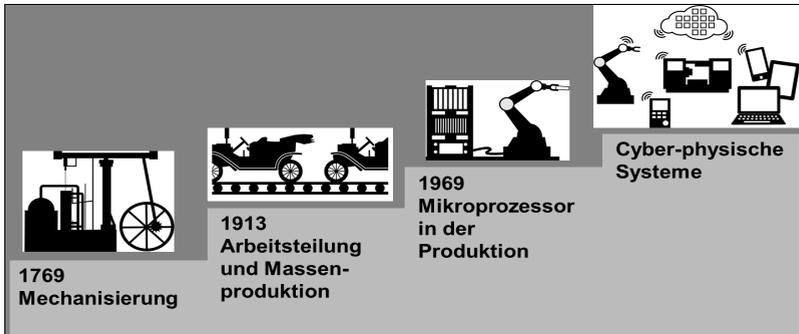


Industrie 4.0

„Chancen der vierten industriellen Revolution“

Unter dem Begriff „Industrie 4.0“ wird im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung in Deutschland aktuell die vierte industrielle Revolution proklamiert. In der Vergangenheit trugen die Mechanisierung im 18. Jahrhundert, die Arbeitsteilung und Massenproduktion zu Beginn des 20. Jahrhunderts und die Integration von Mikroprozessoren in der Produktion zum Ende der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts zu tiefgreifenden Veränderungen der Arbeitswelt bis hin zu einer Umgestaltung der sozialen Verhältnisse bei. Diese Entwicklung wird in Abbildung 1 veranschaulicht. Im Zentrum von Industrie 4.0 stehen die sogenannten „Cyber-physischen Systeme“. Hinter diesem Begriff verbergen sich im Rahmen von Industrie 4.0 eingebettete Systeme, welche selbstständig über das Internet miteinander kommunizieren. Die adressierten Technologien sind teilweise bereits seit Jahren Gegenstand von intensiven Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen und haben stellenweise bereits ihren Weg in die industrielle Praxis in den Bereichen der Produktion und Logistik gefunden. Ob in Industrie 4.0 tatsächlich ein Potential zur tiefgreifenden und dauerhaften Umgestaltung der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse in Deutschland steckt oder ob sich hinter dem Begriff lediglich ein gezieltes Kommunikationsinstrument zur Beschleunigung des Forschungstransfers vorhandener Technologien verbirgt, soll Gegenstand des vorliegenden Beitrags sein. Dazu wird zunächst die Forschungsagenda näher vorgestellt. Darauf aufbauend erfolgt eine Auseinandersetzung mit den Begriffen der Cyber-physischen Systeme sowie der Smart Factory. Anschließend werden Anwenderpotentiale neuartiger Entwicklungen zu biologisch inspirierter Selbstorganisation in der Produktion sowie zur Cloud-basierten industriellen Steuerung vorgestellt. In einem weiteren Schritt wird ein Vergleich zwischen Industrie 4.0 und Computer Integrated Manufacturing unter Einbezug der jeweiligen gesellschaftlich-technischen Voraussetzungen sowie der öffentlichen Förderprogramme in der Bundesrepublik Deutschland gezogen. Die Formulierung eines Fazits fasst die wichtigsten Erkenntnisse zum Abschluss kurz zusammen.

Abbildung 1: *Industrielle Revolutionen bis hin zu den vernetzten Cyber-physischen Systemen der Industrie 4.0*



Forschungsagenda und Förderrahmen

Mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 in der Hightech-Strategie 2020 formuliert die Bundesregierung das Ziel, dass Deutschland als Anbieter und Anwender neuer und zukunftsweisender internetbasierter Technologien für die industrielle Produktion zum internationalen Vorreiter wird. Das zentrale Dokument zur Industrie 4.0 „Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems“¹ aus dem Jahr 2012 entstammt dem Industriearbeitskreis des Projektes agendaCPS unter Beteiligung unter anderen der Firma Bosch und der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech). Dieses Dokument bildete auch die Grundlage für die erste Förderperiode. Im April 2013 wurden passend zur zweiten großen Förderperiode des Bundesministerium für Bildung und Forschung Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0 durch einen Arbeitskreis vorgelegt². Parallel zu den Förderprojekten wurden unter anderen durch den VDI/VDE zahlreiche regionale Industriearbeitskreise, beispielsweise zur IT-Sicherheit in der Industrie 4.0, initiiert.

Aufbauend auf einer Forderung der Handlungsempfehlungen des zentralen Arbeitskreises zu Industrie 4.0 gründeten die Wirtschaftsverbände VDI, BIT-

- 1 Geisberger, E. / Broy M. (Hrsg.), agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda CyberPhysical Systems, Serie acatech Studie. Berlin: Springer, 2012.
- 2 Kagermann, H. / Wahlster, W. / Helbig, J. (Hrsg.), Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Berlin: Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V, 2012.

KOM und ZVEI unter Beteiligung eines breiten Unternehmenskonsortiums Ende 2012 die „Plattform Industrie 4.0“. Diese strebt die Fortführung und Weiterentwicklung der Industrie 4.0 an und gab am 05.07.2013 erstmals eine zentrale Definition des Begriffs Industrie 4.0 vor³.

