur Signalaufbereitung, Regelung und Kommunikation mit flexibel programmierbaren Prozessoren abzudecken. Beispiele sind hier rekonfigurierbare FPGAs¹⁹, Mikrocontroller oder SoC²⁰-Prozessoren, die in Smartphones zum Einsatz kommen. Um die Vernetzung der einzelnen Bestandteile von CPS weiter zu erleichtern, ist zu erwarten, dass smarte Sensoren und Aktoren mehr und mehr mit IP-fähigen Schnittstellen ausgestattet werden²¹.

Rekonfigurierbare FPGAs, Mikrocontroller oder SoC-Prozessoren sind gleichzeitig Schlüsselbestandteil sogenannter eingebetteter Systeme (embedded systems), welche die erste Entwicklungsstufe auf dem Weg zu einem CPS darstellen. Diese enge Verknüpfung von Hard- und Softwarekomponenten hat das Ziel ein zuvor definiertes System zu steuern, zu regeln oder zu überwachen.²²

Einer der Hauptvorteile der Einbettung liegt darin, dass Entscheidungen dezentral getroffen werden können. Hierzu werden zuvor Regeln für die Steuerung des Systems innerhalb eines Programms definiert. Die Größe, die Kosten und der Energiebedarf sind hier bestimmende Kriterien in der Auslegung, die über die Leistungsfähigkeit eines eingebetteten Systems entscheiden. Deren Einsatzbereiche liegen heute beispielsweise im Kraftfahrzeugbereich oder der Automatisierungstechnik. In den vergangenen Jahren hat die Leistungsfähigkeit von eingebetteten Systemen stark zugenommen, bei gleichzeitig fallenden Preisen. Damit werden neue Einsatzbereiche wirtschaftlich. Es ist davon auszugehen, dass dieser Trend in den nächsten Jahren weiter anhalten wird.

Den letzten Entwicklungsschritt auf dem Weg hin zu Cyber-Physical Systems leitet das Internet der Dinge und Dienste ein. Sein Ursprung liegt im Ubiquitous Computing, welches 1991 erstmals von Mark Weiser eingeführt wurde. In seiner Vision beschreibt er,

19 Field Programmable Gate Array

20 System-on-a-Chip

21 vgl. Bauernhansl 2013

22 vgl. BITKOM 2010

23 vgl. Weiser 1991

24 vgl. Fleisch und Mattern 2005

25 vgl. Nof 2009

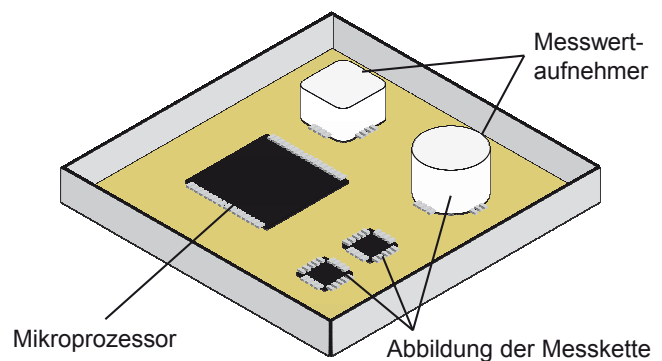


Abbildung 3: Sensor als eingebettetes System

wie Computer in Zukunft alle Lebensbereiche des Menschen durchdringen. Ohne die volle Aufmerksamkeit des Menschen zu erfordern, fügen sie sich in die Umgebung ein. Sie sind etwa mit einem Hinweisschild vergleichbar, welches vom Menschen beiläufig registriert wird.²³ Auf die Produktion übertragen bedeutet dies beispielsweise den verstärkten Einsatz multimodaler Benutzerschnittstellen und mobiler Endgeräte.

In den vergangenen Jahren sind die Preise für Mikroelektronik und Mikrosysteme, Sensorik und Aktorik stark gesunken. Zudem konnten große Fortschritte in der Verkleinerung und Steigerung der Leistungsfähigkeit von Komponenten erzielt werden. Hierdurch wird es nun erstmals möglich, Computer in alle Bereiche des Lebens zu integrieren. Das bedeutet, dass auch Produkte, die zuvor gar nicht mit Elektronik in Verbindung gebracht wurden, intelligente Features erhalten und dadurch einen höheren Nutzen bieten. Durch die zunehmende Vernetzung dieser sogenannten verteilten Systeme können die Objekte einer Produktion über das Internet miteinander kommunizieren. Es entsteht das „Internet der Dinge“.²⁴ Viele neue Entwicklungen fanden bisher vor allem im Konsumgüterbereich Anwendung. Dort gibt es mit Wireless LAN, Bluetooth, USB und Ethernet bereits weitverbreitete, standardisierte Schnittstellen für drahtgebundene und drahtlose Datenübertragung in verschiedenen Einsatzbereichen. Es ist abzusehen, dass sich diese Schnittstellen auch mehr und mehr in angepasster Form in der Industrie durchsetzen werden.²⁵ Ein weiterer Trend geht zur

stärkeren Verfügbarkeit und Nutzung von Breitbandanschlüssen und LTE. Durch den Einsatz dieser neuen Kommunikationstechnologien wird der Einsatz neuartiger Softwarelösungen in der Cloud möglich.

2.2.2 Aufbau von Cyber-Physical Systems

Ein Cyber-Physical System ähnelt in seinem grundsätzlichen Aufbau stark dem mechatronischen System. Es verfügt über Sensoren, Aktoren, eine Benutzerschnittstelle und die sogenannten Funktionen, welche alle Aufgaben der Datenaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe erfüllen. Sensoren und Aktoren sind, anders als im mechatronischen System, smarte in das CPS eingebettete Systeme. Neben der eigentlichen Grundfunktion eines Sensors oder Aktors verfügen sie über höherwertigere Funktionen beispielsweise zur Signalverarbeitung oder Regelung, sowie IP-fähige Kommunikationsschnittstellen wie Ethernet zur Vernetzung. Genauere Informationen zu diesen Komponenten finden sich in den Abschnitten smarte Sensoren bzw. smarte Aktoren.

Die Kopplung und ständige Vernetzung der Komponenten des Cyber-Physical Systems mit der Informationsverarbeitung erfolgt auch im herkömmlichen mechatronischen System. Die eigentliche Neuheit liegt in der Nutzung des Internets, Software Services und in der Verwendung von offenen und globalen Standards. Damit wird es ermöglicht, die Information für unterschiedlichste Anwendungen, in unterschiedlichsten Organisations- und Bereichsgrenzen verfügbar zu machen. Wie in Abbildung 4 deutlich wird, ist ein CPS in zwei Richtungen vernetzt. Auf der horizontalen Ebene kommuniziert es mit CPS auf der gleichen Ebene. Hierbei werden beispielsweise die nächsten Fertigungsschritte ausgehandelt oder Daten zum aktuellen Bearbeitungsstand eines Produktes ausgetauscht. Die horizontale Kommunikation kann jedoch auch zwischen Organisationsbereichen, wie beispielsweise zwischen Produktion und Konstruktion, erfolgen. In vertikaler Richtung kommunizieren CPS mit über- oder untergeordneten Systemen. Dieser Aufbau spiegelt den zentralen Gedanken der verteilten Intelligenz wider. Die Produktion wird nicht länger durch eine zentrale Instanz gesteuert, sondern durch viele kleine Einheiten. Durch dezentral

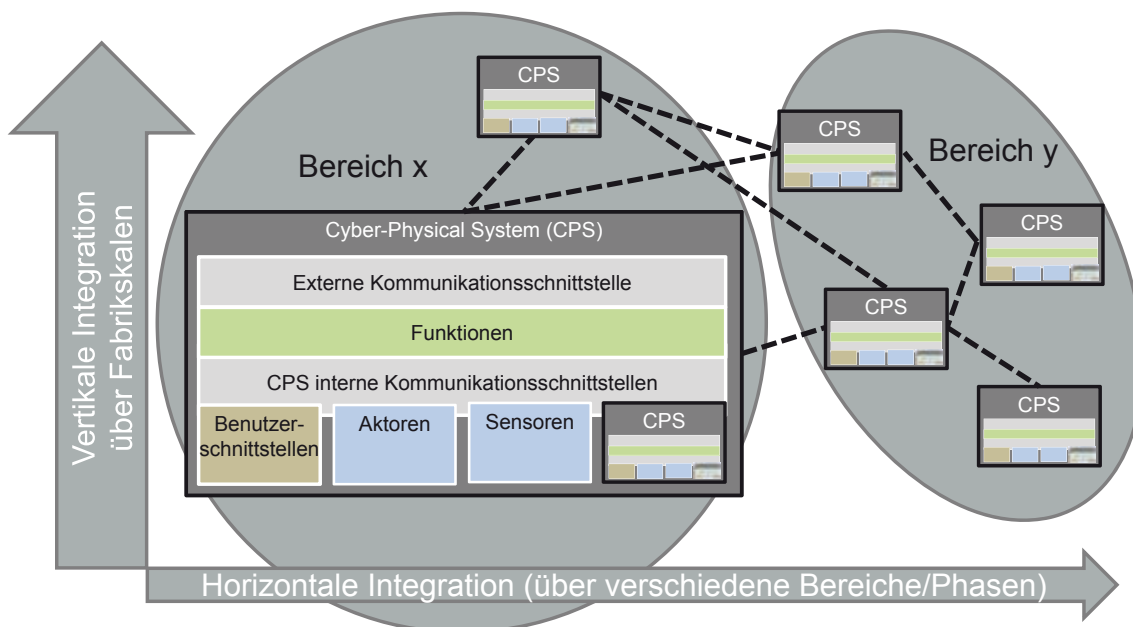


Abbildung 4: Aufbau von Cyber-Physical Systems

Kapitel 2

getroffene Entscheidungen kann nicht nur die erforderliche Bandbreite reduziert werden, vielmehr sinkt die Komplexität der Steuerung des Gesamtsystems. Durch die Integration von Mikroprozessoren in die dezentralen Einheiten verfügen diese über eine immer größere Intelligenz. Damit können sie Entscheidungen in den Arbeitsabläufen selbstständig treffen.

Durch die Einführung von Cyber-Physical Systems werden die einfach aufgebauten eingebetteten Systeme mit modernen Kommunikationsschnittstellen wie Ethernet erweitert. Ausgangspunkt dieser Verbindung sind die Leistungssteigerungen intelligenter eingebetteter Systeme. Hierdurch können bereits heute komplexe Prozesse dezentral gesteuert und geregelt werden. Diese Systeme erfahren eine immer stärker werdende Vernetzung, die zunächst untereinander und später mit dem Internet erfolgte. Das bedeutet, dass einerseits Dienste wie Fernwartung an Bedeutung gewinnen. Andererseits wird Unternehmenssoftware immer stärker in die Cloud verlagert.²⁶

Ein weiteres Merkmal zur Beschreibung von Cyber-Physical Systems ist der Grad der Dezentralisierung ihrer Struktur. Abbildung 5 bestimmt diese anhand des räumlichen Volumens eines CPS. Durch moderne Mikrosystemtechnik lässt sich ein CPS

prinzipiell auf einem einzigen Chip anordnen. Ein solches System kann über mehrere Sensoren sowie einen Mikroprozessor zur Verarbeitung verfügen. Ein größeres System kann in Form einer Werkzeugmaschine aufgebaut werden. Die Maschine kann wiederum selbst Teil des übergeordneten CPS Fabrik sein. Im Extremfall kann ein CPS über die gesamte Welt verteilt sein. In der obersten Stufe kann es beispielsweise ein ganzes Unternehmen oder eine Wertschöpfungskette abbilden. Ein konkretes Beispiel sind Teleserviceplattformen, welche über das Internet mit der Maschine verbunden sind. Die erfassten Maschinenzustandsdaten werden hierbei dezentral auf der Maschine abgelegt und mit Informationen aus weiteren Systemen, wie Historien von Instandhaltungsarbeiten, verknüpft. Bereits in der Entwicklung eines CPS müssen technische und wirtschaftliche Kriterien abgewogen werden. Wesentliche technische Kriterien sind beispielsweise Anforderungen hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit, die je nach Anwendungsfall stark variieren können. Beispielsweise liegen diese für die Regelung einer Achse im Mikro- und Millisekundenbereich, während für die Produktionsplanung Reaktionszeiten im Sekunden- und Minutenbereich hinreichend sind. Je nach Anforderung wird die entsprechende Kommunikationstechnik ausgewählt. In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen die gewählten Lösungen anschließend einer Kosten-Nutzenbewertung unterzogen werden.

²⁶ vgl. Geisberger und Broy 2012

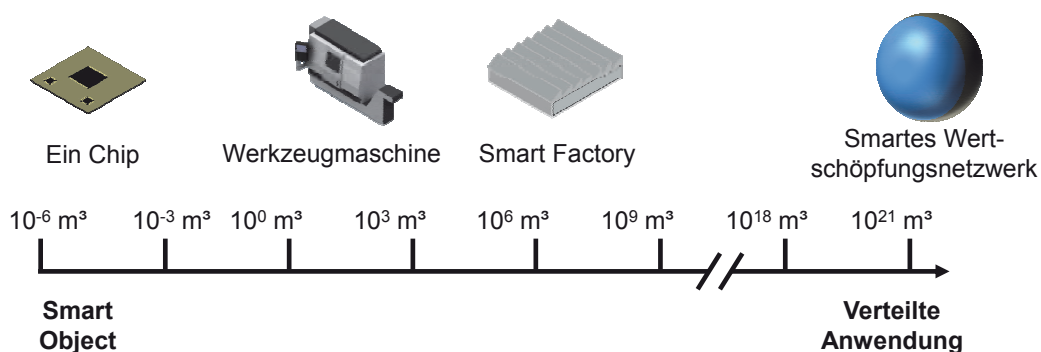


Abbildung 5: Dezentralisierung von Cyber-Physical Systems anhand des Volumens

2.2.2.1 Neuartige Fähigkeiten und Eigenschaften von Cyber-Physical Systems

Durch verbesserte Hardware und Vernetzung werden Cyber-Physical Systems über neuartige Fähigkeiten verfügen, welche im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

Ein besonderes Merkmal von CPS ist die Fähigkeit, mithilfe von smarten Sensoren und Aktoren große Datenmengen zu erfassen und zu verarbeiten. In der Folge kann die physische Welt detailgetreu und „live“ abgebildet werden, wodurch physische Prozesse sehr exakt gesteuert werden können. Es kommt zu einem Verschmelzen von digitaler und physischer Welt.²⁷ Möglich wird dies durch den Einsatz IP-fähiger, smarter Sensoren, welche beispielsweise in Sensornetzen Messdaten untereinander abgleichen können. Ein Hilfsmittel ist dabei die dezentrale Speicherung von Daten in RFID-Chips direkt am Produkt. Auf diese Weise können nicht nur Zustand und Position erfasst, sondern auch Informationen zur Historie oder erforderliche Fertigungsschritte gespeichert werden.²⁸ Die ermittelten Daten werden im CPS mithilfe von leistungsstarken Prozessoren und geeigneten Programmen dezentral interpretiert. Die abgeleiteten Maßnahmen können von lokalen oder über das Internet verbundenen Aktoren ausgeführt werden. Vision ist es, dass CPS durch die Verbindung von smarten Systemen mit einer vollständigen, kontinuierlichen Erfassung und Bewertung der Umgebung und ihrer eigenen Lage ganz oder teilweise autonom handeln und sich selbstständig an neue Situationen anpassen können. CPS unterliegen keiner zentralen Kontrolle, sondern werden durch die Interaktion und Koordination mit anderen Akteuren wie CPS, Services oder Menschen gesteuert.²⁹

Eine weitere wichtige Fähigkeit von CPS ist die Vernetzung untereinander, welche Systeme zum Austausch von Informationen untereinander befähigt. In der maximalen Ausprägung entsteht für einen zeitlich begrenzten Raum ein zusammengesetztes System (System of Systems). Zueinander völlig unbekannte Systeme können dann beispielsweise die Ressourcen des jeweils anderen Systems erkennen, den Ressourcennutzen für die eigene Aufgabe bewerten und gegebenenfalls auf sie zugreifen.³⁰ Die Umsetzung erfordert die Fähigkeit der Maschinen, sich untereinander über ein

standardisiertes Protokoll anzumelden. Hierdurch wird die Kopplung zuvor einander unbekannter Maschinen möglich. Dieses Konzept wird auch als Plug and Produce bezeichnet.

CPS sind zu einer interaktiven und kooperativen Kommunikation mit dem Menschen über Mensch-Maschine-Schnittstellen (Human Machine Interfaces – HMI) fähig. Fernes Ziel ist, dass der Nutzer nicht mehr zwischen Mensch und Maschine unterscheidet, sondern ganz natürlich kommuniziert. Ein möglicher Ansatz ist die multimodale Kommunikation. Hierbei handelt es sich um die Kommunikation über mehrere Ein- und Ausgabekanäle wie Sprache oder Gesten gleichzeitig. Durch den Einsatz mehrerer vernetzter stationärer und mobiler Endgeräte (PCs, Smartphones, Tablets) wird die Kommunikation zudem ortsunabhängiger. Grundbedingung ist jedoch ein optimales Zusammenspiel zwischen mehreren vernetzten stationären und mobilen Endgeräten. Zusätzlich wichtige Eigenschaften sind die Lernfähigkeit, Unschärfe- bzw. Fehler-toleranz. Die Systeme müssen sich in der Interaktion mit dem Menschen ständig weiterentwickeln, um so ein ständig verbessertes Nutzererlebnis zu schaffen.³¹ Die Entwicklung eines CPS, welches alle neuartigen Fähigkeiten und Eigenschaften besitzt, erfordert hohe Kompetenzen aus den verschiedenen Fachdisziplinen. Je nach Anzahl und Komplexität der Funktionen sowie der Ausprägung der Komponenten können daraus unterschiedliche Entwicklungsstufen von CPS abgeleitet werden. Während die Cyber-Physical Systems auf den unteren Ebenen nur über passive Fähigkeiten, wie beispielsweise die Identifizierbarkeit verfügen, werden mit ihrer Weiterentwicklung aktive Sensoren und Aktoren integriert. Im weiteren Verlauf werden intelligente, netzwerkfähige Systeme entstehen, die auf der obersten Entwicklungsstufe zur Bildung des oben beschriebenen System of Systems fähig sind. Die Einführung dieser sehr komplexen und umfassenden Systeme wird jedoch noch mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Die große Interdisziplinarität erfordert zudem eine Umstrukturierung der

27 vgl. Geisberger und Broy 2012

28 vgl. Karagiannis und Rieger 2006

29 vgl. Geisberger & Broy 2012

30 vgl. Geisberger und Broy 2012

31 vgl. Geisberger und Broy 2012

Kapitel 2

Prozesse der Produktentwicklung, welche die Gleichrangigkeit der mechanischen, elektrischen und softwaretechnischen Funktionen widerspiegelt. Die Komplexität von CPS durchläuft hierbei mehrere Entwicklungsstufen.³²

2.2.2.2 Smarte Sensoren

Bei einem Sensor handelt es sich um ein „Technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann.“³³ Smarte Sensoren sind darüber hinaus zur Umwandlung und Weiterleitung der erfassten Signale in Form von digitalen Daten fähig. Sie bilden dazu die gesamte Messkette ab³⁴ und verfügen über eine IP-fähige Kommunikationsschnittstelle.