Insgesamt wird für den gesamten Förderrahmen Industrie 4.0 von 2012 bis 2015 eine Fördersumme von bis zu 200 Millionen Euro bereitgestellt. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert in einer speziellen Förderlinie „Forschung für die Produktion von morgen“ verschiedene Verbundprojekte zwischen den Jahren 2012 und 2016. Im Rahmen des Hauptprogramms „Intelligente Vernetzung in der Produktion - Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ werden über verschiedene Ausschreibungsphasen hinweg aktuell insgesamt 22 Projekte gefördert. Die Projektkonsortien setzen sich in der Regel aus verschiedenen akademischen Partnern, Instituten etablierter Forschungsinstitutionen wie Fraunhofer Gesellschaft, DLR, Max-Planck-Gesellschaft oder DFKI sowie Firmenpartnern mit Fokus auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zusammen. Neben dem Hauptprogramm erfolgten im Rahmen des bereits 2011 initiierten Förderprogramms „IKT 2020 Forschung und Innovation“ die Ausschreibung „Virtuelle Techniken für die Fabrik der Zukunft - Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ (Ausschreibungsende Juni 2013) sowie „Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie“ mit Ausschreibungsende im Januar 2014. Neben dem breiten Programm des Bundesministerium für Bildung und Forschung erfolgt eine Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft im Rahmen des Programms „Autonomik für Industrie 4.0“. Dieses beinhaltet insgesamt 17 Verbundprojekte mit einer Laufzeit von 2013 bis 2016. Anfang 2014 erschien zudem eine Ausschreibung zur IT-Sicherheit für Industrie 4.0. Weitere Ausschreibungen von Bundesministerium für Wirtschaft und Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen von Industrie 4.0 sind zu erwarten.

Im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 wird zudem das lokale Spitzencluster „Intelligente technische Systeme OstwestfalenLippe (its OWL)“ seit Januar 2012 über fünf Jahre mit insgesamt 100 Millionen Euro und 45 Einzelprojekten über das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Das Spitzencluster wird dem Rahmen von Industrie 4.0 zugeordnet. Weiterführend widmet sich das Projekt des Bundesministerium für Bildung und Forschung RES-COM der ressourcenschonenden Produktion durch Technologien der Industrie 4.0.

Neben den nationalen Förderprogrammen bestehen aktuell verstärkte Bestrebungen einzelner Bundesländer zur Unterstützung der lokalen Umsetzung von

3 <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-f%C3%BCr-uns-ist> - 11.04.2014.

Technologien der Industrie 4.0. Beispielsweise werden aktuell in der Machbarkeitsstudie „Moderne Industrie/Industrie 4.0 in Brandenburg“ Handlungsempfehlungen für die Lokalpolitik erstellt. Diese Maßnahmen sollen auf Basis einer Ausgangsanalyse zur Entwicklung einer maßgeschneiderten Umsetzungsstrategie und zur Erstellung lokaler Förderprogramme, beispielsweise finanziert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), dienen.

Cyber-physische Systeme als technologische Grundlage

Cyber-physische Systeme (CPS) bezeichnen einen komplexen Verbund aus Hard- und Software in Verbindung von realer und virtueller Welt. Eine eindeutige Definition, beispielsweise durch eine nationale oder internationale Norm, besteht nicht⁴. Während der Begriff in der deutschen Fachliteratur erst seit der jüngsten Forschungsagenda CPS bekannt ist, wird er in der englischen Fachliteratur bereits seit den 80er Jahren verwendet. Verschiedene Beispiele für eine Begriffsdefinition finden sich in der englischen Fachliteratur, zum Beispiel bei Edward A. Lee⁵. Die Forschungsagenda CPS definiert den Begriff der CPS abweichend folgendermaßen⁶:

„Cyber-Physical Systems sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze.“

Seit 2010 besteht eine jährliche internationale Konferenz zum Thema CPS: „ACM/IEEE International Conference on Cyber-physical Systems“. Die Konferenz ist Teil der sogenannten „CPS-Week“, welche neben der Konferenz mehrere Workshops und Ausstellungen beinhaltet. Die Konferenz geht auf eine Vielzahl von US-amerikanischen Workshops zum Thema CPS zurück, welche bis in das Jahr 2003 zurückreichen.

Im Bereich der Automatisierungstechnik und in der industriellen Informatik finden sich derartige Systeme seit Beginn der Rechnerintegration in den 70er Jahren. In Abgrenzung zu den heutzutage vielfältig eingesetzten Embed-

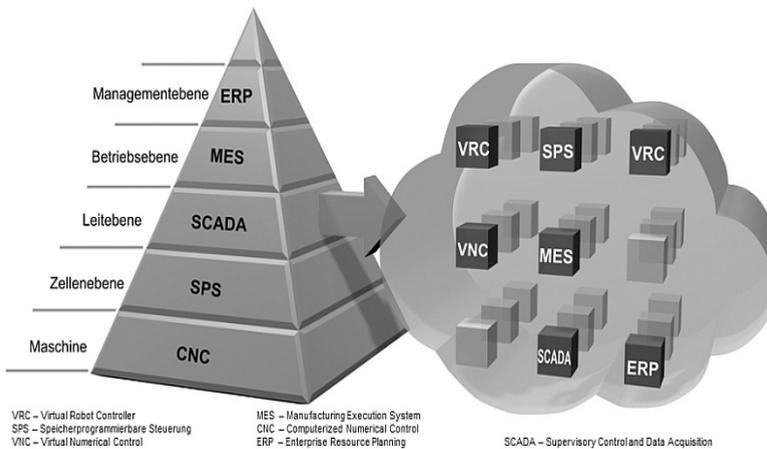
4 VDI/VDE Gesellschaft. Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation: Thesen und Handlungsfelder.(2013) Online verfügbar unter: http://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf - 11.04.2014.

5 Lee, E. A. / Seshia, S. A., Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach. Morrisville and NC: LeeSeshia.org, 2011.

6 Geisberger, E. / Broy, M. (Hrsg), agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda CyberPhysical Systems, Serie acatech Studie. Berlin: Springer, 2012.

ded Systems stellt die aktuelle Forschungsagenda CPS nicht mehr den Verbund von Hard- und Software, sondern vielmehr eine Intensivierung lokaler bis globaler Vernetzung derartiger Systeme in den Fokus. CPS umschreiben demgemäß eine Verschmelzung einzelner Komponenten und Module zu einer durchgängigen Systemumgebung. Dabei wird eine autonome Funktion der heterogenen und teils hochkomplexen Einzelemente des Gesamtsystems angestrebt. Im Gegensatz zur hierarchischen Organisation der Automatisierungstechnik wird eine Auflösung der klassischen Kommunikationsstrukturen hin zu einer dezentralen Organisation angestrebt (siehe Abbildung 2). Die dezentrale Ausrichtung ermöglicht einerseits eine Erhöhung der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit bis zur Selbstmodifikation. Diese Adaptionsfähigkeit entspricht den steigenden Anforderungen an die Produktionstechnik im globalen Wettbewerb. Andererseits kann eine dezentrale Erfassung und Bereitstellung von entwurfs-, produktions- oder betriebsrelevanten Daten einer Optimierung von Prozessführungen und Prozesssicherheit dienen⁷.

Abbildung 2: *Klassische Automatisierungspyramide (links) und Cloud-basierte Automation (rechts)*



7 VDI/VDE Gesellschaft, Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation: Thesen und Handlungsfelder (2013). Online verfügbar unter: http://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf - 11.04.2014.

Durch Vernetzung auf dem Weg zur Smart Factory

Die Smart Factory umschreibt als Begriff die Vision einer intelligenten Fabrik. Konkret wird im Rahmen von Industrie 4.0 eine Anwendung der Cyber-physischen Systeme auf intelligente Komponenten in der Produktion angestrebt. Konkret bedeutet dies, dass Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel Daten miteinander austauschen. Einzelne Komponenten lassen sich nach dem Prinzip „Plug and Play“ aufgabenbezogen flexibel miteinander kombinieren. Auch das zu fertigende Produkt wird intelligent, indem jedes Produkt eindeutig identifizierbar und jederzeit lokalisierbar ist.

In diesem Zusammenhang übernehmen sogenannte Smart Grids, beispielsweise in Form von drahtlosen Sensornetzwerken oder der bedarfsgerechten Erzeugung und Verteilung von Energie, eine entscheidende Rolle für die Bereitstellung einer intelligenten Infrastruktur der kommunikativen Vernetzung.

Das smarte Produktionsnetzwerk wird darüber hinaus horizontal mit betriebswirtschaftlichen Prozessen innerhalb der Unternehmen verbunden. Ferner wird eine Erweiterung der Betrachtung auf die Logistik und eine erweiterte vertikale Integration von Zulieferern und Kunden angestrebt. Als Ziel dieses ganzheitlichen Ansatzes werden allgemein eine Erhöhung der Flexibilität, der Produktivität sowie eine Qualitätssteigerung angestrebt. Demnach kann die Smart Factory individuelle Kundenwünsche berücksichtigen; selbst geringe Losgrößen lassen sich rentabel produzieren. Geschäfts- und Engineering-Entscheidungen lassen sich mithilfe von Transparenz und den passenden Daten optimal treffen⁸.

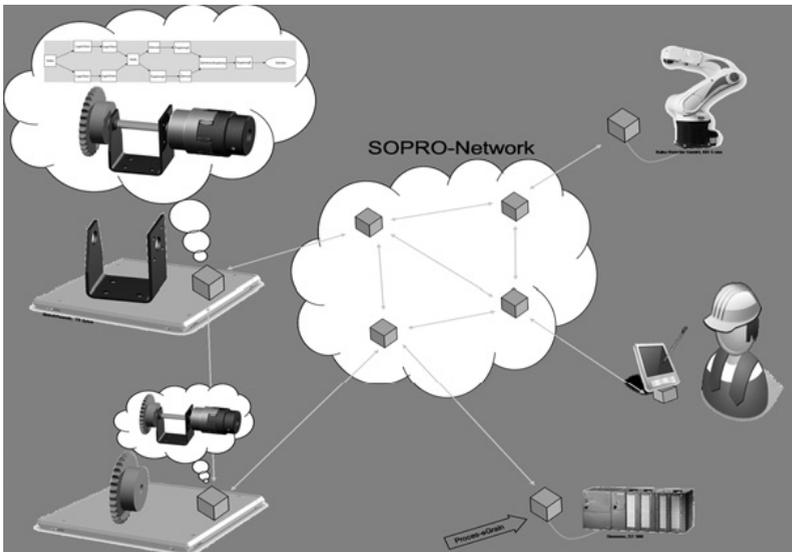
Selbstorganisation und intelligente Produktionsmittel – Biologisch inspirierte Organisation für die Produktion

Das Prinzip der Selbstorganisation ist die Imitation von Organisationsstrukturen, welche im Tierreich, unter anderem bei Ameisenvölkern auftreten. Diese koordinieren ihre Aktivitäten zum räumlichen Erreichen eines Ziels anhand von Geruchsspuren auf bekannten Pfaden. Demnach ist keine zentrale Vorgabe zur Identifikation des kürzesten Weges notwendig. Verschiedene Pfadpunkte können als Knoten angesehen werden, sodass mögliche Pfade parallele Verbindungslinien darstellen.

8 Kagermann, H. / Wahlster, W. / Helbig, J. (Hrsg.), Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Berlin: Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V, 2012.