Ein **smarter Sensor** wird in dieser Studie definiert als System, das physische Messgrößen aus der Umwelt aufnehmen, in digitale Messgrößen umwandeln, aufbereiten und über eine geeignete Kommunikationsschnittstelle mit anderen Systemen teilen kann.

Bei einem Sensor handelt es sich um ein technisches Bauteil, dessen Aufgabe in der Gewinnung von Informationen über die Umwelt liegt. Innerhalb einer Messeinrichtung nimmt er streng genommen die Funktion des Aufnehmers ein. Dieser wandelt nichtelektrische Messgrößen, wie beispielsweise die Temperatur, anhand von physikalischen Effekten oder chemischen Verbindungen in elektrische Messsignale um.³⁵ Innerhalb der sogenannten Messkette ist ein Sensor Bestandteil einer ganzen Reihe von Arbeitsschritten, die mit der Erfassung von analogen Messwerten beginnt und mit der Übertragung eines digitalen Ausgangssignals endet. Abbildung 6 stellt diesen Zusammenhang in Form der Messkette dar. Sensoren stellen innerhalb von Cyber-Physical Systems einen zentralen Baustein dar. Erst durch sie wird der Informationsfluss von der physischen in die digitale Welt möglich.³⁶

32 Bauernhansl 2014
33 Kagermann et al. 2013
34 vgl. VDI 2206
35 vgl. Hesse und Schnell 2011
36 vgl. Kagermann et al. 2013
37 In Anlehnung an: DIN 1319-1

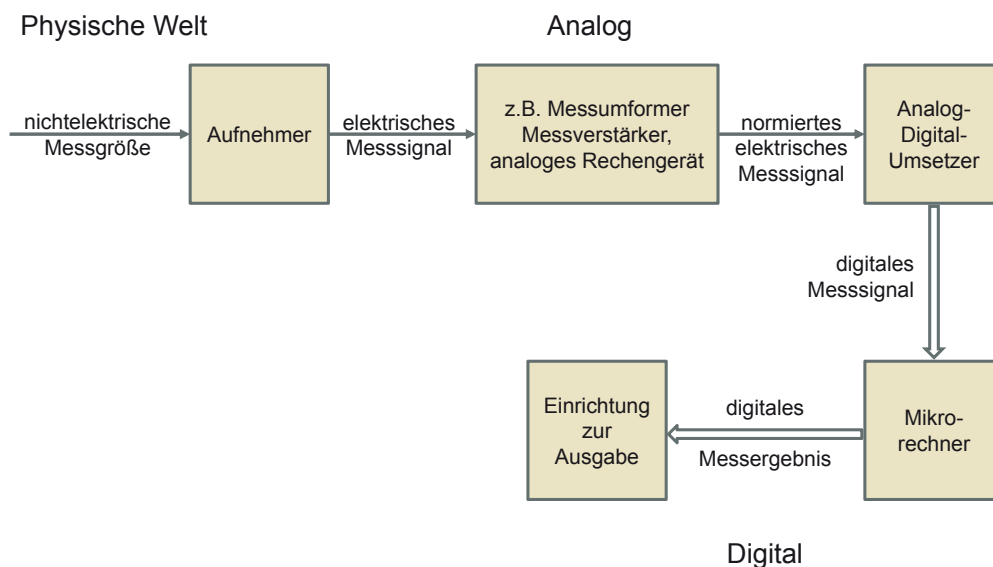


Abbildung 6: Messkette ³⁷

Bei smarten Sensoren handelt es sich um eingebettete Systeme, die die gesamte Messkette in einem Gehäuse abbilden.³⁸ Das bedeutet, dass sie die physischen Messwerte nicht nur in elektrische Signale umwandeln, sondern auch direkt verarbeiten können.³⁹ Durch die Einbindung von leistungsfähiger Elektronik in smarte Sensoren werden diese zu komplexen Entscheidungen befähigt. Das bedeutet, dass ein Sensor die ermittelten Messwerte intern bewerten kann. In der Folge erhält das System nur bei Messwerten außerhalb der Toleranz eine Benachrichtigung vom Sensor. Hierdurch sinken die erforderlichen Bandbreiten beträchtlich. Neben der Störungserkennung können auch Muster oder Fehler im Sensor identifiziert werden.⁴⁰

In Zukunft werden Sensoren nicht mehr länger nur mit der Informationsverarbeitung, sondern auch in Sensornetzen untereinander, unabhängig vom Gesamtsystem kommunizieren. Hierbei spielen vor allem die niedrigen Herstellungskosten von halbleiterbasierenden smarten Sensoren eine Rolle. Dadurch wird es möglich, eine Vielzahl von Sensoren einzusetzen. Durch die Kommunikation untereinander können Messwerte abgeglichen und Störungen zuverlässig erkannt werden. Die Informationsübermittlung erfolgt hierbei bevorzugt per Funk, da die Sensoren auf diese Weise auf sehr

einfache Art direkt miteinander in Kontakt treten können. In der Folge werden völlig neue Anwendungsgebiete erschlossen. Beispielsweise können Sensoren bei der Überwachung ganzer Bauwerke eingesetzt werden. Im industriellen Bereich können wesentlich umfassendere Daten zum Produktionsverlauf erfasst werden.⁴¹

Ein wesentliches Ziel von Industrie 4.0 ist die stärkere Vernetzung aller Systeme. Daher ist es nicht nur erforderlich, dass die Sensoren über integrierte Elektronik verfügen. Vielmehr müssen sie, um Sensornetze zu bilden, auch über eine hinreichende Vernetzungsinfrastruktur verfügen. Diese spiegelt sich in ihrer IP-Fähigkeit wider. Das bedeutet, dass auf den Sensor über eine Schnittstelle wie beispielsweise Industrial Ethernet eindeutig zugegriffen werden kann. Abbildung 7 stellt den Zusammenhang noch einmal in einer Übersicht dar.

38 vgl. Meijer 2008

39 vgl. Hesse und Schnell 2011

40 vgl. Lass und Henning 2012

41 vgl. Mattern 2007

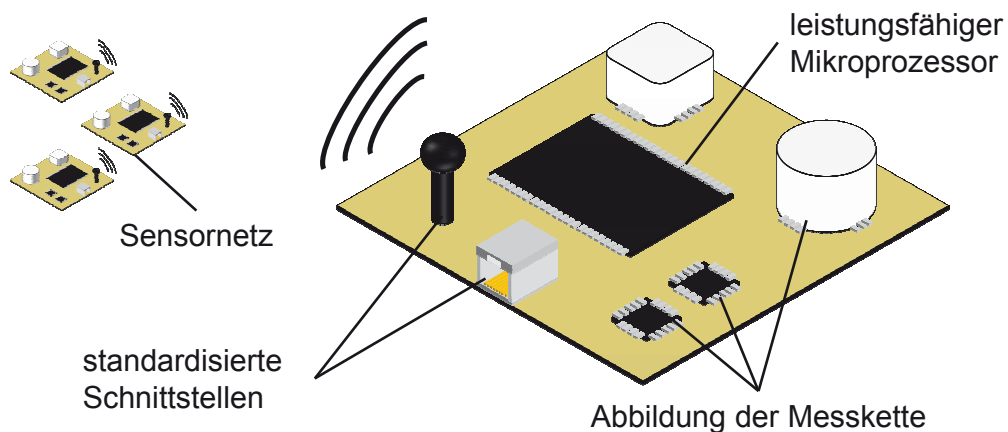


Abbildung 7: Smarte Sensoren und Sensornetze

Kapitel 2

2.2.2.3 Funktionen

Die Funktionen von CPS werden durch Programme in Form von Firmware oder Software umgesetzt. Sie können räumlich unterschiedlich zusammengefasst bzw. verteilt sein (z. B. lokal gemeinsam mit Sensoren und Aktoren in einem „Embedded System“ oder verteilt in der Cloud als Service). Zur Strukturierung können folgende Klassen unterschieden werden:

- **Datenübernahme und -aufbereitung:** Die Funktionen zur Datenübernahme und -aufbereitung werden je nach Komplexität entweder als eigenständige Programme oder als Teilprogramme zur Übernahme von vorverarbeiteten Daten für die Weiterverarbeitung in anderen CPS-Funktionen umgesetzt. Die verarbeiteten Daten stammen von Sensoren und anderen IT-Systemen. Basis für die Übernahme bilden Kommunikationsschnittstellen, wie Web-Services, APIs oder Datenbankschnittstellen. Weitere Funktionen dieser Kategorie umfassen die Aufbereitung oder Umformung von Daten. Dies umfasst beispielsweise Funktionen zu Filterung, Korrektur oder Fusion von Daten und die Umformung von verschiedenen Datenformaten.
- **Datenverwaltung:** Hauptaufgaben der Datenverwaltung sind die Organisation und Speicherung von produkt- und produktionsrelevanten Daten. Sie werden mithilfe von Systemen zur Datenverwaltung wie Datenbanken, Dateiservern, Netzlaufwerken oder lokalen Laufwerken umgesetzt. Ein komplexes Beispiel ist hier ein sogenanntes Product-Lifecycle-Management (PLM)-System für Produkte. Die Funktionen, welche der Datenverwaltung zugeordnet sind, entkoppeln die realen Systeme und den Zugriff der übergeordneten Software. Basis bilden auch hier die Kommunikationsschnittstellen. Vorteil dieser Entkopplung ist die Unabhängigkeit von bestimmten Hardware- und Softwareversionen. Die Grundfunktionen umfassen das Lesen, Erzeugen, Ändern, Löschen und Speichern von Daten. Weitere Funktionen regeln beispielsweise die Verwaltung von Benutzern und deren Zugriffsrechte.

Eine **Funktion** wird in dieser Studie als die „von einem Gerät, einem Computer, einem Programm o. Ä. zu leistende Aufgabe, zu lieferndes Resultat“⁴² verstanden.

- **Erstellung, Bearbeitung:** In dieser Kategorie sind Funktionen zur Erstellung und Bearbeitung von Modellen, Programmen und Datensätzen im Zusammenhang mit Produkten, Produktion und After Sales gruppiert. Sie sind meist Bestandteil von Computer-Aided-Design (CAD)-, Computer-Aided-Engineering (CAE)- und Computer-Aided-Manufacturing (CAM)-Programmen sowie Enterprise-Resource-Planning (ERP)-Systemen. Das Spektrum reicht hier von einfachen Texteditoren, Formularen für die Auftragserstellung und -planung, bis hin zu komplexen Modellierungsumgebungen für 3D-Geometriemodelle.
- **Simulation:** In dieser Kategorie sind Funktionen zur Simulation im Bereich der Produktentwicklung, Produktion und After Sales gruppiert. Sie ermöglichen es beispielsweise die ablaufenden Prozesse, die Kinematik oder Logistik zu gestalten und zu optimieren. Basis bilden hier die Modelle, welche mit den Erstellungs- und Bearbeitungsfunktionen erzeugt und geändert wurden.⁴³ Umgesetzt werden Funktionen durch Simulationsprogramme, hier mit dem Fokus auf die Produktentwicklung und Produktion. Beispiele für gängige Simulationen sind die Analyse des mechanischen (Festigkeit und Schwingungen), kinematischen, strömungstechnischen, thermodynamischen, elektrischen oder logistischen Verhaltens von Produkten, Maschinen, Fabriken oder Produktionsnetzwerken.
- **Überwachung, Monitoring:** Die Funktionen zur technischen Überwachung (auch Monitoring genannt) umfassen die Beobachtung und den Vergleich mit hinterlegten Regeln oder Grenzbereichen von Sensordaten oder sonstigen produktrelevanten Daten und die Benachrichtigung einer vordefinierten Rolle bei einer Abweichung. Eine Rolle kann hier beispielsweise ein Facharbeiter, ein Meister, ein Konstrukteur, eine Maschine oder andere CPS-Funktion sein. Realisiert werden diese Funktionen in verschiedensten Ausprägungen. In der Produktentwicklung können beispielsweise Projektmitglieder durch PLM-Systeme

⁴² Duden 2013

⁴³ vgl. Roddeck 2012

über Änderungen von Teilen des Modells benachrichtigt werden. Auch Freigabeprozesse werden hierüber gesteuert. In der Fertigung sind Zustandsüberwachungssysteme zum Beispiel über Monitoringfunktionen für Werkzeugmaschinen umgesetzt.

- **Analyse, Auswertung:** Die Funktionen zur Analyse und Auswertung beinhalten Programme zur Untersuchung und Aufbereitung von Daten wie Simulationsergebnissen, Sensordaten oder Auftragsdaten. Beispiele sind die Auswertungskomponenten von CAQ-Programmen, einfache Datenbankreportgeneratoren bis hin zu den Auswertewerkzeugen für große Mengen und verschiedenartigste Daten, die unter dem Schlagwort Big Data vermarktet werden.
- **Visualisierung:** Die Funktionen zur Visualisierung beinhalten die Aufbereitung und Darstellung in grafischer Form von Daten und Sachverhalten.⁴⁴ Visualisierungsformen umfassen neben Diagrammen auch Animationen.
- **Regelung, Maßnahmeneinleitung:** Die Funktionen zur Regelung und Maßnahmeneinleitung umfassen die Regler bzw. die Entscheidungslogik und Erzeugung der notwendigen Sollwerte oder Maßnahmen in der digitalen Welt. Diese werden an Aktoren oder Benutzerschnittstellen weitergegeben, damit diese in der physischen Welt durch Aktoren und Menschen ausgeführt werden. Beispiele hierfür sind Arbeitsaufträge.

Ein **smarter Aktor** besteht aus einem Energiesteller und -wandler. Der Energiesteller leitet ein Stellsignal an den Energiewandler weiter, welcher durch eine Hilfsenergie Arbeit verrichtet. Durch die Integration eines Digital/Analog-Umsetzers, einer Verstärkerschaltung und eines Mikroprozessors können die digitalen Daten der Funktionen direkt verarbeitet werden.⁴⁵ Die Einheit verfügt zudem über integrierte Sensoren und eine IP-fähige Kommunikationsschnittstelle.

2.2.2.4 Smarte Aktoren

Ein Aktor ist eine Komponente zur Beeinflussung der physischen Welt. Er umfasst jedoch wesentlich mehr als den reinen Antrieb.⁴⁶ Es handelt sich vielmehr um ein System aus Programmen, Elektronik und Mechanik, welches elektrische Signale einer Informationsverarbeitung in Bewegungen, Kräfte und Momente umwandelt.⁴⁷

Mithilfe eines Aktors kann ein Controller Einfluss auf ein System ausüben. Ähnlich einem Sensor ist der Aktortyp stark von der Anwendung abhängig. Mechanische Bewegungen werden durch Federn, Hydraulik, Pneumatik, Magnetismus, elektrische Antriebe, Ventile oder thermische Energie ausgelöst.⁴⁸

Wie in Abbildung 8 dargestellt, erhält der Aktor ein Stellsignal von einer Steuereinheit. Dieses Signal erreicht zunächst den sogenannten Energiesteller. Dies kann beispielsweise ein Relais oder ein Schaltventil sein. Die Einheit kann auch als Halbleiter mit Drehzahlsteller ausgeführt sein. Das Signal selbst liefert keine großen Ströme, sondern nur eine Information. Die eigentliche Energie kommt von der in der Abbildung dargestellten Hilfsenergie. Die Energie kann in ganz unterschiedlichen Formen wie Druckluft, elektrischer Energie oder hydraulisch übertragen werden. Der Energiesteller drosselt die Hilfsenergie entsprechend den Vorgaben des Signals und leitet sie an den Energiewandler weiter.

44 vgl. VDI 3633

45 vgl. VDI 2206

46 vgl. Roddeck 2012

47 vgl. Kagermann et al. 2013

48 vgl. Nof 2009

Kapitel 2

Dieser verrichtet die eigentliche Arbeit, die als Stellenergie bezeichnet wird. Neben der Bewegungs- oder Kraftausübung entstehen an dieser Stelle auch Verluste, welche meist in Form von Wärme auftreten.⁴⁹

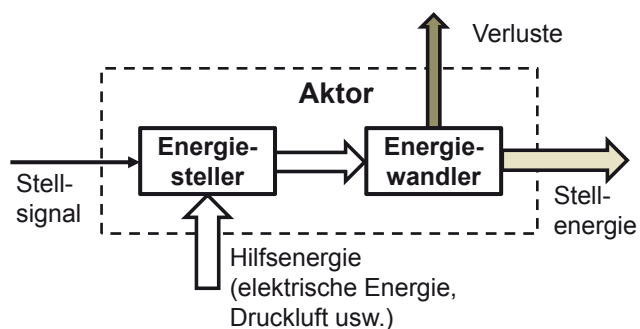


Abbildung 8: Strukturdiagramm eines Aktors⁵⁰

Ein smarter Aktor verfügt darüber hinaus über zusätzliche integrierte Funktionen wie einen Analog/Digital-Umsetzer und eine Anpassungs- oder Verstärkerschaltung.⁵¹ Durch die enthaltenen Sensoren und den Mikroprozessor kann das System dezentral agieren. Zusätzlich ist der smarte Aktor über seine IP-Fähigkeit durch fremde CPS ansteuerbar. Es handelt sich somit streng genommen um ein eigenes kleines CPS, welches in dieser Studie zur besseren Abgrenzung jedoch als smarter Aktor bezeichnet werden soll. Die Vorteile dieser Anordnung liegen in dem geringeren Bedarf an Rechenleistung in den Funktionen des CPS sowie in der kostengünstigeren Herstellung durch den Einsatz von eingebetteten Systemen.

Human Machine Interfaces sind „Bestandteile eines interaktiven Systems (Software und Hardware), die Informationen und Steuerelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um eine bestimmte Arbeitsaufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen“⁵².