Abstrahiert man diese Problemstellung der Zielfindung auf die industrielle Steuerungstechnik, ergeben sich mögliche Pfade zum Ziel, zum Beispiel durch eine Kombination von verschiedenen Komponenten oder Fertigungsschritten⁹. Demnach steht die Selbstorganisation allgemein für eine dezentrale Steuerung von Prozessen. Diese ist in der Lage, ohne zentrale Steuerungen Anpassungen an geänderte Umgebungsbedingungen vorzunehmen. Die Vermeidung von langen Kommunikationswegen, welche ggf. in hoher Rechenzeit resultieren, wird durch dieses Organisationsprinzip vermieden. Dabei kann jedoch nicht sichergestellt werden, dass global ein „kürzester Weg“ identifiziert wird. Der Hauptvorteil dieser Organisationsstruktur liegt in der schnellen Reaktionszeit des Gesamtsystems auf Veränderungen sowie in der Flexibilität und Austauschbarkeit einzelner Elemente. Ein intelligentes Verhalten resultiert erst aus dem Zusammenwirken von Einzelkomponenten. Abbildung 3 veranschaulicht die Vision des wissenschaftlichen Vorprojektes SOPRO zur Produktion mit verteilter Intelligenz zur dezentralen, kooperativen Steuerung und Organisation von Produktionsmitteln.

Abbildung 3: *Produktion mit verteilter Intelligenz – dezentrale Intelligenz - kooperative Steuerung und Organisation*



9 Chemnitz, M. / Krüger, J. / Patzlaff, M. / Tuguldur, E.-O., SOPRO - Advancements in the self-organising production, – In: Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2010 IEEE Conference on, 2010, S. 1–4.

Zur Steuerung von Netzwerken, bestehend aus einzelnen Teilnehmern, die autark Entscheidungen treffen und gegebenenfalls miteinander kooperieren, werden sogenannte „Multi-Agenten-Systeme“ eingesetzt. Diese vermögen, Probleme durch Interaktion zu lösen. Somit kann eine Problemlösung durch selbständigen Austausch von Informationen der betroffenen Agenten erfolgen. Zu diesem Zweck ist ein internes Modell der Welt, bestehend aus Arbeitsplänen und Prioritäten sowie Zielen und Regeln zur Steuerung von Verhalten anzulegen. Ein klassisches Einsatzgebiet dieser Software-Systeme ist der Roboter-Fußball, bei dem die einzelnen Spieler bzw. Agenten auf Umgebungseinflüsse reagieren und kooperativ ein Mannschaftsziel erreichen. Für Multi-Agenten-Systeme in der Produktion können die einzelnen Agenten folgendermaßen charakterisiert werden¹⁰:

- autonom (Unabhängigkeit von Benutzerzugriffen),
- kommunikativ bzw. sozial (kommuniziert mit anderen Agenten),
- reaktiv (reagiert auf Änderungen der Umgebung) und
- adaptiv (ändert seine Parameter aufgrund von Zustandsbedingungen).

In der künstlichen Intelligenz bestehen für Multi-Agenten-Systeme weiterführende Eigenschaften hinsichtlich Kognition, d. h. Wahrnehmung und Lernfähigkeit sowie dem Treffen von Entscheidungen aus eigener Initiative. Die Eigenschaften werden in der Produktion aufgrund der schwer abzuschätzenden Auswirkungen, speziell beim explorativen Lernen, aktuell zumeist noch ausgespart.

In der Produktionsumgebung übernehmen Produktionsmittel die Rolle von Agenten. Aus Sicht eines Werkstücks im Produktionsablauf verhandelt dies gemäß seinem Arbeitsplan mit potentiellen Arbeitsplätzen über seine Bearbeitung bzw. sucht ein Transportmittel, um zur nächsten Bearbeitungsstation zu gelangen. Diese Form der direkten Kommunikation erfolgt über lokale Ad-hoc Verbindungen. Die Auswahl von Arbeitsplatz bzw. Transportmittel wird dabei gemäß Umweltmodell, Zielen und Regeln mithilfe von Marktmechanismen unter Betrachtung von Angebot und Nachfrage bestimmt¹¹. Der genaue Ablauf der Verhandlungen soll möglichst optimal hinsichtlich der übergeordneten Ziele erfolgen. Zu diesem Zweck werden zumeist Methoden der multikriteriellen Optimierung und der künstlichen Intelligenz eingesetzt. Die Anpassung und Evaluation derartiger Methoden auf den Bereich der Produktionstechnik ist momentan noch Gegenstand intensiver Forschungsaktivitäten. Der Mensch kann in diesem

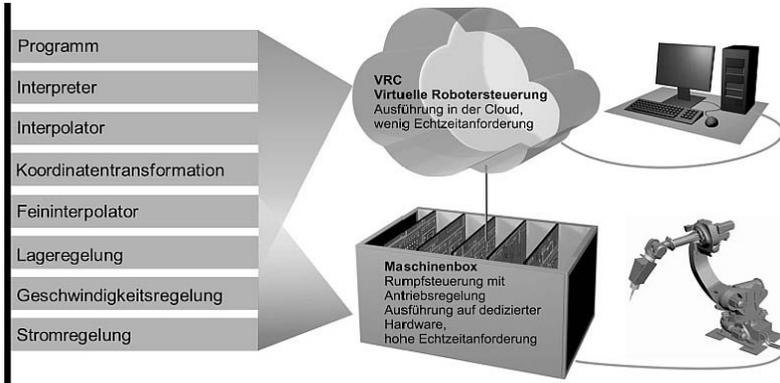
10 Uhlmann, E. / Hohwieler, E. / Kraft, M., Selbstorganisierende Produktion: Agenten intelligenter Objekte koordinieren und steuern den Produktionsablauf, – In: *Industriemanagement*, Nr. 29, S. 57–61, 2013.

11 Chemnitz, M. / Krüger, J., Hybride Technologien für die flexible Montage, – In: *ABS Aachen-Berlin-Stuttgart 2009 – Hybride Technologien in der Produktion*. VDI Verlag, 2010, Vol. 675, S. 1–8.

Sinne ebenfalls als Agent betrachtet werden. Zudem lassen sich manuelle Arbeitsplätze mit Sensorik und Mensch-Maschine-Schnittstellen zur Kommunikation mit anderen Agenten ausstatten. In diesem Sinne können dem Werker Aufgaben zugeteilt werden, und dieser kann selbständig mit weiteren Produktionsmitteln verhandeln und Entscheidungen treffen.

Industrielle Steuerung aus der Cloud: Referenzprojekt pICASSO

Im Folgenden wird beispielhaft für das Programm „Intelligente Vernetzung in der Produktion – Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Industrie 4.0“ des Bundesministerium für Bildung und Forschung das Projekt pICASSO vorgestellt. Das Projekt pICASSO strebt die Bereitstellung von skalierbaren Steuerungsplattformen für Cyber-physische Systeme in der industriellen Produktion an. Auf Basis von Cloud-basierten Steuerungsplattformen soll eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen für verschiedene Cyber-physische Systeme anhand einer einheitlichen Datenbasis erfolgen. Am Beispiel von Industrieroboter- und Werkzeugmaschinensteuerungen soll aufgezeigt werden, dass die bisher monolithisch angelegte Steuerungsarchitektur zu einem großen Teil in die Cloud verlagert werden kann. Hierdurch werden eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Rechenleistung und eine flexible Nutzung von einzelnen Steuerungsfunktionen ermöglicht. Zudem kann für verschiedene Anwendungen ein gemeinsamer Ressourcenpool (Rechenleistung, Speicher, Algorithmen, Daten) angestrebt werden. Durch „Virtualisierung“ der Steuerung wird diese weitestgehend hardwareunabhängig. Vorteile bezüglich der aktuellen Struktur liegen vor allem in einem einfachen Austausch von Komponenten sowie in einer Vereinfachung und Möglichkeit der Standardisierung der komplexen Schnittstellen- und Vernetzungsstruktur im produktionstechnischen Umfeld. Auf dieser Basis wird eine Vereinheitlichung der heterogenen Kommunikationsstruktur von der Feldebene bis zur Fabriksteuerung über das TCP/IP-Protokoll denkbar. Im Rahmen der Projektdurchführung gilt es zu evaluieren, welche Steuerungsfunktionen in Übereinstimmung mit den strengen Anforderungen der Produktionstechnik in Richtung Echtzeitfähigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit ausgelagert werden können und welche Funktionen in einer reduzierten Maschinenbox vor Ort bereitgestellt werden (siehe Abbildung 4). In diesem Zusammenhang ist die Nutzung von Cloud-Strukturen zunächst auf Private-Clouds im firmeninternen Intranet zu beschränken. Auf Basis dieser neuartigen Steuerungsstruktur sollen Mehrwertdienste zur Effizienzsteigerung, beispielsweise in Form von innovativen Mensch-Maschine-Schnittstellen zur Ein- und Ausgabe, entwickelt werden.

Abbildung 4: *Struktur einer cloud-basierten Industrierobotersteuerung*

Flexible Bereitstellung von Steuerungsfunktionen

Die flexible Bereitstellung von Steuerungsfunktionen entspricht den steigenden Anforderungen einer wandlungsfähigen Produktionsumgebung. Die Hauptvorteile einer Bereitstellung von Steuerungsfunktionen über die Cloud liegen zum einen in einer bedarfsgerechten Skalierung des Leistungsumfanges. Somit kann die konsequente Überdimensionierung der Hardware in bestehenden Systemen vermieden werden. Im Fall neuer Anforderungen lässt sich der Leistungsumfang der Steuerung anpassen, ohne dass ein kostenintensiver Austausch der Steuerungshardware erforderlich wird. Zum anderen wird durch Virtualisierung von Steuerungskomponenten der Platzbedarf für die Steuerung in der Produktionsumgebung massiv verringert. Die strikte Trennung von Hard- und Software ermöglicht eine flexiblere Umgestaltung der Produktionsumgebung sowie eine längere Verfügbarkeit der Steuerungsplattform.

App-Konzept und Mehrwertdienste – Basis für Innovation und neue Märkte

Neben der bedarfsgerechten Bereitstellung von Hardwareleistung ermöglicht die Cloud-Struktur selbiges für das effiziente Aufspielen von Algorithmen (App-Konzept). Darüber hinaus lassen sich Zusatzanwendungen zur Steigerung der Produktivität, zur Unterstützung des Bedieners oder zur Aufnahme von Produktionsdaten einfach über Softwareschnittstellen der Cloud in das Steuerungssystem integrieren.

stem integrieren. Die Steuerungsprovider können somit das Spektrum an angebotenen Softwarefunktionen durch den Distributionskanal der Cloud erweitern und bestimmte Algorithmen dem Kunden mit minimalem Aufwand zuführen.

Die Cloud-Struktur vereinfacht aufbauend auf dem App-Konzept die Anbindung weiterreichender Dienste (Mehrwertdienste) durch die Bereitstellung geeigneter Kommunikationsmechanismen. In diesem Sinne entstehen auf Basis flexibler Schnittstellen neue Märkte für Mehrwertdienste zur Effizienzsteigerung. Mögliche Anwendungsbereiche liegen im Bereich der Produktion unter anderem: in der Anbindung realitätsnaher Simulation, Monitoring- und Wartungsanwendungen, Optimierungsmethoden sowie die Bereitstellung optimierter Mensch-Maschine-Systeme.