2.2.2.5 Benutzerschnittstellen (Human Machine Interfaces)

Trotz Vernetzung und CPS werden auch zukünftig zahlreiche Entscheidungen durch Menschen getroffen. Benutzerschnittstellen bilden hierzu die Brücke zwischen Mensch und Maschine. Ihre Bedeutung darf nicht unterschätzt werden, beeinflusst sie doch maßgeblich die Arbeit mit dem System. Für den Menschen sind die komplexen Prozesse in einem CPS nicht mehr nachvollziehbar. Für ihn ist nicht die Technologie oder Funktionsweise, sondern viel mehr der Nutzen entscheidend. Das HMI hilft dabei, die Vorgänge zu verstehen und richtige Entscheidungen in der Steuerung zu treffen.⁵³

Für die Interaktion mit dem CPS steht heutzutage eine ganze Reihe von Technologien zur Verfügung. Die Eingabe erfolgt meist über Tastaturen, Zeigergeräte oder Sprache. Als Ausgabetechnologien haben sich Displays durchgesetzt. Weniger verbreitet ist aktuell die Sprachausgabe. In den letzten Jahren hat sich zudem ein deutlicher Trend hin zu Touchscreens etabliert, welches auch Unerfahrenen eine einfache Interaktion ermöglicht. Durch die Einführung von Multi-Touch-Bildschirmen wurden die Möglichkeiten noch einmal stark erweitert. Objekte lassen sich nun mithilfe von Gesten manipulieren.⁵⁴

In der Zukunft wird sich die Interaktion zwischen Mensch und Maschine durch Multimodalität immer natürlicher sein. Multimodalität ist die Kommunikation über mehrere Ein- und Ausgabekanäle. Beispielsweise wird die Kommunikation durch die Kombination von Gesten und Sprache noch eindeutiger und intuitiver. Ziel ist es, dass der Mensch den Computer weniger als Element der Anlagensteuerung wahrnimmt. In der Folge gerät die Interaktion mit dem Computer immer weiter in den Hintergrund.⁵⁵ Die Arbeit entwickelt sich eher hin zu einer Mensch-Maschine-Kooperation. Das bedeutet, dass Maschinen dem Menschen kontextbezogen in seiner

49 vgl. Roddeck 2012

50 Quelle: Roddeck 2012

51 vgl. VDI 2206

52 vgl. DIN EN ISO 9241-210

53 vgl. Schenk und Rigoll 2010

54 vgl. Zühlke 2012

55 vgl. Zühlke 2012

Arbeit assistieren, wobei die Vision des Ubiquitous Computing umgesetzt wird. Der Maschinenbediener nimmt die Information über den Maschinenzustand auf, kann sich jedoch weiter auf seine Tätigkeit konzentrieren. Der Computer steht nicht länger im Mittelpunkt. Zur Umsetzung dieses Ziel werden sich auch völlig neuartige Benutzerschnittstellen entwickeln. Beispielsweise sind Brillen, Uhren, Handschuhe oder komplette Anzüge denkbar.⁵⁶ Zentraler Gedanke ist, dass der Mensch überall von Computern umgeben ist. Der erste Schritt in diese Richtung wird gerade mit der Entwicklung von immer leistungsfähigeren sehr kleinen, mobilen Endgeräten (Smartphone, Tablet) im Konsumgüterbereich gemacht. Doch auch im industriellen Umfeld finden diese Multitalente durch ihre Fähigkeit zur Vernetzung und die vielen integrierten Sensoren vielfältigen Einsatz, beispielsweise als mobiler Assistent oder als Kommunikationsschnittstelle der Betriebsdatenerfassung.

Eine weitere interessante Entwicklung ist das Thema Augmented Reality. Hierbei wird die Realität durch die Einblendung von zusätzlichen Daten ergänzt. Über die realen Objekte werden beispielsweise durch den Einsatz spezieller Brillen virtuelle, kontextbezogene Objekte mit zusätzlichen Informationen gelegt. Im Idealfall verschmelzen die virtuelle und die reale Welt. Auf diese Weise fällt es dem Nutzer leichter, seine Umgebung zu verstehen.⁵⁷

Eine **Kommunikationsschnittstelle** wird in dieser Studie definiert als die „Verbindungsstelle zwischen Funktionseinheiten eines Datenverarbeitungs- oder -übertragungssystems, an der der Austausch von Daten oder Steuersignalen erfolgt“⁵⁸.

2.2.2.6 Kommunikationsschnittstellen

Ein entscheidender Faktor für die Kommunikation innerhalb eines CPS und zwischen fremden Systemen ist die Wahl der Schnittstelle. Daher werden im folgenden Abschnitt die wichtigsten Schnittstellen und Techniken zur Vernetzung von Industrieanlagen vorgestellt. Die Datenübertragungstechniken lassen sich nach Ihrer Reichweite in Zonen eingruppiieren (Tabelle 1, Seite 22).⁵⁹

Neben den physischen Schnittstellen zur Datenübertragung müssen auch die digitalen Schnittstellen zur Datenaufnahme und -ausgabe in Programmen betrachtet werden. Es kann hier zwischen drei verschiedenen Typen unterschieden werden:

- eine dateibasierte Integration,
- eine Integration über eine lokale, computerinterne Programmierschnittstelle (lokale Application Programming Interface – API) oder über
- eine webbasierte Programmierschnittstelle (webbasierte API), ODBC, Web-Services.

Eine wichtige Neuerung sind Web-Services. Mit ihrer Hilfe werden bereits bestehende Daten und Funktionen für fremde Anwendungen verfügbar, indem die Informationen der bestehenden Anwendung über das Internet abrufbar gemacht werden. Durch die Nutzung des Webs kann der Service plattformunabhängig genutzt werden. Es wird also möglich, den gleichen Service für viele unterschiedliche Anwendungen zu nutzen, auch wenn diese über einen unterschiedlichen Aufbau und eine andere Programmiersprache verfügen. Der gleiche Service kann somit auch auf vielen verschiedenen Endgeräten, wie Smartphones und Tablets genutzt werden.⁶⁰

Feldbussysteme sind die wichtigste Schnittstelle für Industrieanwendungen. Im Office-Bereich hat sich hingegen aus Kostengründen Ethernet durchgesetzt. Parallel dazu entwickelt sich die drahtlose Kommunikation immer stärker. Durch diese Trends wachsen Office- und Industrieanwendungen immer stärker zusammen.⁶¹ Besonders deutlich wird dieser Trend bei der immer stärkeren Verbreitung von mobilen Endgeräten wie Tablets und Smartphones in der Fertigung. Die Geräte kommunizieren meist über WLAN oder in seltenen Fällen über Ethernet.

56 vgl. Weiser 1991

57 vgl. Zühlke 2012

58 vgl. Duden 2013

59 vgl. Friedewald 2010

60 vgl. Finger und Zeppenfeld 2009

61 vgl. Nof 2009

Kapitel 2

Zone	Beschreibung	Beispiele im industriellen Bereich
„Body Area Networks“ (BAN)	Drahtlose Netzwerke mit einer Reichweite von circa einem Meter. ⁶²	Nahfeldkommunikation (NFC), EnOcean, ANT+ oder Bluetooth Low Energy, Bluetooth 4.0
„Personal Area Networks“ (PAN)	Drahtlose Netzwerke für mobile Endgeräte mit einer Reichweite von circa zehn Metern. ⁶³	(Industrial) Wireless Local Area Network (WLAN), Bluetooth oder Zigbee
„Local Area Networks“ (LAN)	Drahtgebundene oder drahtlose Netzwerke mit einer Reichweite von bis zu 300 Metern. ⁶⁴	Ethernet, Industrial Ethernet oder spezielle Feldbussysteme Feldbussysteme verfügen über eine garantierte Echtzeitfähigkeit und sind unempfindlich gegen Umwelteinflüsse wie elektromagnetische Störfelder, Staub oder Feuchtigkeit. Drahtgebundene Standards: Ethernet/IP, Profibus, Profinet, SERCOS, CAN-Open oder M-Bus. Drahtlose Netzwerke: siehe PAN
„Wide Area Networks“ (WAN)	Datenübertragung über Distanzen von mehreren Hundert Kilometern.	Mobilfunkstandards wie General Packet Radio Service (GPRS), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) und Long Term Evolution (LTE)

Tabelle 1: Datenübertragungstechniken

2.2.3 Anforderungen an CPS-Integratoren

Wie bereits im Abschnitt „neuartige Fähigkeiten von CPS“ angedeutet, ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an ein Cyber-Physical System. Diese müssen bereits bei der Entwicklung betrachtet werden. Der erste Schritt, um ein CPS erzeugen zu können, ist die Beherrschung der komplexen Interaktionen innerhalb des CPS. Intelligente Sensoren, Aktoren sowie entsprechende Programme bilden dabei ein smartes System, welches zu einer prinzipiell globalen Kommunikation fähig ist. Dies schließt sowohl die Kommunikation mit anderen CPS über lokale Netze und das Internet als auch die Interaktion mit dem Menschen über Human Machine Interfaces ein. Bei der Maschine-zu-Maschine-Schnittstelle besteht der Hauptteil der Arbeit in der Standardisie-

rung der CPS-Schnittstellen. Die Kommunikation zum Menschen ist zwar heute schon möglich, findet jedoch noch immer auf einem sehr einfachen Level statt. Hier sind Anpassungen hin zu einer multimodalen Kommunikation notwendig. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Integration von Funktionen in das dezentrale System. Ein CPS soll auf Änderungen in seiner Umwelt flexibel reagieren können. Insbesondere im Umgang mit Menschen soll es zudem lernfähig sein. Ein letzter Punkt, der nicht vernachlässigt werden darf, ist das Thema Sicherheit. CPS müssen untereinander und mit fremden Diensten ohne großen Aufwand kommunizieren können. Ein CPS kann zudem eine große räumliche Ausdehnung annehmen und einen Akteur am anderen Ende der Stadt oder sogar des Landes steuern. Gerade diese umfassende Vernetzung bietet zahlreiche Angriffspotenziale, auf die das System vorbereitet sein muss.

Wie dieser Abschnitt deutlich macht, dürfen die Anforderungen bei der Entwicklung eines CPS nicht unterschätzt werden. Insbesondere der Integrator der CPS-Komponenten benötigt hohe Kompetenzen in der Mechanik, Elektronik und Software.

⁶² vgl. Friedewald 2010

⁶³ vgl. Friedewald 2010

⁶⁴ vgl. Friedewald 2010

Im Gegensatz zu den bisherigen Produktionsmitteln spielt die Informationstechnik eine wesentlich stärkere Rolle. Für die Entwicklung bedeutet dies, dass zunächst die erforderlichen Funktionen einer Anwendung technologieunabhängig definiert werden müssen. Im zweiten Schritt werden den Funktionen mögliche Technologien zugeordnet, bewertet und ausgewählt. Bei der anschließenden Umsetzung muss die gleichrangige Entwicklung der Programme, Elektronik und Mechanik synchronisiert werden. Diese Vorgehensweise und Gewichtung bei der Produktentwicklung unterscheidet sich wesentlich von bisherigen Produkten und erfordert eine Umstrukturierung der Prozesse.⁶⁵

Zusammenfassend handelt es sich bei Cyber-Physical Systems um smarte, eingebettete Systeme, die durch eine globale Vernetzung zur Interaktion untereinander und mit dem Menschen in Form von Verhandlungen und Kooperation fähig sind. Der Begriff cyber-physical verdeutlicht, dass die Systeme sowohl mit der physischen, über Sensoren und Aktoren, als auch mit der digitalen Welt, über standardisierte Schnittstellen, interagieren.

2.3 Geschäftsmodelle

Die vierte industrielle Revolution löst zahlreiche Veränderungen in den Unternehmen aus. Durch die stärkere Durchdringung mit Informationstechnologie und die Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus verändert sich auch die Art und Weise, wie Anbieter Wertschöpfung erzielen. Es ergeben sich Möglichkeiten

Ein „**Geschäftsmodell**“ beschreibt die Grundlogik, wie eine Organisation Werte schafft. Dabei bestimmt das Geschäftsmodell, was eine Organisation anbietet, das von Wert für den Kunden ist, wie Werte in einem Organisationssystem geschaffen werden, wie die geschaffenen Werte dem Kunden kommuniziert und übertragen werden, wie die geschaffenen Werte in Form von Erträgen durch das Unternehmen „eingefangen“ werden, wie die Werte in der Organisation und an Anspruchsgruppen verteilt werden und wie die Grundlogik der Schaffung von Wert weiterentwickelt wird, um die Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells in der Zukunft sicherzustellen“⁶⁶.

zur Entwicklung und Umsetzung neuer innovativer Geschäftsmodelle. Zugleich müssen jedoch auch die aufkommenden Herausforderungen betrachtet werden. Mit der Einführung von Industrie 4.0 werden die bisherigen Produkte und Geschäftsmodelle stark verändert, beziehungsweise sogar abgelöst. Diese geschäftlichen Bedrohungen und die resultierenden Konsequenzen sollten daher zuvor von Experten systematisch analysiert und bewertet werden.⁶⁷

65 vgl. Bauernhansl 2014
 66 Bieger et al. 2011
 67 vgl. Kagermann et al. 2013
 68 In Anlehnung an: Bullinger et al. 2006

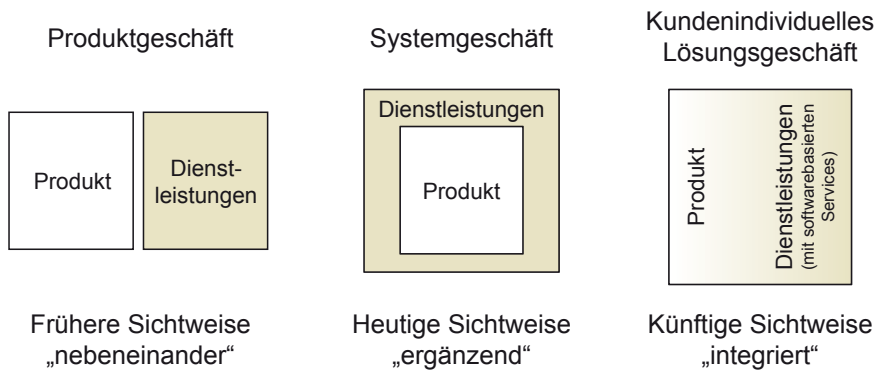


Abbildung 9: Paradigmenwechsel in der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung⁶⁸

Kapitel 2

Ein klar erkennbarer Trend ist das Zusammenwachsen von Dienstleistung und Produkt. Kunden erwarten zunehmend ganzheitliche Problemlösungen. Abbildung 9 (Seite 23) stellt diesen Wandel in sehr einfacher Form dar. Während früher Produkt und Dienstleistung getrennt gesehen und teilweise von unterschiedlichen Seiten angeboten wurden, gibt es heute eine ergänzende Betrachtungsweise. Neben dem Produkt werden nun auch Dienstleistungen wie beispielsweise Beratungsleistungen angeboten.⁶⁹ Sie dienen meist der Absatzförderung. In Zukunft werden Produkt und Service entsprechend einer lebenszyklusübergreifenden Betrachtungsweise stärker ineinander integriert. Es wird nicht mehr das Produkt, sondern die Leistung beziehungsweise der Nutzen angeboten. In Verbindung mit den Funktionen der Cyber-Physical Systems der vierten industriellen Revolution kann der Nutzen der bekannten Services durch neue Softwareangebote ergänzt und erhöht werden.

Auf dem Weg hin zu dieser integrierten Sichtweise können drei verschiedene strategische Ausrichtungen identifiziert werden:

- Steigerung des Verfügbarkeitsbeitrags
- Steigerung des Produktivitätsbeitrags
- Steigerung des Applikationsbeitrags

Jede dieser drei Strategien verfügt über mehrere Ausprägungsstufen. Auf der höchsten Ebene lässt sich jeweils ein Geschäftsmodell ableiten. Die Steigerung des Verfügbarkeitsbeitrags hat das Ziel, die für die Bearbeitung verfügbare Zeit einer Maschine zu erhöhen. Im Rahmen dieser Strategie wandelt sich die Ausrichtung des Unternehmens von der Reaktion auf Kundenanfragen hin zur Übernahme von Verfügbarkeitsverantwortung in Form eines „pay-per-hour“-Modell. Die Steigerung des Produktivitätsbeitrags beinhaltet die Leistungssteigerung einer Maschine, ohne die Qualität beziehungsweise die Prozessstabilität zu beeinflussen. Unternehmen beschränken sich bei der Umsetzung dieser Strategie nicht mehr länger nur auf die Bereitstellung von Produktionsmitteln, sondern übernehmen Produktionsverantwortung. Übersetzt in ein Geschäftsmodell bedeutet das, dass der Umsatz nicht länger für die Maschine selbst, sondern für jedes von ihr bearbeitete Teil anfällt („pay-per-piece“). Auf der dritten Achse befindet die Steigerung

des Applikationsbeitrags. Ziel dieses Ansatzes ist eine Steigerung des Nutzens für den Endkunden. In der Folge kann der Verwender der Maschine seine eigene Marktposition stärken, beziehungsweise neue Märkte erschließen. Aus diesem Ansatz lässt sich das Geschäftsmodell „pay-per-value“ ableiten. Wichtige Voraussetzung ist das Verständnis der Wertschöpfungskette und insbesondere der Bedürfnisse des Endkunden. Zur Umsetzung dieser Strategie muss das eigene Produkt einen signifikanten Einfluss auf das eigentliche Endprodukt haben.⁷⁰ Abbildung 10 gibt einen Überblick über die einzelnen Stufen.

Die Umsetzung dieser Strategieansätze wird durch die Entwicklungen in Richtung der vierten industriellen Revolution begünstigt. Durch die stärkere Vernetzung mit dem Kunden und seinen Prozessen, sowie die lebenszyklusübergreifende Betrachtung werden Hersteller und Betreiber immer stärker ineinander integriert. Die daraus resultierende Verfügbarkeit der Information gewinnt insbesondere in den verteilten Produktionsstrukturen und globalen Wertschöpfungsnetzwerken an Bedeutung.⁷¹ In der Folge entsteht ein starker Informationsaustausch, welcher neue Ansätze für die Erhöhung des Applikationsnutzens für den Betreiber ermöglichen.

Durch eine stärker funktionsorientierte Sichtweise setzen sich auch im Softwarebereich neue Geschäftsmodelle durch. Dort werden nicht länger große Softwarepakete, sondern kleine individuelle Apps, welche nach Ihrer Nutzung abgerechnet werden, angeboten.⁷² Diese Entwicklung wird durch eine immer stärkere Vernetzung und die Verlagerung in die Cloud weiter vorangetrieben. Erst wenn die Nutzung detailliert und live überwacht werden kann, ist die Abrechnung solcher Geschäftsmodelle möglich.⁷³ Eine Grundbedingung für solche Geschäftsmodelle der Schutz der Daten vor Angriffen Dritter. Daher gehört zu jedem Modell ein entsprechendes Sicherheitskonzept.

69 vgl. Bullinger et al. 2006

70 vgl. Bauernhansl et al. 2002

71 vgl. Bullinger et al. 2009

72 vgl. Bauernhansl 2013

73 vgl. Kagermann et al. 2013

74 In Anlehnung an Bauernhansl et al. 2002

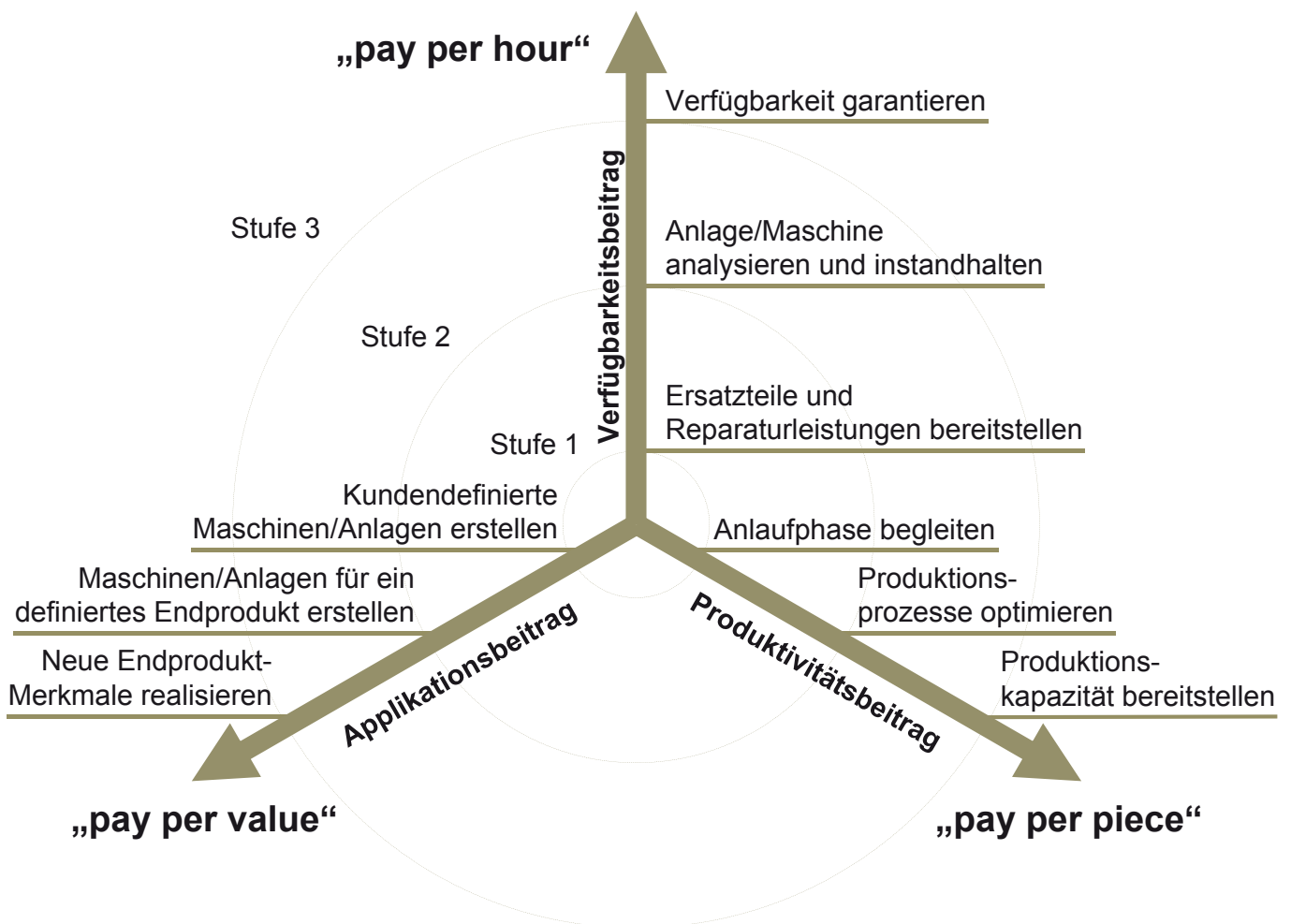


Abbildung 10: Strategieansätze in der Produktionsmittelherstellung und davon abgeleitete Geschäftsmodelle⁷⁴

Kapitel 3

KOMPETENZEN UND AKTEURE

Das Thema Industrie 4.0 wird in Baden-Württemberg von zahlreichen Unternehmen, Dienstleistern und Forschungseinrichtungen aktiv vorangetrieben. In der Folge ist es stark fach- und branchenübergreifend geprägt, was die Eingrenzung (und Adaption für das eigene Unternehmen) schwierig gestaltet. Der Einsatz von Industrie 4.0-Anwendungen ist prinzipiell nicht auf spezielle Industriezweige beschränkt, im Fokus dieser Studie steht die klassische produzierende Industrie ohne das Baugewerbe. Vorreiter in der Anwendung sind die Automobilindustrie, deren Zulieferer⁷⁵ und die Logistik⁷⁶.

Aufseiten der Anbieter von Industrie 4.0-Anwendungen sind diejenigen Branchen betroffen, die die Forschung, die Entwicklung, die Herstellung und den Betrieb von Produkten unterstützen. Dies betrifft neben klassischen Branchen der Fabrikarüstung und Produktion, einen Teilbereich der Softwareindustrie sowie Branchen, welche die Miniaturisierung und Kommunikation erst ermöglichen. Zu den letztgenannten Branchen werden die Mikrosystemtechnik, die Photonik, die Elektrotechnik, die Elektronik und die Kommunikationstechnik gezählt. In der Softwareindustrie sind die Teile für die Thematik Industrie 4.0 von Relevanz, die Forschung und Entwicklung, Herstellung, Betrieb sowie Recycling von Produkten unterstützen. In den klassischen Branchen sind der Maschinen und Anlagenbau mit dem Werkzeugmaschinenbau, die Förder- und Lagertechnik, die Mechatronik und die Automatisierungstechnik betroffen.

Für die weitere Analyse der Akteure und Kompetenzen wird eine Gliederung anhand technologie-orientierter Aspekte vorgenommen. Dazu werden ausgehend von CPS die folgenden beiden Klassen definiert (Abbildung 11).

CPS Befähiger sind Hersteller und Dienstleistungsanbieter, die sich auf Sub-CPS oder CPS-Komponenten fokussieren. Beispiele sind hier Sensorik- und Aktorikhersteller, Softwarehäuser oder Kommunikationstechnikhersteller. Kennzeichnend ist, dass Sub-

CPS meist Teil der Infrastruktur, einer Maschine oder Anlage sind. Sub-CPS Anbieter können anhand der CPS-Struktur wie folgt weiter untergliedert werden:

- Smarte Sensorik
- Smarte Aktorik
- Benutzerschnittstellen
- Software
- IT-Infrastruktur und IT-Sicherheit

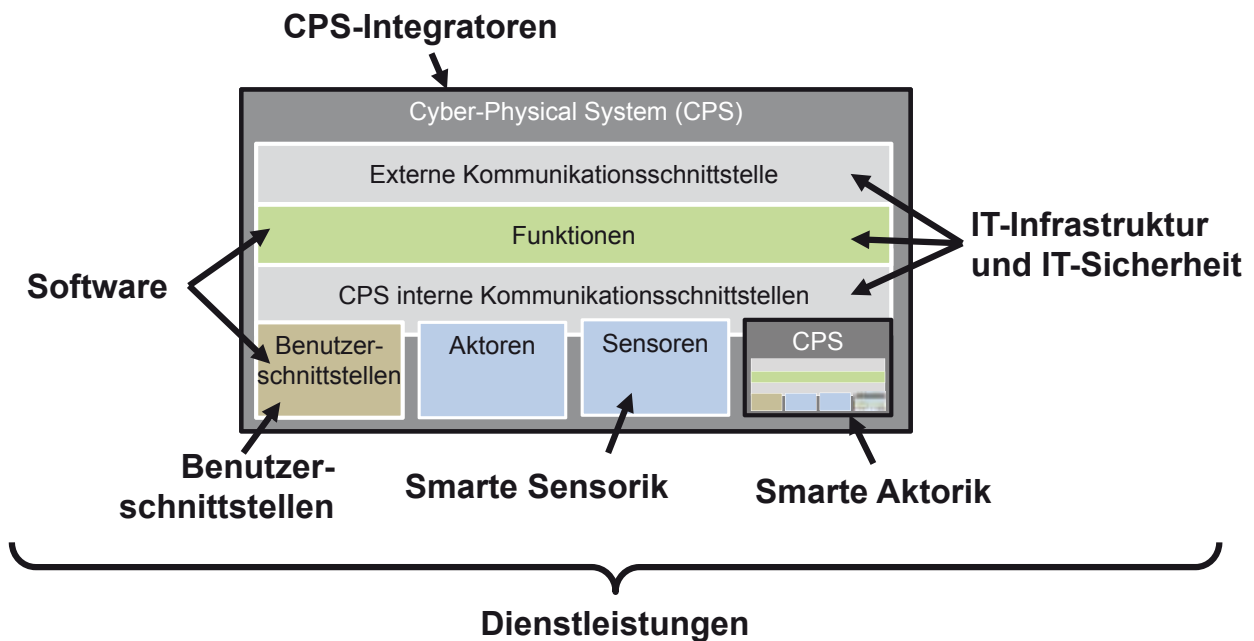
CPS Integratoren umfassen Hersteller und Dienstleistungsanbieter, die sich auf die Integration mehrerer Sub-CPS zu einem umfangreicheren CPS spezialisiert haben. Beispiele sind Maschinen- und Anlagenhersteller, insbesondere die Werkzeugmaschinenhersteller und Förder- und Lagertechnikhersteller.

Neben Unternehmen forschen zahlreiche Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen in den aufgezählten Industrie 4.0-relevanten Themenfeldern. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie wurden insgesamt ca. 400 größere Akteure identifiziert. Die Identifizierung erfolgte anhand der Teilnehmerlisten von öffentlichen Projekten, Initiativen oder herausragenden themenfeldspezifischen Kompetenzen. Die identifizierten Akteure können teilweise mehrere Kompetenzen abdecken. In den folgenden Kapiteln werden die Aktivitäten in Baden-Württemberg für die unterschiedlichen technologischen Themenfelder analysiert und relevante Projekte und Initiativen dargestellt. Bei den vorgestellten Akteuren handelt es sich um eine beispielhafte Aufzählung, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Im Rahmen des Kompetenzatlas des Landes Baden-Württemberg werden zahlreiche weitere Anbieter vorgestellt.⁷⁷

75 vgl. Verlag Moderne Industrie 2013

76 vgl. Hiemer 2013

77 Webseite Kompetenzatlas: www.i40-bw.de



Legende:

CPS-Integratoren: Maschinen und Anlagenbauer, Werkzeugmaschinen, Fördertechnik, (Intra)-Logistik

Software: Strategische Investitionsplanung, Forschung, Produktentwicklung, Prozessplanung und -entwicklung, Fabrikplanung, Produktionsplanung, Supply Chain Management, Beschaffung, Einkauf, Kundenmanagement, Marketing, Vertrieb, Fertigung, Montage, Logistik, Lager, Versand, Instandhaltung, After Sales, Service, IT-Infrastruktur, IT-Sicherheit, Management, Verwaltung, Aus- und Weiterbildung)

IT-Infrastruktur und IT-Sicherheit: Netzwerk- und Kommunikationstechnikanbieter, Webhoster, Cloudanbieter, IT-Sicherheit

Benutzerschnittstellen: Hardware, spezialisierte Software

Dienstleistungen: Forschung, Entwicklung, Systemanpassung, Customizing, Beratung, Einführung und Inbetriebnahme, Fertigung von Hardware, Bereitstellung von IT-Infrastruktur

Abbildung 11: Technologieorientierte Ableitung von Anbieterklassen

Kapitel 3

3.1 CPS-BEFÄHIGER – SMARTE SENSORIK

Der Bereich Smarte Sensorik ist mit den dafür notwendigen Schlüsseltechnologien Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik in Forschung, Entwicklung und Industrie in Baden-Württemberg hervorragend aufgestellt (Abbildung 12). An den Universitäten des Landes beschäftigen sich in Freiburg das IMTEK⁷⁸, in Stuttgart das IFM⁷⁹, in Karlsruhe das IMT⁸⁰ und das wbk⁸¹ sowie in Ulm das IFM⁸². Weitere hervorragende Kompetenzen in der anwendungsorientierten Entwicklung von Mikrosystemen und Mikroelektronik finden sich in den Instituten der Hahn-Schickard-Gesellschaft in Villingen-Schwenningen (HSG-IMIT)⁸³ und Stuttgart (HSG-IMAT)⁸⁴, am Institut für Mikroelektronik Stuttgart (IMS CHIPS)⁸⁵, dem NMI⁸⁶ in Reutlingen, den Forschungsinstituten der Fraunhofer Gesellschaft (IPM, IAF, IPA, IOSB, ICT, EMI) und den Hochschulen Furtwangen, Esslingen und Aalen. Der Spitzencluster MicroTEC Südwest⁸⁷ vereinigt zahlreiche Forschungsinstitute und Industriepartner. Neben Forschungseinrichtungen existieren in Baden-Württemberg eine Vielzahl an führenden Sensorik- und Messtechnikherstellern für die Produktion. Dies umfasst auch die Bereiche Identifikation mit Barcode und RFID von Material, Produkten und Werkzeugen, Maschinensicherheit und Automation. Hersteller, die sich bereits im Zusammenhang mit dem Thema Industrie 4.0 engagieren, sind beispielsweise Balluff, Bosch, Festo, Pilz, Euchner, Carl Zeiss

78 IMTEK 2013

79 Universität Stuttgart IFM 2014

80 Karlsruher Institut für Technologie IMT 2013

81 Karlsruher Institut für Technologie wbk 2013

82 Universität Ulm IFM 2008

83 HSG-IMIT 2013

84 HSG-IMAT 2013

85 IMS Chips 2013

86 Universität Tübingen NMI 2013

87 MST BW 2013a

88 Micro-Electro-Mechanical System

89 Field Programmable Gate Array

90 System-on-a-Chip

91 IMTEK 2013

92 Universität Stuttgart IFM 2014

93 Karlsruher Institut für Technologie IMT 2013

94 HSG-IMIT 2013

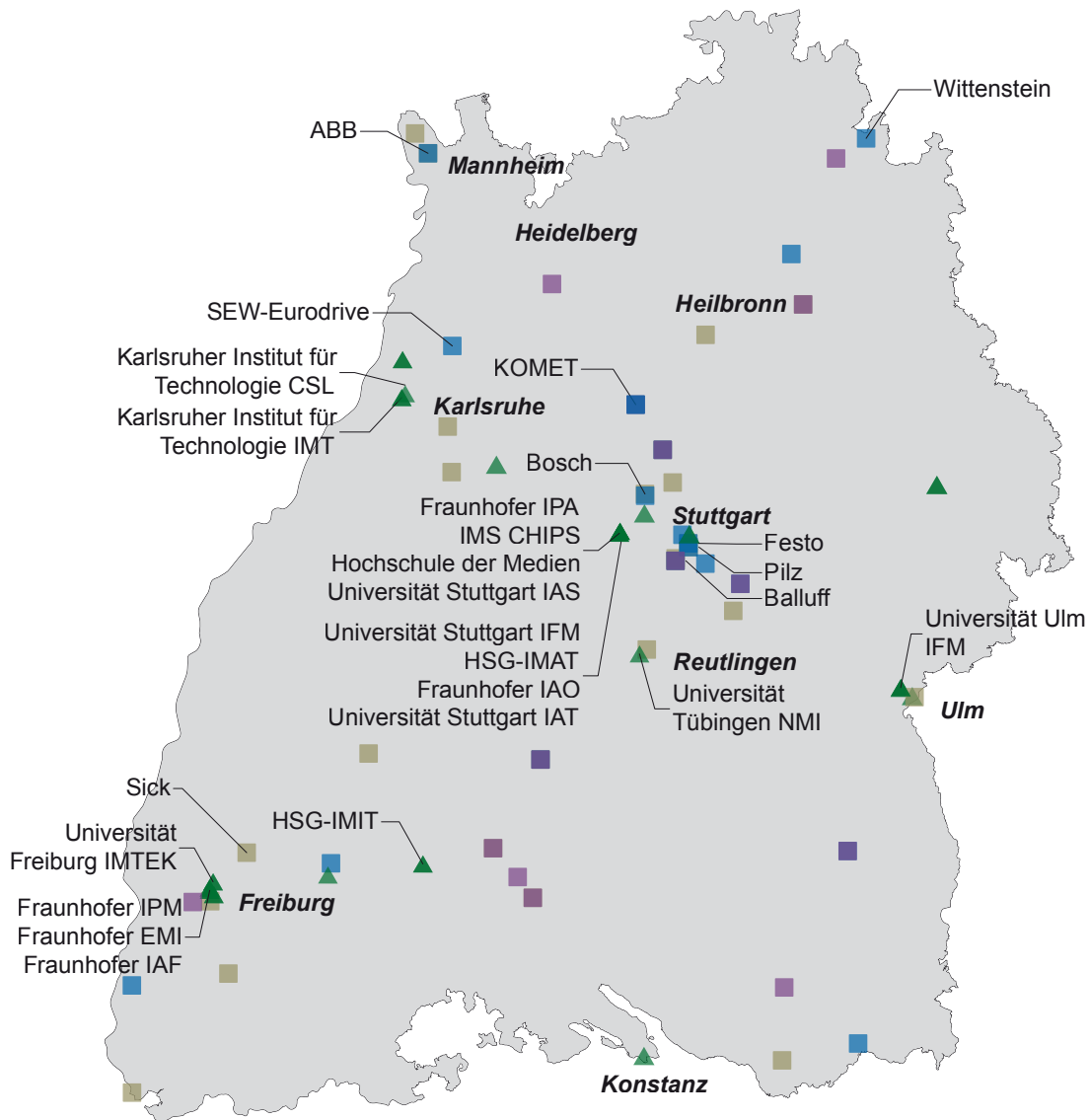
95 HSG-IMAT 2013

Industrielle Messtechnik, Endress + Hauser oder Sick. Beispielsweise wird im Rahmen des Spitzenclusters MicroTEC Südwest innerhalb der Integrationsplattform „Smart Systems Integration (SSI)“ im Teilprojekt ITAS eine Technologieplattform für autonome Sensormodule entwickelt. Beteiligt sind hier Bosch, Micropelt, Würth WE, Binder, IMS Chips und HSG-IMAT.

Ein aktueller Trend in der smarten Sensorik ist die Miniaturisierung und Integration von Funktionen, beispielsweise zur Signalverarbeitung und Kommunikation direkt im Sensor als Mikrosystem bzw. MEMS⁸⁸. Typische MEMS-Sensoren sind hier Beschleunigungssensoren, Gyroskope oder Mikrofone. Die Entwicklung und Fertigung von MEMS-Sensoren erfordert hohe Kompetenzen in der Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik und Halbleiterfertigung. Weiterer Trend ist es, bisher fest „verdrahtete“ Funktionen software-basiert mit flexibel programmierbaren Prozessoren zu realisieren. Dies ermöglicht gleichzeitig die Verbesserung oder die Nachrüstung von Funktionen in der Betriebsphase. Beispiele sind hier rekonfigurierbare FPGAs⁸⁹, Mikrocontroller oder SoC⁹⁰-Prozessoren. Weiterhin ist der zunehmende Trend in der Verwendung von IP-fähigen Kommunikationsschnittstellen wie beispielsweise Ethernet in Verbindung mit TCP/IP als Protokoll und Web Services zu beobachten. Plattformen zum Erfahrungsaustausch sind hier neben den bundesweit agierenden Verbänden VDMA, BITKOM und ZVEI, auf Landesebene beispielsweise das Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e. V., der MST BW – Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg e. V. oder Photonics BW e. V. und weitere Clusterinitiativen auf regionaler Ebene.