Voraussetzung für vereinfachte, sichere Umsetzbarkeit von Zusatzfunktionen in Form von digitalen Dienstleistungen durch die Hersteller von Industrierobotern und Werkzeugmaschinen sowie durch Drittanbieter und Anwender sind die externen Schnittstellen der Cloud-basierten Steuerung. Im Projekt pICASSO sind diesbezüglich angedacht:

- Erweiterung der Private Cloud zur Community-Cloud, so dass in einem gesicherten Rahmen eine Verbindung zu den Steuerungen aufgebaut werden kann, um beispielsweise eine Offline-Roboterprogrammierung über einen externen Service als Mehrwertdienst zu integrieren.
- Bereitstellung von Mehrwertdiensten als App, die für definierte Aufgaben wie beispielsweise eine Inspektion oder Instandhaltungsmaßnahme eine definierte Funktionalität (zum Beispiel Beschreibung eines Inspektionsablaufes) mit Anbindung an die Steuerungsdaten und -funktionen in der Cloud erlaubt.

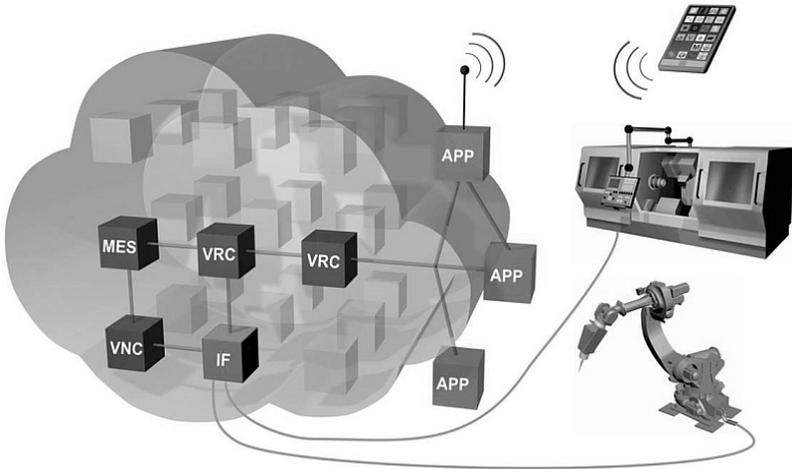
Damit die Mehrwertdienste direkt auf die Cloud-basierte Steuerungsstruktur aufsetzen können, werden im Projekt pICASSO einheitliche Schnittstellen zur mobilen und stationären Nutzung mit adäquatem Umfang definiert, welche als Muster für diesbezügliche Normungen dienen sollen.

Abbildung 5 visualisiert die Anbindung von Mehrwertdiensten in Form von Apps. Im Projekt werden verschiedene Klassen potentieller Mehrwertdienste identifiziert und in Einzelanwendungen prototypisch umgesetzt. Die Schnittstellen werden so gestaltet, dass eine Erfassung von Prozessdaten ermöglicht wird, welche das Potenzial für tiefergehende Analysen zum Beispiel mit Methoden des Data-Mining bieten. Hierdurch werden Potentiale für zukünftige Mehrwertdienste aus dem Bereich Big Data geschaffen, die in Verbindung mit künftigen Enterprise-Resource-Planning Systems (ERP-Systemen) eine Analyse in Echtzeit ermöglichen. Im Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstellen werden beispiel-

haft neuartige auf Gesten basierende Programmiermethoden evaluiert, welche eine vereinfachte aufgabenorientierte Programmierung von Robotern zulassen. Hierdurch wird einem breiteren Personenkreis die Programmierung von Industrierobotern ermöglicht.

Für die Hersteller von Werkzeugmaschinen und Industrierobotern, welche potentiell Anbieter der Cloud-Struktur und deren Schnittstellen sind, ergeben sich zunächst Leistungsvorteile gegenüber Konkurrenten. Zudem besteht von Seiten der Hersteller Interesse daran, offene Standards zu schaffen, sodass Drittanbieter auf den eigenen Funktionen aufsetzen, um den Kunden weitere Vorteile in Form von Mehrwertdiensten zur Effizienzsteigerung zu bieten. Entsprechend ist neben einer Durchdringung bestehender Märkte eine Erschließung von Märkten gegeben, in denen eine Anwendung von Werkzeugmaschinen oder Industrierobotern bisher aufgrund fehlender technisch/wirtschaftlicher Lösungen nicht möglich war.

Abbildung 5: *Flexible Anbindung von Mehrwertdiensten (Apps) in die cloud-basierte Steuerungsstruktur*



Die Analogie zum Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Der Einzug der Computer in die Produktion im Rahmen der dritten industriellen Revolution stellte die Basis für eine breite Automatisierung der Produktion

dar. Von der Euphorie der neuen Technik getrieben, entstand der gesellschaftliche Traum der menschenleeren Fabrik. Mit der Automatisierung wurde neben einer Steigerung der Produktivität auch die Entbindung des Menschen aus der Produktion angestrebt. Mehr Wohlstand und Freizeit wurden prognostiziert. Ferner galten Roboter und künstliche Intelligenz als Hoffnung für maximal-flexible Systeme, welche es vermögen, dass sich technische Systeme beliebigen Umgebungssituationen ohne Eingriff des Menschen anpassen.

Von der Vollautomatisierung zu humanzentrierter Automatisierung

Zu Beginn der 80er Jahre ging der Trend gestützt vom Voranschreiten der IT-Technologie zur Hochautomatisierung.¹² Einzelne Automobilhersteller erprobten vollautomatisierte Produktionshallen. Mit dem Anstieg des Automatisierungsgrades sank jedoch die Flexibilität des Systems, der Trend zur Vollautomatisierung offenbarte ein kostenträchtiges Overengineering. Die sogenannte „Halle 54“ von Volkswagen stand Anfang der 80er Jahre prototypisch für den Misserfolg der Vollautomatisierung. Es musste festgestellt werden, dass die Vollautomatisierung aufgrund ihrer technischen Komplexität nicht mit der erforderlichen Flexibilität der Produktion im Automobilbau hinsichtlich Variantenvielfalt und Verfügbarkeit vereinbar war. Diese Erkenntnisse setzen sich bis zum heutigen Tage fort, sodass starre Automatisierungslösungen in der akademischen Beurteilung mit folgenden negativen Eigenschaften belegt werden:

- kostenintensiv,
- hohe Anlaufzeiten,
- unflexibel,
- mangelnde Wiederverwendbarkeit.