3.2 CPS-BEFÄHIGER – SMARTE AKTORIK

Für den Bereich „Smarte Aktorik“ werden analog zum Bereich „Sensorik“ die notwendigen Schlüsseltechnologien Mechatronik, Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik benötigt. Auch hier ist Baden-Württemberg in Forschung, Entwicklung und Industrie hervorragend aufgestellt (Abbildung 12). An den Universitäten des Landes beschäftigen sich in Freiburg das IMTEK⁹¹, in Stuttgart das IFM⁹² und in Karlsruhe das IMT⁹³. Weitere hervorragende Kompetenzen in der anwendungsorientierten Entwicklung von agierenden Mikrosystemen und Mikroelektronik finden sich in den Instituten der Hahn-Schickard-Gesellschaft in Villingen-Schwenningen (HSG-IMIT)⁹⁴ und Stuttgart (HSG-IMAT)⁹⁵, am Institut für Mikroelek-



- Unternehmen: Smarte Sensorik
- Unternehmen: Smarte Aktorik
- Unternehmen: Hardware/Benutzerschnittstellen
- ▲ Forschungseinrichtungen
- ▲ Universitäten
- ▲ Hochschulen

Abbildung 12: Landkarte mit Beispielen für Akteure in Smarter Sensorik, Smarter Aktorik und Benutzerschnittstellen

Kapitel 3

tronik Stuttgart (IMS CHIPS)⁹⁶ und den Forschungsinstituten der Fraunhofer-Gesellschaft (EMI, IAF, IPA, IPM). Diese sind am Spitzencluster MicroTEC Südwest⁹⁷ gemeinsam mit Industriepartnern beteiligt. Neben diesen Forschungseinrichtungen existiert in Baden-Württemberg eine Vielzahl an Aktorikherstellern für die Produktion. Dies umfasst beispielsweise Elektromotoren, elektrische Linearachsen, hydraulische und pneumatische Antriebe, Handlingsysteme und Greifer oder Werkzeuge. Die Grenze vom Aktorikhersteller zum CPS-Komplettanbieter ist hier fließend. Hersteller, die sich bereits im Zusammenhang mit dem Thema Industrie 4.0 engagieren, sind beispielsweise ABB, SEW-Eurodrive, Bosch, Festo, Wittenstein, KOMET Group, Faulhaber, Hainbuch, MAPAL Dr. Kress, ARADEX oder IEF Werner. Auch die Firmen Jetter, Pilz, Bosch Rexroth und AMK Antriebe sind durch ihr bestehendes Sortiment zur Erstellung vollwertiger Lösungen für Industrie 4.0-Anwendungen fähig. Beispielsweise wird im Rahmen des Spitzenclusters MicroTEC Südwest innerhalb der Integrationsplattform „Smart Systems Integration (SSI)“ in diesem Zusammenhang im Teilprojekt SmartWT ein intelligentes und prozessunterstützendes Werkstückträgersystem von Carl Zeiss 3D Automation, CADwalk, digiraster, efm-systems, Kugler, Schunk, Wittenstein, IMTEK und dem Fraunhofer IPA gemeinsam entwickelt.⁹⁸ Dieses besteht im Kern aus einer konfigurierbaren Sensor- und Aktorplattform mit Energiespeicher, einem Energie- und Datenmanagementsystem, Funkschnittstellen zu Sensoren, Aktoren und der übergeordneten Zellensteuerung. Die KOMET Group ist am Forschungsprojekt BaZMod beteiligt, welches sich mit der Entwicklung cyber-physischer Zusatzmodule für Werkzeugmaschinen mit Plug-and-Produce-Eigenschaften beschäftigt. Kern bildet eine Werkzeugmaschinen-spindel mit standardisierten physischen herstellerneutralen Schnittstellen. Mit cyber-physischen Zusatzmodulen, beispielsweise entsprechenden intelligenten Mess-

mitteln oder Werkzeugen, wird angestrebt, zusätzliche Prozessschritte einfach zu integrieren, um das Einsatzspektrum von Werkzeugmaschinen flexibel anpassen zu können. Mit dem Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e.V. steht in Baden-Württemberg eine Plattform für die kooperative Entwicklung neuer CPS bereit.

Ein Trend ist hier die Integration von Funktionen, beispielsweise zur Regelung, Zustandsdiagnose und Restlebensdauervorhersage oder „Plug and Produce“ für eine einfachere und schnellere Inbetriebnahme. Weiterer Trend, analog zu Smarten Sensoren, ist die zunehmende Verwendung von IP-fähigen Kommunikationsschnittstellen wie Ethernet. Plattformen zum Erfahrungsaustausch sind hier neben den bundesweit agierenden Verbänden VDMA und ZVEI, auf Landesebene beispielsweise das Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e.V., der MST BW – Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg e.V. oder Photonics BW e.V. und weitere Clusterinitiativen auf regionaler Ebene.

3.3 CPS-BEFÄHIGER – BENUTZERSCHNITTSTELLEN

Weitere Bausteine von CPS sind Benutzerschnittstellen, die meist Teil eines übergeordneten CPS, beispielsweise einer Werkzeugmaschine, sind. Dabei muss zwischen dem physischen Teil, der Hardware und den Benutzerschnittstellen einer Software unterschieden werden. Auch in diesem Bereich gibt es in Baden-Württemberg zahlreiche Forschungsinstitutionen und Unternehmen, die sich spezialisiert haben (Abbildung 12). Als Forschungseinrichtungen mit diesem speziellen Fokus sind hier das Cognitive Systems Lab (CSL) des KIT, das Institut für Informatik der Universität Freiburg, das Wilhelm-Schickard-Institut, der Universität Tübingen, das Institut für Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik (IAS)⁹⁹ und das Institut für Arbeitswissenschaft und Technologie-management (IAT)¹⁰⁰ der Universität Stuttgart, die Hochschule der Medien (HdM)¹⁰¹ Stuttgart, das Institut für Nachrichtentechnik¹⁰² der Universität Ulm und das Fraunhofer IAQ¹⁰³ zu nennen.

Wie bereits angedeutet, ist die Verbreitung von multimodalen Schnittstellen einer der wichtigsten Trends der kommenden Jahre. Hierbei werden mehrere Kommunikationskanäle nebeneinander genutzt, um dadurch die Interaktion mit dem CPS noch intuitiver zu gestalten. Dieser Ansatz wird bereits heute in der Konsumgüter-

96 IMS Chips 2013

97 MST BW 2013a

98 MST BW 2013b

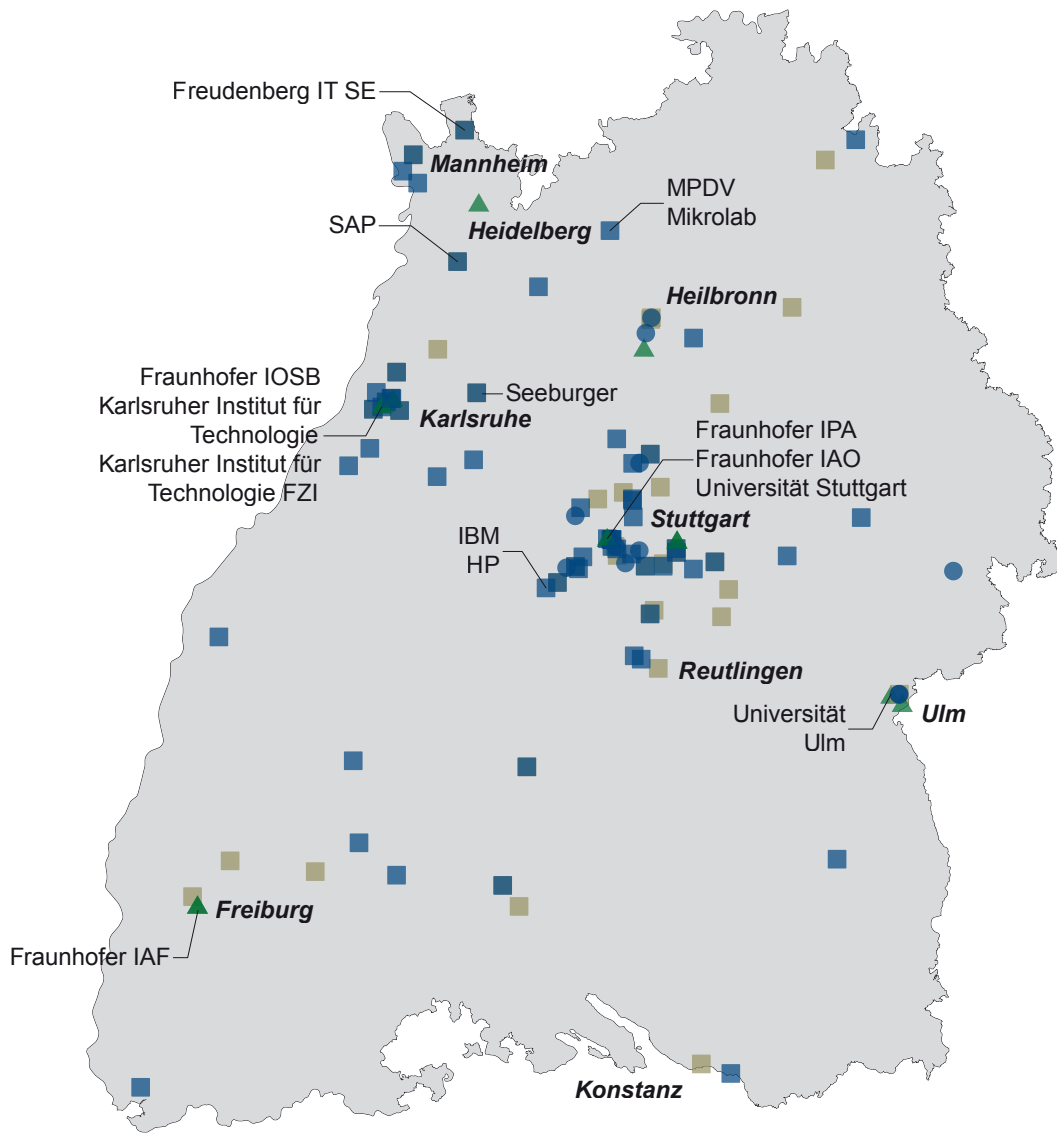
99 Universität Stuttgart IAS 2013

100 Universität Stuttgart IAT 2013

101 Hochschule der Medien Stuttgart 2013

102 Universität Ulm 2013

103 Bierkandt 2011



- Unternehmen: Software
- Unternehmen: IT-Infrastruktur und IT-Sicherheit
- ▲ Forschungseinrichtungen
- ▲ Universitäten
- ▲ Hochschulen

Abbildung 13:
 Landkarte mit Beispielen für Softwareanbieter
 (Entwicklung, Produktion, After Sales) und
 IT-Infrastruktur (Kommunikationstechnik,
 Webhoster, Cloud-Anbieter, IT-Sicherheit

Kapitel 3

industrie vielfach umgesetzt. Beispielsweise werden Smartphones und Tablets nicht nur über den Touchscreen, sondern verstärkt auch über Spracheingaben gesteuert. Schon heute kommen sprachverarbeitende Systeme beispielsweise für Pick-by-Voice-Systeme moderner Logistikzentren zum Einsatz. Wichtige Anbieter von Sprachtechnologie sind Sikom und EML European Media Laboratory. Auch in der Herstellung der notwendigen Hardware wie Schalter und Touchsysteme verfügt Baden-Württemberg über entsprechende Kompetenzen. Wichtige Hersteller sind beispielsweise RAFI, Bartec, Schubert System Elektronik, Pyramid Computer und R. Stahl.

3.4 CPS-BEFÄHIGER – SOFTWARE FÜR FORSCHUNG, ENTWICKLUNG, HERSTELLUNG, BETRIEB UND RECYCLING

Der Bereich Software für die Phasen Forschung, Entwicklung, Herstellung, Betrieb und Recycling im Lebenslauf eines Produktes ist eine weitere Schlüsseltechnologie von CPS. Je nach Ausprägung des CPS können unterschiedlichste Softwaretypen beteiligt sein. Dies kann die typischen Werkzeuge der Produktentwicklung (CAD/CAE), über die Werkzeuge der Fabrik-, Prozess- und Arbeitsplanung (CAP, CAM), des Auftragsmanagements, der Produktionsplanung und -Steuerung und des Supply Chain Managements (CRM, ERP/PPS, SCM), des operativen Fabrikbetriebs (MES, BDE, QM), der Instandhaltung (IPS), des After Sales und PLM umfassen.

Neben dem allgemeinen Trend zur Hardware-Virtualisierung von Servern und den darauf laufenden Softwaresystemen ist die weitere Stufe die Verlagerung von Funktionen und Daten in die Cloud. Vorteile sind neben der Verlagerung der Verfügbarkeit und Ausfallsicherheit auf externe Dienstleister, die einfache Skalierbarkeit

von benötigter Rechenleistung oder Speicher. Auch können damit je nach Geschäftsmodell verursachungsgerechte Kosten realisiert werden. Bei der Verlagerung von Daten und Funktionen in die Cloud ist der Nutzen abzuwägen und die Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit von Cloud-Anbietern zu berücksichtigen. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) bietet hier weiterführende Informationen.¹⁰⁴ Eine weitere Entwicklung ist, dass durch die zunehmende Leistungsfähigkeit von Computern immer größere Datenmengen ausgewertet werden können. Durch diesen als Big Data bezeichneten Ansatz können ganz neue Potenziale in allen Geschäftsbereichen aufgedeckt werden. Auf softwaretechnischer Ebene geht der Trend hin zu Web Services, die eine einfache plattformunabhängige Vernetzung und Integration ermöglichen.

In Baden Württemberg haben sich in diesem Bereich zahlreiche Unternehmen angesiedelt, die sich bereits mit dem Thema Industrie 4.0 beschäftigen (Abbildung 13). Neben den Unternehmen sind in diesem Bereich die Forschungsinstitutionen aus Informatik, Produktentwicklung und Produktionstechnik (IFF, IAT, IAAS, IPVS, IKTD und der Exzellenzcluster SimTech) der Universität Stuttgart, dem wbk und dem IMI des Karlsruher Instituts für Technologie und die Fraunhofer Institute IPA, IAO und IOSB besonders aktiv. Im Software-Cluster sind für diesen Bereich besonders relevante Teilprojekte „SINNODIUM – Softwareinnovationen für das digitale Unternehmen“¹⁰⁵ und „InDiNet – Innovative Dienstleistungen im zukünftigen Internet“¹⁰⁶. Aus Baden-Württemberg sind SAP, SEEBURGER, CAS Software, das Forschungszentrum Informatik (FZI) in Karlsruhe und das Karlsruher Institut für Technologie beteiligt. Als weitere Softwareunternehmen im Thema Industrie 4.0 engagieren sich beispielsweise Hewlett-Packard¹⁰⁷, IBM¹⁰⁸, MPDV Mikrolab¹⁰⁹, Freudenberg IT Solution Consulting¹¹⁰, Bosch Software Innovations¹¹¹ oder Comara. Im Rahmen des Forschungsprojektes eApps4Production, an dem unter anderem das Fraunhofer IPA, MAG IAS und Leitz beteiligt sind, soll mit sogenannten Engineering Apps (eApps) Informationen und Wissen aus der Produktion, beispielsweise aus realen Zustands- und Prozessdaten der Cyber-Physical Systems, zu jeder Zeit, an jedem Ort und auf beliebigen Endgeräten nutzbar gemacht werden. Engineering Apps (eApps) sind kleine Applikationen mit spezifischem Funktionsumfang, die Ingenieurstätigkeiten unterstützen.¹¹² Im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg geförderten Projektes Virtual Fort

104 Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2012

105 Software-Cluster 2013a

106 Software-Cluster 2013b

107 Kagermann et al. 2013

108 Wende 2013

109 MPDV Mikrolab GmbH 2013

110 Freudenberg IT 2013

111 Bosch Software Innovations GmbH 2014

112 Bundesministerium für Bildung und Forschung 2013

Knox wurde federführend vom Fraunhofer IPA und von Hewlett-Packard eine föderative IT-Plattform für produzierende Unternehmen entwickelt, die bedarfsgerechte funktionale IT-Lösungen bietet.¹¹³ Eine erste Validierung des eApps und somit auch des Industrie 4.0 Ansatzes im produzierenden industriellen Umfeld erfolgt in dem durch das Fraunhofer IPA koordinierte EU-FP7 Projekt „Apps 4 advanced Manufacturing Engineering“^{114 115} (Apps4aME). In diesem Projekt wird für vier grundsätzlich verschiedene Industriezweige (Großserien-Automobilbau, Werkzeugbau, Nahrungsmittelverarbeitung, Softwareanbieter im Logistikbereich) und somit aus vier verschiedenen Sichtweisen die Praktikabilität und der real erzeugte Nutzen auch bei internationaler Umsetzung des Industrie 4.0 Ansatzes verifiziert. In diesem Rahmen werden teilweise vernetzte eApps erstellt, welche von der Unterstützung einfachster Aufgaben bis hin zur realen Anbindung Cyber-Physical Systems und der Informationsauswertung mithilfe von Ontologie reichen. Plattformen zum Erfahrungsaustausch sind hier neben den bundesweit agierenden Verbänden VDMA, BITKOM, auf Landesebene beispielsweise die smart businessIT Initiative und weitere Clusterinitiativen auf regionaler Ebene.

3.5 CPS-BEFÄHIGER – IT-INFRASTRUKTUR UND IT-SICHERHEIT

Der Bereich der IT-Infrastruktur bildet die Basis für CPS und Industrie 4.0-Anwendungen. Diese umfasst Kommunikationstechnikanbieter, Internetanbieter, Webhoster, Anbieter von Cloud-Plattformen sowie IT-Sicherheitsanbieter. In Baden-Württemberg beschäftigen sich zahlreiche Forschungsinstitute an den Universitäten in Stuttgart, Karlsruhe und Ulm in den Bereichen Elektrotechnik und Informatik mit diesem Themengebiet (Abbildung 13). Auch auf Industrieseite sind in Baden-Württemberg im Bereich Kommunikationstechnik eine Vielzahl an Unternehmen angesiedelt, die das gesamte Spektrum von der Maschine, über die Netzwerktechnik bis hin zu Anbindung für Cloud Computing Rechenzentren mittels Satellitenkommunikation¹¹⁶ abdecken. Einige Beispiele aus dem Bereich Kommunikationstechnik sind Leuze elektronik, HMS Industrial Networks, Pepperl und Fuchs, Alcatel-Lucent, telent, Festo oder Balluff. In der Sicherheitstechnik sind beispielsweise WIBU-Systems und Avira in Baden-Württemberg aktiv. Wichtigster Trend dieser Branche ist die zunehmende Datenmenge. In der Folge werden in kurzen zeitlichen Abständen immer neue Kommunikationsstandards entwickelt. Die Industrie

lehnt sich dabei stark an Technologien aus dem Konsumgüterbereich an. Beispielsweise werden Breitbandanschlüsse, LTE, WLAN und Bluetooth auch in Industrie 4.0-Anwendungen eingesetzt. An einer flexibleren Steuerungstechnik für Cyber-Physical Systems forscht neben dem ISW der Universität Stuttgart auch Bosch und die Homag Holzbearbeitungssysteme im Projekt pICASSO¹¹⁷. Im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg geförderten Projektes Virtual Fort Knox wurde federführend vom Fraunhofer IPA und von Hewlett-Packard eine föderative IT-Plattform für produzierende Unternehmen entwickelt, die bedarfsgerechte funktionale IT-Lösungen bietet.¹¹⁸ Weitere wichtige Forschungseinrichtungen sind das Forschungszentrum für Informatik des KIT¹¹⁹ sowie das Fraunhofer IOSB¹²⁰.

3.6 CPS-INTEGRATOREN

Anbieter von Cyber-Physical Systems geben ihren Kunden die Möglichkeit, vollständige funktionierende CPS, inklusive Aktoren, Sensoren, Schnittstellen usw., zu erwerben. Cyber-Physical Systems führen somit die zuvor vorgestellten intelligenten Komponenten in einem System zusammen. Mögliche CPS-Anbieter sind beispielsweise Unternehmen aus der Fördertechnik oder Hersteller von Werkzeugmaschinen sowie weitere Anbieter aus dem Maschinen und Anlagenbau. In der Forschung sind die Fraunhofer-Institute sowie die Universität Stuttgart und das Karlsruher Institut für Technologie aktiv (Abbildung 14). Wichtige Forschungsgebiete sind das Zusammenspiel mehrerer Systeme und die Integration der Systeme in das Gesamtsystem Fabrik. Im Folgenden sollen einige aktuelle Forschungsprojekte beispielhaft kurz vorgestellt. Das Forschungsprojekt CYPROS konzentriert sich auf die Entwicklung einer Plug & Play-fähigen Referenzarchitektur, sowie die Erstellung

113 vgl. Landherr et al. 2013

114 vgl. apps4aME 2013

115 vgl. Landherr et al. 2012

116 ND SATCOM 2013

117 Universität Stuttgart ISW 2013

118 Virtual Fort Knox 2013

119 Karlsruher Institut für Technologie FZI 2013

120 Fraunhofer IOSB 2011a

Kapitel 3

von Hilfsmitteln für die Einführung von CPS. Projektpartner sind unter anderem die Firmen Wittenstein und Trumpf.¹²¹ Das Fraunhofer IOSB beschäftigt sich im Rahmen von SecurePLUG-and-WORK mit der intelligenten Vernetzung der Produktion.¹²² Das Projekt KapaflexCy des Fraunhofer IAO befasst sich mit der Einführung von Werkzeugen und Methoden für eine selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität.¹²³ Im Projekt SmartF-IT werden adaptive Cyber-Physical IT-Systems entwickelt.¹²⁴ Auch das Fraunhofer IPA forscht aktiv am Thema Cyber-Physical Systems. Im Projekt ARENA 2036 werden zukünftige Produktionskonzepte erforscht.¹²⁵ Im Projekt SmartTool werden neue intelligente Werkzeuge für die vernetzte Fertigung erforscht.¹²⁶ An einer flexibleren Steuerungstechnik für Cyber-Physical Systems forschen neben dem ISW der Universität Stuttgart auch die Firmen Bosch und Homag Holzbearbeitungssysteme im Projekt pCASSO.¹²⁷ Im Bereich Logistik sind beispielsweise die Unternehmen Viastore Systems, Kasto Maschinenbau, Dambach Lagersysteme, Bär Automation und Gebhardt Fördertechnik mit vernetzter Lagertechnik und fahrerlosen Transportsystemen aktiv. Auch die Firma Eisenmann bietet mit dem am Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart entwickelten Doppelkufensystem^{128, 129} ein Cyber-Physical System. Würth bietet mit dem iBin¹³⁰ einen neuartigen Kleinladungsträger an. Das Unternehmen Synapticon beschäftigt sich zum Beispiel mit der Entwicklung von Elektronikkomponenten die Anbieter bei der schnellen Entwicklung von CPS unterstützen.¹³¹ ABB stellt einen der zahlreichen Anbieter von Industrieautomation dar.¹³² Neben diesen Branchen ist Baden-Württemberg

stark vom Werkzeugmaschinenbau geprägt. Auch in dieser Branche setzen verstärkt Entwicklungen hin zur Vernetzung ein. Beispiele aus diesem Bereich sind die Unternehmen Trumpf, Homag Holzbearbeitungssysteme, teamtechnik Maschinen und Anlagen, MAG IAS, EMAG Salach oder Gebrüder Heller. Zu dieser kleinen Auswahl kommen Dienstleister mit besonders innovativen Geschäftsmodellen wie beispielsweise die Firmen Walter oder Gühring. Beispiele für weitere Anbieter aus dem Maschinenbau sind Arburg und Dürr. Plattformen zum Erfahrungsaustausch sind hier neben den bundesweit agierenden Verbänden VDMA, BITKOM und ZVEI, auch auf Landesebene beispielsweise das Kompetenznetzwerk Mechatronik BW e. V., Manufature BW e. V., der MST BW – Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg e. V., die smart businessIT Initiative oder das Logistik-Netzwerk Baden-Württemberg (LogBW), Baden-Württemberg: Connected e. V. (bwcon), Virtual Dimension Center Fellbach w. V. und weitere regionale Clusterinitiativen.

121 WITTENSTEIN AG, Fraunhofer IWU 2013

122 Fraunhofer IOSB 2011b

123 Fraunhofer IAO 2013

124 SmartF-IT 2013

125 Universität Stuttgart 2012

126 Karlsruher Institut für Technologie PTKA 2013

127 Universität Stuttgart ISW 2013

128 Universität Stuttgart IFT 2013

129 Eisenmann 2014

130 Würth Industrie Service 2013

131 Synapticon 2013

132 ABB 2014

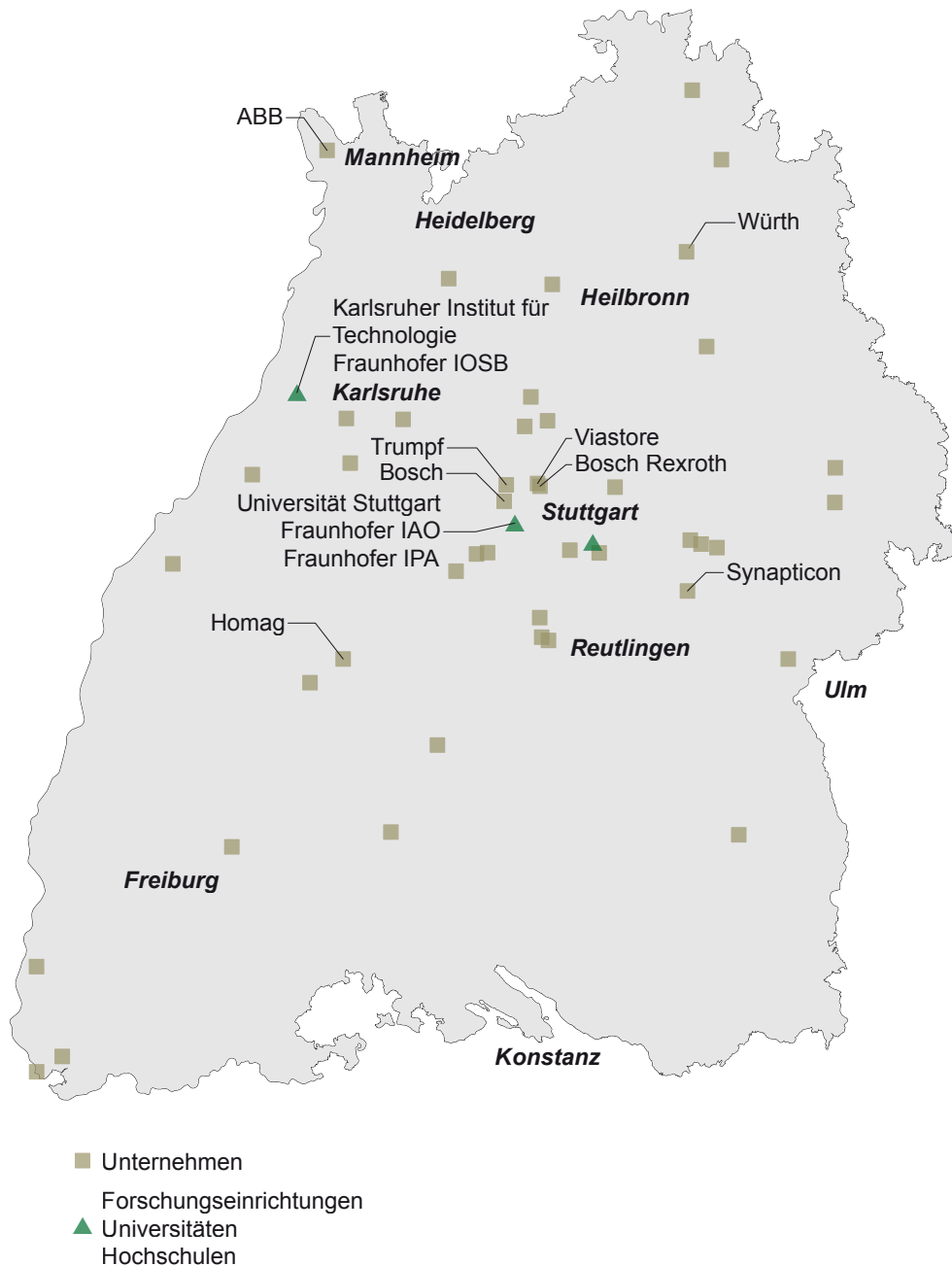


Abbildung 14: Landkarte mit Beispielen für Akteure der CPS Integration

Kapitel 4

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Bei der Entwicklung und Implementierung von Industrie 4.0-Anwendungen müssen die individuellen Voraussetzungen des Anwenderunternehmens betrachtet werden. Im nachfolgenden Kapitel sollen die wichtigsten Fragen beleuchtet werden. Darüber hinaus sollten zusätzlich die gängigen Richtlinien VDI 2519 und VDI/VDE 3694 zur Erstellung von Lasten- und Pflichtenheften beachtet werden.^{133 134}

Mit welchem Ziel führt das Unternehmen „Industrie 4.0“ als Anwender ein?

Bevor ein Unternehmen mit der Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen beginnt, müssen zunächst die damit verbundenen Zielsetzungen in einem Lastenheft klar definiert werden. Im ersten Schritt werden dazu die Ursachen der Einführung festgehalten und Ziele abgeleitet. Die Hauptgründe für die Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen liegen in Kundenforderungen oder ungenutzten Potenzialen in der Produktion. Abgeleitete Oberziele für den Einsatz von Industrie 4.0-Anwendungen sind beispielsweise die Steigerung des Kundennutzens oder die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit durch Qualitäts-, Lieferservice-, Flexibilität- oder Kostenoptimierungen.

Wie werden die „Industrie 4.0-Anwenderziele“ erreicht?

Das zuvor entwickelte Lastenheft muss im nächsten Schritt in Zusammenarbeit mit einem Anbieter von Industrie 4.0-Anwendungen in einem Pflichtenheft weiter detailliert werden. Die folgenden Aspekte liefern einige beispielhafte Ansatzpunkte für die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit durch die vierte industrielle Revolution:

- Steigerung der Verfügbarkeit von Produktionsanlagen durch verbesserte Überwachung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen
- Höhere Auslastung von Maschinen und Anlagen bei variantenreichen Produkten durch Selbststeuerung der Fertigung

- Reduktion der Losgrößen infolge der höheren Flexibilität von CPS
- Effektivere Materialbereitstellung durch Vernetzung von Produktion und Logistik
- Reduktion von Energieverbrauch und Emission, durch intelligentere Steuerung von Maschinen und Anlagen
- Steigerung von Reaktionsfähigkeit und Entscheidungsqualität durch die Verfügbarkeit von Informationen über den gesamten Lebenszyklus

Das gemeinsame Ziel dieser doch sehr unterschiedlichen Ansatzpunkte ist es, jeweils eine verbesserte Verfügbarkeit von Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus zu erreichen. Zur Umsetzung muss die Kommunikationsfähigkeit der beteiligten Systeme stark verbessert werden. Die einfachste Form stellt eine passive Kommunikation dar. Ein Beispiel hierfür ist ein passiver RFID-Tag, der nur auf Anfragen reagieren kann. Im Gegensatz dazu können Systeme mit einer aktiven Kommunikation selbstständig Informationen bereitstellen. Hierbei handelt es sich beispielsweise um smarte Sensoren, Aktoren oder mobile Endgeräte. Fernes Ziel ist, dass sich CPS ihre Einzelfähigkeiten selbstständig kombinieren und sich zu neuen Systemen temporär verbinden. Nachdem die Ausarbeitung einer Lösung abgeschlossen ist, muss diese nach Kosten- und Nutzens Gesichtspunkten bewertet werden. Die Entscheidung hin zur Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen hat weitreichende Folgen für das gesamte Unternehmen. Gerade bei größeren Investitionen kann es von Vorteil sein, erfahrene Experten in die Analyse und Bewertung einzubeziehen. Die Einführung selbst kann schrittweise mithilfe von Leuchtturmprojekten erfolgen. Beispiele zum Einstieg finden sich in den acht Use Cases der Umsetzungsempfehlungen der Plattform Industrie 4.0.¹³⁵

Mit welchem Ziel führt das Unternehmen Industrie 4.0-fähige Produkte als Anbieter ein?

Auch Anbieter von Industrie 4.0-fähigen Produkten sollten zunächst ihre Ziele in einem Lastenheft genau festhalten, um daraus Maßnahmen abzuleiten und später die Zielerreichung kontrollieren zu können. Bei der Festlegung des Ziels ist zunächst die Motivation

¹³³ vgl. VDI 2519

¹³⁴ vgl. VDI/VDE 3694

¹³⁵ Kagermann et al. 2013

für die Entwicklung von Industrie 4.0-fähigen Produkten entscheidend. Reagiert das Unternehmen auf bereits definierte Kundenforderungen oder handelt das Unternehmen aktiv. Das bedeutet, dass es aufgrund einer selbst gewählten Strategie in neue Märkte vordringen oder sich in seinen bisherigen Märkten einen Wettbewerbsvorteil verschaffen möchte. Beispiele für mögliche Zielsetzungen sind:

- Verfügbarkeit von Informationen über den Lebenszyklus (Sensornetze, CPS-Netze)
- Schnellere Inbetriebnahme in der Produktion (Plug & Produce)
- Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen unterstützen die Mitarbeiter
- Neuartige Services verschmelzen mit dem Produkt (Betreibermodelle)

Wie werden die „Industrie 4.0-Anbieterziele“ erreicht?

Im ersten Schritt werden die verschiedenen Umsetzungsmöglichkeiten grob ausgearbeitet. Mögliche Lösungsansätze finden sich in den Industrie 4.0-Anwenderzielen. Für den Anbieter stellt sich zudem die Frage, ob die erstellte Lösung überhaupt technisch machbar ist. Hierbei gibt es zwei Hauptaspekte. Einerseits ist fraglich, ob die Lösung mit dem aktuellen Stand der Technik umsetzbar ist. Auf der anderen Seite muss der Anbieter die eigenen Kompetenzen bewerten. Sind diese nicht ausreichend, muss entschieden werden, ob diese Kompetenzlücke über einen Projektpartner ausgeglichen werden kann.

In einem zweiten Schritt werden Kosten und Nutzen der Anwendung gegenübergestellt. Ein wichtiger Faktor sind hierbei die sehr hohen Entwicklungskosten. In Anschluss daran wird ein Pflichtenheft erstellt, in welchem das spätere Produkt, dessen Funktionen und die damit verbundenen Dienstleistungen vor allem auf Softwareebene detailliert ausgearbeitet werden. In der weiteren Entwicklung einer Industrie 4.0-Anwendung werden die angestrebten Services in Software und Firmware implementiert. In weiteren Schritten, wenn möglich parallel, werden die elektronischen Teile, wie smarte Sensoren, smarte Aktoren, Benutzerschnittstellen und

Kommunikationstechnik sowie die mechanischen Teile des Cyber-Physical Systems entwickelt. Meist verfügt nicht ein Anbieter allein über alle benötigten Kompetenzen. Daher ist es von Vorteil, Partner mit in die Umsetzung einzubeziehen. Hilfestellung bei der Suche nach Partnern liefert der Kompetenzatlas des Landes Baden-Württemberg.¹³⁶ Die erste Umsetzung erfolgt in Leuchtturmprojekten bei einem Lead User, welcher detaillierte Rückmeldung über den Einsatz gibt.

Welche Geschäftsmodelle lassen sich für Anbieter von Industrie 4.0-fähigen Produkten ableiten?

Ausgangsbasis für neue Geschäftsmodelle im Rahmen der vierten industriellen Revolution ist die Verfügbarkeit von Informationen über den gesamten Lebenszyklus. Lösungsansatz ist die Einführung von CPS, die durch ihre Vernetzung eine noch engere Verbindung zwischen dem Hersteller und dem Produkt auch nach dem Verlassen der Fabrikhalle ermöglichen. In der Folge sind die Anbieter von Industrie 4.0-fähigen Produkten dazu in der Lage, ihre Produkte mit zusätzlichen Services in den Lebenszyklusphasen Nutzung und Entsorgung zu verknüpfen. Einen wichtigen Ansatzpunkt für neue Geschäftsmodelle bietet die strategische Ausrichtung in der Steigerung von Produktivitäts-, Verfügbarkeits- und Applikationsbeiträgen. Durch die Verlagerung von Informationen und Programmen in die Cloud können zudem in Verbindung mit Web Services ganz neue Anwendungsfälle für die Kunden geschaffen werden.

Folgende Fragen können als Orientierung bei der Einführung neuer Geschäftsmodelle dienen:

- Welche vergleichbaren Geschäftsmodelle gibt es am Markt bereits?
- Welchen zusätzlichen Nutzen bietet das Geschäftsmodell für den Kunden?
- Welche Kosten fallen an? Welche Preise können am Markt erzielt werden?

¹³⁶ Webseite Kompetenzatlas: www.i40-bw.de

Kapitel 4

Bei der Auswahl des Geschäftsmodells werden unternehmensspezifische Aspekte, erwartete Absatzmenge, sowie erwartete Finanzkennzahlen, wie TCO und ROI berücksichtigt. Vor der Einführung neuer Geschäftsmodelle muss sich der Anbieter zudem über seine vorhandenen Kompetenzen sowie die Komplexität des Vorhabens im Klaren sein. In vielen Fällen ist es sinnvoll, die bestehenden Kompetenzen durch starke Partner zu erweitern.

⇒ Geschäftsmodelle (Kapitel 2.3)

4.1 EINSATZBEREICHE EINER INDUSTRIE 4.0-ANWENDUNG

Welche Bereiche im Unternehmen betrifft der Einsatz einer geplanten Industrie 4.0-Anwendung?

Die Anwendung von CPS kann in nahezu allen Funktionsbereichen entlang des Produktlebenszyklus erfolgen. Neben den typischen Bereichen Fertigung, Montage, Instandhaltung, Supply Chain Management, Logistik, Lager und Versand können CPS auch in indirekten Bereichen, wie strategischer Investitionsplanung, Entwicklung, Prozess-, Fabrik- und Produktionsplanung, Einkauf, Marketing, Vertrieb und Verwaltung sinnvoll eingesetzt werden.

Welche Phasen im Lebenszyklus eines Produkts/einer Fabrik sind betroffen?