Andererseits lassen sich durch starre Automatisierungssysteme mit einem hohen Grad der Spezialisierung auf eine bestimmte Aufgabe geringe Taktzeiten erreichen. Dies beschränkt jedoch den wirtschaftlichen Einsatz auf hohe Stückzahlen in der variantenarmen Massenfertigung. Bis heute ist seit Mitte der 90er in westlichen Hochlohnländern durchaus ein Rückgang des Automatisierungsgrades des produzierenden Gewerbes zum Vorteil der Befriedigung des kundengetriebenen Bedarfs festzustellen. Randbedingungen moderner Produktion sind demgemäß zumeist:

12 Lay, G. / Schirrmeister, E. / Wiendahl, H.-P. / Röhrig, M., Zurück zu neuen Ufern. Rücknahme des Automatisierungsniveaus in deutschen Unternehmen, – In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb : 96 (2001) 7/8, S. 399 –405.

- schwankender Mengenbedarf,
- Variantenvielfalt und breites Produktspektrum,
- hohe Liefertreue sowie
- kürzere Produkt- und Produktionslebenszyklen.

Aus diesen Erkenntnissen folgte in den 90er Jahren die Abkehr vom Paradigma der Vollautomatisierung hin zur „Lean Production“, d.h. der schlanken Produktion im Sinne einer Vermeidung von Verschwendung, Synchronisation von produktionstechnischen Abläufen und zunehmender Kundenorientierung.¹³

Aktuelle Trends gehen zur „humanzentrierten Automatisierung“ bzw. *balanced automation*, die den Menschen als festen Bestandteil der Produktion versteht und versucht, diesen hinsichtlich seiner sensomotorischen Fähigkeiten und seines Vermögens zur Kognition sowie Abstraktion gezielt zu integrieren und zu unterstützen. In diesem Sinne ist seit mehreren Jahren ein Trend der Automatisierungstechnik zur Erschaffung von Assistenzsystemen festzustellen. Diese erstrecken sich von der Steuerung von Kraftfahrzeugen über die Unterstützung von manuellen Montagetätigkeiten bis hin zur Bedienung von komplexen Maschinen. Ergebnisse sind eine Effizienzsteigerung und die gleichzeitige Begegnung gesellschaftlicher Probleme wie dem Fachkräftemangel und der alternden Gesellschaft.

Das Förderprogramm zu CIM

Im Zuge des Einzugs der Computer in die Produktion kamen in Kombination zum Computer als Steuerungsgerät Softwarelösungen für die Unterstützung der Produktion auf. Die CAx-Systeme stellen heute etablierte Softwarelösungen für die Konstruktion (computer aided design - CAD), Arbeitsplanung (computer aided process planning - CAP) sowie für die Unterstützung der Programmierung von Werkzeugmaschinen und Industrierobotern (computer aided manufacturing -CAM) dar. Das aufkommende Potential dieser Softwarelösungen wurde durch die deutsche Politik relativ spät erkannt. Durch das Programm „Fertigungstechnik“ wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie in den Jahren 1988–1992 ein breites öffentliches Förderprogramm bereitgestellt, indem grundlegend drei Ziele verfolgt wurden¹⁴:

- zukunftsorientierte Strukturverbesserung durch die Einführung von CIM,

13 Klocke, F. / Pritschow, G., *Autonome Produktion*, Serie Engineering online library. Berlin - Heidelberg: Springer 2003.

14 Cyranek, G., *CIM – Herausforderung an Mensch, Technik, Organisation*. Verlag der Fachvereine, 1993.

- Durchführung von Forschung und Entwicklung im Vorfeld der Normung von CIM-Schnittstellen und deren Einbringen in die internationale Normungsarbeit,
- Aufbau und Betrieb eines Netzes von CIM-Technologiezentren, um Fachwissen und Erfahrungen breit und beschleunigt in die industrielle Anwendung zu bringen.

Deutschlandweit entstanden 21 CIM-Technologiezentren an Forschungsinstituten zur Entwicklung und zur Integration von CAX-Systemen im Mittelstand.¹⁵ In Demonstrationszentren sollte es deutschen Anbietern ermöglicht werden, die Vorzüge ihrer Produkte zur Schau zu stellen. Als Anbieter von CAX-Systemen konkurrierten mittelständische Anbieter aus Deutschland mit internationalen Größen wie IBM, HP und DEC. Der Firma Siemens kam eine Sonderstellung zu, da diese in der Lage war, ein breites Spektrum von Hard- und Softwarekomponenten für die Logistik, Automatisierungstechnik und Konstruktion anzubieten. Letztendlich konnten sich jedoch in diesem Bereich amerikanische Hersteller durchsetzen, die über langjährige Erfahrungen und vorhandene Technologien im Hard- und Softwarebereich verfügten. Dementsprechend waren diese Anbieter in der Lage, zu ihren CAX-Systemen maßgeschneiderte Hardwarelösungen, beispielsweise in Form von Workstations, anzubieten.