Einer der grundlegenden Ansätze von Industrie 4.0 ist die Betrachtung von Produkten und Fabriken über den gesamten Lebenszyklus. In die Praxis überführt bedeutet dies, dass das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk von der Konstruktion und Entwicklung, über die Lieferanten und die Fertigung bis hin zum Kunden und der Entsorgung vernetzt ist. Beispielsweise sind die in der Konstruktion erstellten Zeichnungen frühzeitig für alle Unternehmensbereiche verfügbar und erleichtern dadurch beispielsweise Simultaneous Engineering. In der Folge sind Anpassungen in der Planung beziehungsweise Entwicklung von Fabriken und Produkten notwendig. Ziel ist es, dass Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus für die relevanten Personen verfügbar sind. Dadurch bieten sich insbesondere während des Betriebs des Produkts zahlreiche Vorteile. Beispielsweise können Ausfälle frühzeitig erkannt und

durch einen rechtzeitigen Service gegebenenfalls verhindert werden. Neben den Auswirkungen auf den Lebenszyklus des Produkts, wirkt sich Industrie 4.0 auch auf den Lebenszyklus der Fabrik aus, von der Entwicklung über Aufbau, Anlauf, Betrieb und Modernisierung bis hin zum Abbau.

⇒ Lebenszyklusorientierung (Kapitel 2.1)

4.2 FUNKTIONEN VON INDUSTRIE 4.0-ANWENDUNGEN

Was ist die konkrete Aufgabe des CPS?

CPS kommen in allen Phasen des Produkt- und Fabriklebenszyklus vor und übernehmen dort eine Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben. Neben der eigentlichen Aufgabe, die durch Sensoren überwacht, physisch durch Aktoren und digital durch die Funktionen ausgeführt wird, dient ein CPS vor allem der Verteilung von Informationen an die relevanten Stellen. Hierzu stehen dem System mit der Benutzerschnittstelle sowie den internen und externen Kommunikationsschnittstellen verschiedene Wege zur Verfügung. Das System kann mithilfe der Funktionen selbst Maßnahmen ableiten oder Entscheidungen durch übergeordnete Stellen anfordern. Die Aufgaben selbst hängen stark vom Einsatzbereich der Anwendung ab. Das Schema in Abbildung 15 bietet eine Hilfestellung, gemeinsam mit den nachfolgenden Fragen, eine Industrie 4.0-Anwendung schnell und technologieunabhängig einzuordnen. Dabei sind zunächst die vorgesehenen Einsatzbereiche der Industrie 4.0-Anwendung festzulegen. Je nach Bereich müssen die erforderlichen Funktionen ausgewählt und die räumliche Verteilung festgelegt werden. Dieses kann als Ausgangspunkt für weitere detaillierte Spezifikationen dienen, beispielsweise die Umsetzung verschiedener Funktionen in einem Gehäuse.

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

Abbildung 15:
Schema zur technologie-neutralen Kategorisierung von Industrie 4.0-Anwendungen

Über welche primären Funktionen soll die geplante Industrie 4.0-Anwendung verfügen?

Die primären Funktionen der CPS sind abhängig von den jeweiligen Anforderungen des Industrie 4.0-implementierenden Unternehmens. Prinzipiell sind folgende Funktionen möglich:

- Datenerfassung und -übernahme
 - Datenverwaltung
 - Erstellung, Bearbeitung
 - Simulation
 - Überwachung
 - Analyse, Auswertung
 - Visualisierung
 - Steuerung, Regelung
 - Maßnahmeneinleitung
- ⇒ Aufbau von Cyber-Physical Systems (Kapitel 2.2.2)

Kapitel 4

Werden die Daten von Sensoren nur lokal innerhalb des CPS benötigt oder zusätzlich unmittelbar anderen CPS zur Verfügung gestellt?

Der Umgang mit Daten im CPS ist vom jeweiligen Anwendungsfall abhängig und muss im Einzelfall betrachtet werden. Prinzipiell sollte geprüft werden, welche Daten für die entsprechende Industrie 4.0-Anwendung benötigt werden.

⇒ Aufbau von Cyber-Physical Systems (Kapitel 2.2.2)

Räumliche Systemgrenzen: Wo sind die einzelnen Elemente des CPS lokalisiert?

Je nach Anwendungsfall unterscheiden sich die räumlichen Systemgrenzen eines CPS. Es kann auf einem einzelnen Chip, in einer Werkzeugmaschine, in einer Fabrik oder in einem kompletten Unternehmen angeordnet sein. Dabei können folgende Trends und unterschiedliche Partner, wie Mikrosystemtechnik-Anbieter, Cloud-Hosting-Unternehmen oder Softwarehäuser, unterstützen.

⇒ Trends Smarte Sensorik und Aktorik (Kapitel 3.1, 3.2)

- Miniaturisierung und Integration von Funktionen
- Software-basierte Realisierung bisher fest „verdrahteter“ Hardwarefunktionen mit flexibel programmierbaren Prozessoren
- Einsatz IP-fähiger Kommunikationsschnittstellen bis zur Sensorebene
- Einsatz standardisierter Kommunikationsschnittstellen wie Wireless LAN, Bluetooth, Ethernet

⇒ Trends Benutzerschnittstellen, IT-Infrastruktur und Software (Kapitel 3.3, 3.4, 3.5)

- Hardware-Virtualisierung von Servern

- Verlagerung von Funktionen in die Cloud
- Big Data und Analyse und Verarbeitung großer Datenmengen
- Verstärkter Einsatz von Service orientierten Architekturen (SOA) und Webservices
- Verstärkter Einsatz multimodaler Benutzerschnittstellen und mobiler Endgeräte, wie Smartphones oder Tablets
- Stärkere Verfügbarkeit und Nutzung von Breitbandanschlüssen und mobilen Kommunikationstechniken (z. B. LTE)

⇒ Aufbau von Cyber-Physical Systems (Kapitel 2.2.2)

4.3 SCHNITTSTELLEN BEI INDUSTRIE 4.0-ANWENDUNGEN

Besitzt das CPS Benutzerschnittstellen?

CPS verfügen über verschiedene Benutzerschnittstellen, welche bevorzugt über mehrere Kommunikationskanäle gleichzeitig, also multimodal, kommunizieren. Neben stationären Benutzerschnittstellen bieten CPS zusätzlich die Möglichkeit, mobile Geräte zu koppeln und somit räumlich flexibel agieren zu können.

⇒ Aufbau von Cyber-Physical Systems (Kapitel 2.2.2)

Über welche Schnittstellen soll die geplante Industrie 4.0-Anwendung verfügen?

Die Industrie 4.0-Anwendung kann über interne und externe Schnittstellen verfügen, die die notwendigen Anforderungen erfüllen. Als interne Schnittstellen können beispielsweise Wireless LAN, Bluetooth, Ethernet und Feldbus eingesetzt werden, als externe Schnittstellen sind unter anderem Ethernet-Schnittstellen sinnvoll.

⇒ Aufbau von Cyber-Physical Systems (Kapitel 2.2.2)

Welche Anforderungen werden an die Schnittstellen werden zwischen den Modulen von CPS gestellt?

CPS zeichnen sich insbesondere durch offene, standardbasierte Schnittstellen aus. Diese ermöglichen eine unkomplizierte Integration von Maschinen, Anlagen und Produkte in das CPS. Diese offenen, standardbasierten Schnittstellen müssen hart echtzeitfähig sein, also eine Reaktion in einer definierten Zeitspanne garantieren und über eine ausreichende Übertragungskapazität verfügen. Zusätzlich müssen Schnittstellen Sicherheitsaspekten genügen.

⇒ Aufbau von Cyber-Physical Systems (Kapitel 2.2.2)

⇒ Anforderungen an CPS-Integratoren (Kapitel 2.2.3)

Kapitel 5

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Studie wurden die verschiedenen Grundlagen und die Potenziale für Industrie 4.0-Anwendungen herausgearbeitet, um Unternehmen im Einstieg in Industrie 4.0 sowohl auf Anwender als auch auf Anbieterseite zu unterstützen. Anhand von Sekundärrecherchen (Projektberichte, Technologiestudien, Pressemitteilungen) sowie den Ergebnissen einer Umfrage an die relevanten Clusterinitiativen und Wirtschaftsförderer in Baden-Württemberg wurden bereits vorhandene Industrie 4.0-anwendungsrelevante Akteure und Kompetenzen identifiziert.

Die Studie zeigt, dass die Verfügbarkeit von Informationen über den gesamten Produktlebenslauf der Schlüssel zu „Smart Factories“ und darüber hinaus zu „smarten“ oder intelligenten Wertschöpfungsketten ist. Ein wichtiges Mittel sind hierbei Cyber-Physical Systems (CPS). Mit der Einführung dieser Technologien beginnt eine vierte industrielle Revolution, die die Industrie nachhaltig verändern wird. Doch die Studie zeigt auch, dass Baden-Württemberg gut vorbereitet ist.

Aufgrund seiner tiefen Verwurzelung im Maschinenbau und seiner hohen Kompetenzen bei den eingebetteten Systemen und der Software verfügt das Land über alle nötigen Voraussetzungen.

Insbesondere in den Bereichen Sensorik und Aktorik sind viele Kompetenzen vorhanden. Zudem sitzen einige der Pioniere des Wandels in Baden-Württemberg. Schon heute arbeiten zahlreiche Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten im Land in Projekten an den erforderlichen Technologien. Daher sind auch bereits einige Integrierte, also Hersteller von CPS, auf dem Markt zu finden.

Insbesondere Baden-Württemberg kann sich als Marktführer des hochwertigen Werkzeugmaschinenbaus nicht ausruhen, sondern muss Vorreiter bei diesem Schritt hin zu einer stärkeren Integration der Informationstechnologie sein. Konkret bedeutet dies, dass auch kleine und mittlere Unternehmen das Thema aufgreifen. Die vorliegende Studie soll hierzu einen Beitrag leisten. Sie vermittelt dabei jedoch nicht nur Grundlagen. Sie zeigt Potenziale der vierten industriellen Revolution auf und wagt dabei einen Ausblick in die Zukunft. Zudem werden relevante Unternehmen, Forschungseinrichtungen und -projekte aufgeführt. Damit sollen die Unternehmen bei den Bestrebungen zur Überführung von Industrie 4.0 in die Praxis unterstützt werden.

Kapitel 6

GLOSSAR

Aktor: Technisches Element, das die physische Welt entsprechend der Vorgaben der Informationsverarbeitung unter Zunahme von Hilfsenergie verändert. Durch den Einsatz von herstellereigenen Schnittstellen ist das System zudem in der Lage, die gewonnenen Informationen an den Menschen oder an mechanische Systeme weiterzuleiten.¹³⁷

App: Die Abkürzung für Applikation steht für Programme, die auf Smartphones oder Tablets verwendet werden. Je nach Betriebssystem werden die komplexen Anwendungen in Objective-C (iOS) oder Java (Android) geschrieben.¹³⁸

Cloud Computing/Services: Einzelne Arbeitsbereiche (z. B. Programme, Softwarepakete, Speicherplatz, Rechenkapazität) werden nicht mehr auf der Festplatte, sondern über Internet oder lokale Netzwerke (der Cloud) bereitgestellt. Eine Schonung des Speichers, die Senkung der Betriebskosten, eine flexible Ressourcenanpassung und die Möglichkeit des orts- und personenunabhängigen Zugriffs zu jeder Zeit sind Potenziale die sich daraus ergeben.

Cyber-Physical Systems: „Cyber-Physical Systems umfassen eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse sowie Internetdienste, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken, mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen und über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen. Cyber-Physical Systems sind offene soziotechnische Systeme und ermöglichen eine Reihe von neuartigen Funktionen, Diensten und Eigenschaften.“¹³⁹

Digitale Fabrik: „Die digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und dreidimensionalen Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“¹⁴⁰

Embedded System: Ein eingebettetes System ist ein „Computersystem, das in Geräten, Anlagen und Maschinen eingebettet ist

und spezielle Anwendungen abarbeitet. Bedingt durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und die unterschiedlichsten Anforderungen ist eine generelle Charakterisierung von Embedded Systemen nicht möglich“.¹⁴¹

Engineering Apps „eApps“: eApps sind kleine Applikationen mit spezifischem Funktionsumfang, die Ingenieurstätigkeiten unterstützen. Sie können Informationen und Wissen aus der Produktion, beispielsweise aus realen Zustands- und Prozessdaten cyberphysischer Systeme, zu jeder Zeit, an jedem Ort und auf beliebigen Endgeräten nutzbar machen.¹⁴²

Feldbussystem: Leitungsgebundene serielle Bussysteme mit denen Sensoren (Feldgeräte) und Aktoren mit Steuerungsgeräten und Leitrechnern verbunden werden und über die der Datenaustausch zwischen den Komponenten erfolgt.

Firmware/Software: Im Gegensatz zur Software ist die Firmware fest mit der Hardware verbunden und ist ohne sie nicht zu verwenden. Ein Beispiel dazu wäre die Betriebssoftware verschiedener Geräte.

Geschäftsmodell: „Ein Geschäftsmodell beschreibt die Grundlogik, wie eine Organisation Werte schafft. Dabei bestimmt das Geschäftsmodell, (1) was eine Organisation anbietet, das von Wert für Kunden ist, (2) wie Werte in einem Organisationssystem geschaffen werden, (3) wie die geschaffenen Werte dem Kunden kommuniziert und übertragen werden, (4) wie die geschaffenen Werte in Form von Erträgen durch das Unternehmen „eingefangen“ werden, (5) wie die Werte in der Organisation und an Anspruchsgruppen verteilt werden und (6) wie die Grundlogik der Schaffung von Wert weiterentwickelt wird, um die Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells in der Zukunft sicherzustellen.“¹⁴³

137 VDI 2206

138 APPOXID 2013

139 Kagermann et al. 2013a

140 VDI 4499

141 ITWissen 2013

142 Landherr et al. 2012

143 Bieger et al. 2011

Kapitel 6

Human Machine Interface „HMI“: „Bestandteile eines interaktiven Systems (Software und Hardware), die Informationen und Steuerelemente zur Verfügung stellen, die für den Benutzer notwendig sind, um eine bestimmte Arbeitsaufgabe mit dem interaktiven System zu erledigen.“¹⁴⁴

Industrie 4.0: Begriff einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der Wertschöpfungskette über den Produktlebenszyklus. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung beteiligter Instanzen sowie die Fähigkeit, den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten.

Internet of Things: Computer werden zunehmend in alle Bereiche des Lebens integriert. Auch Produkte, die zuvor nicht mit Elektronik in Verbindung gebracht wurden, können elektrifiziert werden und dadurch einen höheren Nutzen bieten. Über die Vernetzung dieser Einheiten sind die Systeme in der Lage untereinander über das Internet zu kommunizieren und das Internet der Dinge entsteht.¹⁴⁵

IP-Fähigkeit: Das Internetprotokoll (IP) ist ein Netzwerkprotokoll und stellt die Grundlage des Internets dar. Ein IP-fähiges Gerät ist im Netz adressierbar und damit erreichbar.

Multimodale Ansprache/Kommunikation: Eine Interaktionsform zwischen Mensch und Maschine, bei dem mehrere Wege verwendet werden. Die Eingabe kann beispielsweise über die Sprache, eine Geste, einem Touchscreen, der Tastatur, Maus etc. geschehen.

Produktlebenszyklus-Management: Konzept / Strategie zur Verwaltung produktbeschreibender Informationen über den Lebenszyklus eines Produktes. „PLM geht dabei über die Verwaltung von

Produktionsdaten hinaus und beschreibt einen umfassenderen Prozess, der nicht nur Entwicklung und Konstruktion, sondern auch Einkauf, Fertigung, Montage, Service und Marketing beinhaltet. Bei PLM wird das Bestreben nach einer digitalen Fertigung bzw. Fabrik im Zusammenhang mit dem Produktlebenszyklus betrachtet. Dabei spielt die Internettechnologie eine wesentliche Rolle als Kommunikationsplattform.“¹⁴⁶

RFID: Radio Frequency Identification Tags sind Identifikations- und Informationsträger für eine moderne automatische Datenerfassung über eine sicht- und kontaktlose Datenübertragung auf Basis elektronischer Wellen auch durch körperliche Hindernisse hindurch. Potenziale bieten sich in der Produktion, für die Materialverfolgung, zur Kommissionierung, in der Lagerhaltung, beim Transport, beim Wareneingang und -ausgang, zur Bestandskontrolle oder zur Regaloptimierung.¹⁴⁷

Sensor: „Technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann.“¹⁴⁸ Sensoren nehmen Daten auf und leiten sie an die Softwarelösungen weiter.

Ubiquitous Computing: „Ubiquitous („Allgegenwärtiges“) Computing ist ein Post-Desktop-Modell der Mensch-Computer-Interaktion, bei der digitale Informationsverarbeitung in weiten Teilen in Alltagsgegenstände und Alltagspraxen integriert ist.“¹⁴⁹

Web-Service: „Ein Web Service ist eine im Netz bereitgestellte Komponente, die eine Abstraktionsebene einer Anwendungslogik darstellt. Auf den Dienst kann über Internetstandardprotokolle zugegriffen werden, für die Codierungen der Nachrichten wird XML genutzt. Dies soll eine einfache Bereitstellung und hohe Verfügbarkeit von Web Services gewährleisten. Das erklärte Ziel ist die Interoperabilität von Softwaresystemen, um unabhängig von Plattform und Programmiersprachen miteinander kommunizieren und arbeiten zu können.“¹⁵⁰

144 DIN EN ISO 9241-210

145 Fleisch und Mattern 2005

146 Blien 2013

147 Syska 2006

148 Kagermann 2013

149 Pipek 2012

150 Golem.de 2013

Kapitel 7

LITERATURVERZEICHNIS

DIN 1319-1, 1995-01: Grundlagen der Meßtechnik.

VDI 2206, 2004-06: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.

VDI 4499, 2008-02: Digitale Fabrik.

DIN EN ISO 9241-210, 2011-01: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme.

VDI/VDE 3694, 2013-06: Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen.

VDI 3633, 2013-12: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen.

ABB (2014): Industrieautomation und Antriebe.

Online verfügbar unter

<http://new.abb.com/de/ueber-uns/industrieautomation-antriebe>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.

APPOXID (2013): Was sind Apps? Online verfügbar unter

<http://www.appoxid.de/was-sind-apps>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

apps4aME (Hg.) (2013): Engineering Apps for advanced Manufacturing Engineering. Online verfügbar unter

<http://www.apps4ame.eu>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Arnold, Volker (2011): Product Lifecycle Management beherrschen. Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand. 2., neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bauernhansl, Thomas (2013): Die vierte industrielle Revolution verändert die Prozesse in der Produktion.

Industrie 4.0 hält Einzug in der digitalen Fabrik. In: *mv Innovationsforum* (Sonderheft Innovation-Forum), S. 6–8.

Bauernhansl, Thomas (2014): Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.):

Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bauernhansl, Thomas; Borrmann, Andreas; Degen, H.; Erb, M.; Eversheim, Walter; Hartung, Stefan; u.a.