Gründe für das scheinbar wirkungslose Verpuffen des Förderprogramms werden in der mangelnden Leistungsfähigkeit deutscher CAX-Systeme und im Fehlen von durchgängigen Lösungen für die Integration gesehen. Diese Defizite suchen ihre Gründe in einer unzureichenden Verständigung zwischen Politik, Industrieunternehmen und Forschung.¹⁶ Die Etablierung deutscher Hersteller war politisch gewollt. Dabei wurde nicht beachtet, dass durch eine temporäre Förderung von Unternehmen, welche quasi bei „Null“ anfangen, nicht automatisch international konkurrenzfähige Unternehmen entstehen. Folglich waren die deutschen Produkte nicht konkurrenzfähig. Als Konsequenz existiert heutzutage mit Siemens NX die einzige deutsche CAD/CAM-Software mit nennenswerter Verbreitung. Bei dieser Software handelt es sich um einen im Jahr 2007 getätigten Zukauf der amerikanischen Software-Firma UGS Corporation.

15 Scheer, A.-W.. Industrie 4.0 = CIM reloaded? Hoffentlich nicht! Online verfügbar unter: <http://www.august-wilhelm-scheer.com/2013/03/11/industrie-4-0-cim-reloaded-hoffentlich-nicht/> - 11.04.2014.

16 Scheer, A.-W., Industrie 4.0: Alter Wein in neuen Schläuchen? Online verfügbar unter: <http://www.august-wilhelm-scheer.com/2012/02/08/industrie-4-0-alter-wein-in-neuen-schlauchen/> - 11.04.2014.

Die Bestrebungen zur Normung von Softwareschnittstellen im CAx-Bereich können nahezu komplett als gescheitert angesehen werden. Zwar wurden nationale und internationale Normen durch breite Gremien von Forschungsinstituten und industriellen Anwendern im Rahmen von CIM geschaffen, doch fanden diese keinerlei industrielle Verbreitung. Viele Normen wurden mittlerweile zurückgezogen. Vor allem die großen amerikanischen Hersteller waren an den Prozessen der Normung nicht beteiligt und aus produktpolitischen Gründen nicht an einer Normung interessiert. Der Anwender von modernen CAM- und CAD-Systemen muss noch heute zwischen einer großen Anzahl verschiedener Datenformate wählen, welche untereinander nur bedingt kompatibel sind und sich ohne Informationsverlust nicht umwandeln lassen.

Letztendlich kann festgestellt werden, dass sich die CIM-Technologien durchgesetzt haben und beispielsweise in Form von CAD-Systemen auch die Arbeit von deutschen Firmen im produktionstechnischen Umfeld erheblich effizienter und effektiver gestalten. Allerdings ist durch die unzureichende Standardisierung großes Potential für erweiternde Innovationen im Bereich der Software und Effizienzvorteilen auf Seiten der Anwender ungenutzt geblieben. Drittanbietern wurde der Zugang zu Daten der etablierten Systeme erschwert oder unmöglich gemacht. Ein Zusammenwachsen und eine Weiterentwicklung von Technologien wurden gegen das Interesse der Anwender durch die großen Hersteller verhindert.

(Un-)Gleichheit der Voraussetzungen

Die Frage, ob sich diese Fehlentwicklungen in Industrie 4.0 wiederholen, führt zunächst zu der Frage, ob sich die grundlegende Einstellung der Hersteller hinsichtlich vereinheitlichter Softwareschnittstellen geändert hat. Da gerade der Maschinenbau und die Produktionstechnik in interdisziplinären Fachkreisen als eher konservativ gelten, kann nicht unbedingt davon ausgegangen werden, dass die Hersteller freiwillig auf ihre proprietären Lösungen verzichten werden. Andererseits erfolgt im Rahmen von Industrie 4.0 eine zunehmende Verknüpfung von klassischem Maschinenbau und industrieller IT sowie der Kultur des Internets. Das Internet und die IT-Branche haben in den letzten Jahren einige Beispiele für positive Entwicklungen gezeigt, die das Potential tragen, die gesellschaftlich-technische Wertvorstellung auch im Hinblick auf industrielle Anwendungen zu verändern, bspw. Open-Source-Software, CrowdFunding, Open Innovation und die „Maker-Szene mit 3D-Druck.

Konkreter Druck auf die Hersteller kann nur durch „mutige“ Konkurrenten oder Neugründungen erfolgen. Der Mehrwert für die Kunden liegt auf der

Hand, sodass zu erwarten ist, dass sich ein Sogeffekt ergibt und die Konkurrenten als „Follower“ mitziehen müssen. In der industriellen Kommunikationstechnik gibt es seit einigen Jahren einen Trend zur Nutzung offener Standards. Als Beispiel dienen CANopen, welches im Rahmen eines öffentlichen Förderprojektes durch deutsche Mittelständler entwickelt wurde, und OPC UA. Gerade OPC UA kommt auf Basis seiner vereinheitlichten Struktur, der Übertragbarkeit auf beliebige Betriebssysteme sowie der Fähigkeit, Geräte und Maschinen von verschiedenen Herstellern treiberunabhängig zu vernetzen, eine Vorreiterrolle im Rahmen von Industrie 4.0 zu. Zudem ist dieses Protokoll mittlerweile für nicht-echtzeitkritische Kommunikation unter Komponenten verschiedener Hersteller ein Quasi-Standard in der Industrie.

Weiterführend ist in Industrie 4.0 im Vergleich zu CIM die heterogene Struktur der Förderprojekte positiv zu erachten. Gemeinsam mit der akademischen und angewandten Forschung sind sowohl Anwender als auch Hersteller aus der Produktionstechnik beteiligt.

Aktuelle Entwicklungen

Nach verhaltenem Anlauf und anfänglichem Desinteresse des produzierenden Gewerbes¹⁷ nach Ausruf der vierten industriellen Revolution im Herbst 2012 ist Industrie 4.0 zurzeit in aller Munde. Aktuell besteht der Eindruck eines breiten Aktionismus hinsichtlich Industrie 4.0. Industrie 4.0 war 2014 zum wiederholten Mal Leitthema der weltweit wichtigsten Industriemesse