(2002): Strategien im Maschinenbau – Wege zu Wachstum und nachhaltiger Profitabilität. In: Walter Eversheim, Fritz Klocke, Tilo Pfeifer, Günther Schuh und Manfred Weck (Hg.): Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. Aachen: Shaker, S. 17–39.

Kapitel 7

- Bieger, Thomas; Kyrs, Christian; Knyphausen-Aufseß, Dodo zu (Hg.) (2011): Innovative Geschäftsmodelle. Konzeptionelle Grundlagen, Gestaltungsfelder und unternehmerische Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bierkandt, Janina (2011): Usability und human-machine interfaces in der Produktion. Studie Qualitätsmerkmale für Entwicklungswerkzeuge. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag.
- BITKOM (Hg.) (2010): Eingebettete Systeme – Ein strategisches Wachstumsfeld für Deutschland. Online verfügbar unter http://www.bitkom.org/files/documents/EingebetteteSysteme_web.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Blien, Ralf (2013): Produktlebenszyklusmanagement. München. Online verfügbar unter <http://www.blien.de/ralf/cad/db/plm.htm>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Bosch Software Innovations GmbH (2014). Online verfügbar unter <http://www.bosch-si.com/home/homepage.php>, zuletzt geprüft am 28.01.2014.
- Bullinger, H.-J; Scheer, August-Wilhelm; Schneider, Kristof (Hg.) (2006): Service Engineering. Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bullinger, Hans-Jörg; Spath, Dieter; Warnecke, Hans-Jürgen; Westkämper, Engelbert (Hg.) (2009): Handbuch Unternehmensorganisation. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2012): Sicherheitsempfehlung für Cloud Computing Anbieter. Hg. v. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Bonn. Online verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Mindestanforderungen/Eckpunktepapier-Sicherheitsempfehlungen-CloudComputing-Anbieter.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 28.01.2014.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2013): eApps4Production. Online verfügbar unter http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?TF_ID=121&VP_ID=3472, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Duden (2013): Duden online. Online verfügbar unter <http://www.duden.de>, zuletzt geprüft am 05.12.2013.
- Eisenmann (2014): Doppelkufensystem. Online verfügbar unter http://www.eisenmann.com/de/medien/presse/presseinformationen/2013/2013_09_26_Doppelkufensystem_Produktlaunch.html, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- Finger, Patrick; Zeppenfeld, Klaus (2009): SOA und WebServices. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Fleisch, Elgar; Mattern, Friedemann (Hg.) (2005): Das Internet der Dinge. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fraunhofer IAO (2013): Projekt – KapaflexCy. Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität in Cyber-Physical-Systems. Online verfügbar unter <http://www.kapaflexcy.de/de/zielsetzung.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Fraunhofer IOSB (2011a): Sichere Kommunikationssysteme. Online verfügbar unter <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/11469>, zuletzt geprüft am 13.01.2014.
- Fraunhofer IOSB (2011b): BMBF-Projekt SecurePLUGandWORK. Online verfügbar unter <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/40784>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Freudenberg IT (2013): Industrie 4.0. Auf dem Weg in die totale Prozessintegration. Online verfügbar unter <http://www.freudenberg-it.com/de/megatrends/industrie-4-0.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Friedewald, Michael (2010): Ubiquitäres Computing. Das „Internet der Dinge“ – Grundlagen, Anwendungen, Folgen. Berlin: edition sigma (31).
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred (2012): AgendaCPS. Integrierte Forschungsagenda cyber-physical systems. Heidelberg u. a.: Springer.
- Golem.de (2013): Web Service. Online verfügbar unter <http://www.golem.de/specials/webservice>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Hesse, Stefan; Schnell, Gerhard (2011): Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation. Funktion – Ausführung – Anwendung. 5., korr. und verb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg.
- Hiemer, Klaus (2013): Industrie 4.0 treibt Logistik an. Produktion – Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie. Landsberg. Online verfügbar unter <http://www.produktion.de/top-story/industrie-4-0-treibt-logistik-an>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Hochschule der Medien Stuttgart (2013): Studieren. Wissen. Machen. Online verfügbar unter <http://www.hdm-stuttgart.de>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- HSG-IMAT (2013): Mikroaufbautechnik am HSG-IMAT. Online verfügbar unter <http://www.hsg-imat.de>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- HSG-IMIT (2013): Experten der Mikrosystemtechnik. HSG-IMIT. Online verfügbar unter <http://www.hsg-imit.de>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Kapitel 7

IMS Chips (2013): Institut für Mikroelektronik Stuttgart. Institut für Mikroelektronik Stuttgart. Online verfügbar unter <http://www.ims-chips.de/home.php?id=a2b1c1de&adm=>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

IMTEK (2013): Forschungsthemen im Überblick. Online verfügbar unter <http://www.imtek.de/forschung/forschungsthemen>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

ITWissen (2013): Embedded System. Online verfügbar unter <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Embedded-System-ES-embedded-system.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Kagermann, Henning (2013): Impuls – Zukunftsbild Industrie 4.0. Online verfügbar unter http://www.autonomik.de/documents/Kagermann_Zukunftsbild_Industrie_40.pdf, zuletzt geprüft am 26.07.2013.

Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt/Main. Online verfügbar unter http://www.forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_abschlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2013.

Karagiannis, Dimitris; Rieger, Bodo (Hg.) (2006): Herausforderungen in der Wirtschaftsinformatik. Festschrift für Hermann Krallmann. Berlin, Heidelberg: Springer.

Karlsruher Institut für Technologie FZI (2013): Forschung. Online verfügbar unter <http://www.fzi.de/forschung>, zuletzt geprüft am 13.01.2014.

Karlsruher Institut für Technologie IMT (2013): Forschung. Online verfügbar unter <http://www.imt.kit.edu/forschung.php>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Karlsruher Institut für Technologie PTKA (2013): SmartTool. Intelligente Werkzeuge für die vernetzte Fertigung von morgen. Online verfügbar unter http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?TF_ID=121&VP_ID=3522, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Karlsruher Institut für Technologie wbk (2013): Mikro-Produktion. Online verfügbar unter <http://www.wbk.kit.edu/127.php>, zuletzt geprüft am 13.01.2014.

Landherr, Martin; Holtewert, Philipp; Kuhlmann, Timm; Lucke, Dominik; Bauernhansl, Thomas (2013): Virtual Fort Knox. Eine flexible und sichere Plattform für Engineering-Anwendungen in Fabrikplanung und -betrieb. In: *wt Werkstattstechnik online* 103, 2013 (2), S. 146–151.

- Landherr, Martin; Neumann, Michael; Volkmann, Johannes W.; Westkämper, Engelbert; Bauernhansl, Thomas (2012): Individuelle Softwareunterstützung für jeden Ingenieur. Advanced Engineering Platform for Production. In: *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 107, 2012 (9), S. 628–631.
- Lass, Sander; Henning, Gregor (2012): Smarte Sensoren in der Produktion. Mit intelligenten Systemen einen hohen Automatisierungsgrad realisieren. Universität Potsdam. Potsdam. Online verfügbar unter [http://www.productivity-management.de/homepage/pm/prodhp.nsf/0/5955197B3F1A8B3CC1257AC9005B-31D0/\\$file/Industrial%20Automation%202-2012%20Smarte%20Sensoren%20in%20der%20Produktion%20-%20Lass,%20Henning.pdf](http://www.productivity-management.de/homepage/pm/prodhp.nsf/0/5955197B3F1A8B3CC1257AC9005B-31D0/$file/Industrial%20Automation%202-2012%20Smarte%20Sensoren%20in%20der%20Produktion%20-%20Lass,%20Henning.pdf), zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Mattern, Friedemann (Hg.) (2007): Die Informatisierung des Alltags. Leben in smarten Umgebungen. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Meijer, Gerard C.M. (2008): Smart Sensor Systems. Chichester, U.K: J. Wiley & Sons.
- MPDV Mikrolab GmbH (2013): Expertengespräch Industrie 4.0. Mosbach. Online verfügbar unter <http://www.mpdv.de/de/news/pressemitteilungen/2013/20130205-expertengespraech-industrie-4-0.htm>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- MST BW (2013a): Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www.microtec-suedwest.de>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- MST BW (2013b): Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www.microtec-suedwest.de/der-cluster/leitthemen-und-projekte/integrationsplattform-ssi/smartwt/ziele>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- ND SATCOM (2013): XWARP – Cloud Computing via Satellite with “Zero” Latency. Online verfügbar unter <http://www.ndsatcom.com/en/solutions/xwarp.php>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Nof, Shimon Y. (Hg.) (2009): Springer handbook of automation. Dordrecht u. a.: Springer.
- Pipek, Volkmar (2012): Ubiquitous Computing. Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. Siegen. Online verfügbar unter <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/technologien-methoden/Rechnernetz/Ubiquitous-Computing/index.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Plattform Industrie 4.0 (2013): Was Industrie 4.0 (für uns) ist | Plattform Industrie 4.0. Online verfügbar unter <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist>, zuletzt geprüft am 31.07.2013.
- Roddeck, Werner (2012): Einführung in die Mechatronik. 4., überarb. Aufl. Wiesbaden: Springer (Springer Vieweg Studium. Grundlagen Maschinenbau).

Kapitel 7

- Schenk, Joachim; Rigoll, Gerhard (2010): Mensch-Maschine-Kommunikation. Grundlagen von sprach- und bildbasierten Benutzerschnittstellen. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schenk, Michael; Wirth, Siegfried (2004): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schuh, Günther (Hg.) (2006): Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3., völlig neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.
- SmartF-IT (2013): Forschungsprojekt SmartF-IT. Softwarewerkzeuge für multiadaptive cyber-physische Produktionssysteme. Online verfügbar unter http://www.smartf-it-projekt.de/?page_id=11, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Software-Cluster (2013a): SINNODIUM. Online verfügbar unter <http://www.software-cluster.com/de/forschung/projekte/verbundprojekte/sinnodium>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Software-Cluster (2013b): InDiNet. Online verfügbar unter <http://www.software-cluster.com/de/forschung/projekte/verbundprojekte/indinet>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2012): Baden-Württemberg – Ein Standort im Vergleich, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Synapticon (2013): dynarc. Online verfügbar unter <http://www.synapticon.com/products>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- Syska, Andreas (2006): Produktionsmanagement. Das A – Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Universität Stuttgart (2012): Erfolgsberichte über Forschungscampus ARENA 2036. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.uni-stuttgart.de/hkom/presseservice/pressemitteilungen/2012/072_arena2036.html, zuletzt geprüft am 05.12.2013.
- Universität Stuttgart IAS (2013): Benutzerorientierte Automatisierung. Online verfügbar unter http://www.ias.uni-stuttgart.de/?page_id=26, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Universität Stuttgart IAT (2013). Online verfügbar unter <http://www.iat.uni-stuttgart.de/index.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

- Universität Stuttgart IFM (2014). Online verfügbar unter <http://www.ifm.uni-stuttgart.de>, zuletzt geprüft am 23.01.2014.
- Universität Stuttgart IFT (2013): Doppelkufensystem. Online verfügbar unter <http://www.uni-stuttgart.de/ift/institut/abteilungen/maschinenentwicklung/doppelkufensystem.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Universität Stuttgart ISW (2013): pICASSO Projekt Website. Online verfügbar unter <http://www.projekt-picasso.de/projekt>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Universität Tübingen NMI (2013): Anwendungsorientierte Forschung an der Schnittstelle von Bio- und Materialwissenschaften. Online verfügbar unter <http://www.nmi.de/de>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Universität Ulm (2013): DIALOGUE SYSTEMS. Online verfügbar unter <http://www.dialogue-systems.org>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Universität Ulm IFM (2008): Forschung. Online verfügbar unter <http://www.uni-ulm.de/in/mikro/forschung.html>, zuletzt geprüft am 13.01.2014.
- Verlag Moderne Industrie (2013): Industrie 4.0: Vorreiter Automobilzulieferer, skeptische Maschinenbauer | Produktion – Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie. Landsberg. Online verfügbar unter <http://www.produktion.de/special/industrie-4-0/industrie-4-0-vorreiter-automobilzulieferer-skeptische-maschinenbauer>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Virtual Fort Knox (2013): Historie – Virtual Fort Knox. Online verfügbar unter <http://www.virtualfortknox.de/ueber-virtual-fort-knox/historie.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Weiser, Mark (1991): The Computer for the 21st Century. In: Scientific American 265 (3), S. 94–110.
- Wende, Jörg (2013): Industrie 4.0 – Die vierte industrielle Revolution: Digitalisierung verändert unsere Welt. Online verfügbar unter <http://www-05.ibm.com/de/events/solutionsconnect/pdfs/SolCon2013Industrie-4JoergWendelBM14062013.pdf>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.
- Westkämper, Engelbert (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Westkämper, Engelbert; Spath, Dieter; Constantinescu, Carmen; Lentjes, Joachim (Hg.) (2013): Digitale Produktion. Ergebnisse Aus Dem Innovationscluster Digitale Produktion. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer.
- WITTENSTEIN AG, Fraunhofer IWU (2013): CyProS – Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik. Online verfügbar unter <http://www.projekt-cypros.de/projekt-cypros-cps.html>, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Kapitel 7

Würth Industrie Service (2013): iBin – Bestände im Blick iNFORMATIV. iNNOVATIV. iNTELLIGENT. – C-Teile, C-Teile-Management, Schrauben, Kanban-Systeme. Online verfügbar unter http://www.wuerth-industrie.de/web/de/cteile_kanban/kanban/die_revolution_im_c_teile_management___behaelter_ibin_1/ibin_kanbanbehaelter.php, zuletzt geprüft am 04.12.2013.

Zühlke, Detlef (2012): Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen. Useware-Engineering für technische Systeme. 2., neu bearb. Aufl. Heidelberg u. a.: Springer.

Kapitel 8

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS FIRMENNAMEN

ABB	ABB Asea Brown Boveri Ltd
Alcatel-Lucent	Alcatel-Lucent Deutschland AG,
AMK Antriebe	AMK Arnold Müller GmbH & Co. KG
ARADDEX	ARADDEX AG
Arburg	ARBURG GmbH + Co KG
Avira	Avira Operations GmbH & Co. KG
Balluff	Balluff GmbH
Bär Automation	BÄR Automation GmbH
Bartec	BARTEC Top Holding GmbH
Binder	Binder Elektronik GmbH
Bosch Rexroth	Bosch Rexroth AG
Bosch Software Innovations	Bosch Software Innovations GmbH
Bosch	Robert Bosch GmbH
CADwalk	CADwalk GmbH & Co. KG
Carl Zeiss 3D Automation	Carl Zeiss 3D Automation GmbH
Carl Zeiss Industrielle Messtechnik	Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH
CAS Software	CAS Software AG
Comara	Comara KG
Dambach Lagersysteme	Dambach Lagersysteme GmbH & Co. KG
digiraster	digiraster GmbH
Dürr	Dürr AG
efm-systems	efm-systems GmbH
Eisenmann	Eisenmann AG
EMAG Salach	EMAG Salach Maschinenfabrik GmbH
EML European Media Laboratory	EML European Media Laboratory GmbH
Endress + Hauser	Endress+Hauser Messtechnik GmbH+Co. KG
Euchner	EUCHNER GmbH + Co. KG
Faulhaber	Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG
Festo	Festo AG & Co. KG
Freudenberg IT Solution Consulting	Freudenberg IT SE & Co. KG
Gebhardt Fördertechnik	GEBHARDT Fördertechnik GmbH
Gebrüder Heller	Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH
Gühring	Gühring KG
Hainbuch	HAINBUCH GMBH
Hewlett-Packard, HP	Hewlett-Packard GmbH
HMS Industrial Networks	HMS Industrial Networks GmbH
Homag Holzbearbeitungssysteme	Homag Holzbearbeitungssysteme GmbH
IBM	IBM Deutschland GmbH
IEF-Werner	IEF-Werner GmbH.
Jetter	Jetter AG
Kasto Maschinenbau	KASTO Maschinenbau GmbH & Co. KG,
KOMET Group	KOMET GROUP GmbH
Kugler	Kugler GmbH
Leitz	Leitz GmbH & Co. KG
Leuze elektronik	Leuze electronic GmbH + Co. KG
MAG IAS	MAG IAS GmbH

Kapitel 8

MAPAL Dr. Kress	MAPAL Fabrik für Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG
Micropelt	Micropelt GmbH
MPDV Mikrolab	MPDV Mikrolab GmbH
Pepperl und Fuchs	Pepperl+Fuchs GmbH
Pilz	Pilz GmbH & Co. KG
Pyramid Computer	Pyramid Computer GmbH
R. Stahl	R. STAHL Aktiengesellschaft
RAFI	RAFI GmbH & Co. KG
SAP	SAP Deutschland AG & Co. KG
Schubert System Elektronik	Schubert System Elektronik GmbH
Schunk	SCHUNK GmbH & Co. KG
SEEBURGER	SEEBURGER AG
SEW-EURODRIVE	SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG
Sick	SICK AG
Sikom	Sikom Software GmbH
teamtechnik Maschinen und Anlagen	teamtechnik Maschinen und Anlagen GmbH
telent	telent GmbH
Trumpf	TRUMPF GmbH + Co. KG,
Viastore Systems	viastore systems GmbH,
Walter	Walter AG
WIBU-Systems	WIBU-SYSTEMS AG
Wittenstein	WITTENSTEIN AG
Würth	Würth Industrie Service GmbH & Co. KG
Würth WE	Würth Elektronik GmbH & Co. KG

IMPRESSUM

Herausgeber

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Michael Lickefett

Autoren

Dominik Lucke, David Görzig, Marvin Kacir, Johannes Volkmann,
Christoph Haist, Marco Sachsenmaier, Hannes Rentschler

Koordination

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg
Mehrhan Ghahremanpour

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Michael Lickefett, Dominik Lucke

Layout/Satz/Illustration

kom|werb Agentur, Armin Zebrowski, 70499 Stuttgart
Email: armin.zebrowski@komwerb.de

Fotos

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Rainer Bez

Kartengrundlage

© OpenStreetMap-Mitwirkende
Die Karten wurden erstellt mit TileMill.

Druck

SV Druck + Medien GmbH & Co. KG
Wasserwiesen 42, 72336 Balingen
www.sv-druckmedien.de

Auslieferung und Vertrieb

Die Studie steht zum Download unter
www.mfw.baden-wuerttemberg.de und www.ipa.fraunhofer.de
zur Verfügung.

Sie kann auch bezogen werden beim:
Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Schlossplatz 4, 70173 Stuttgart
E-Mail: pressestelle@mfw.bwl.de

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Marketing
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
E-Mail: marketing@ipa.fraunhofer.de

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Landesregierung Baden-Württemberg im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf während eines Wahlkampfes weder von Parteien noch von deren Kandidaten und Kandidatinnen oder Hilfskräften zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers bzw. der Herausgeberin zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift verbreitet wurde.

Erlaubt ist es jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

Erscheinungsjahr 2014
© Copyright liegt bei den Herausgebern.
Alle Rechte vorbehalten.

Die genannten Markennamen, Firmennamen oder Logos unterliegen dem allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz.

Weitere Informationen zu Industrie 4.0
in Baden-Württemberg unter
www.i40-bw.de

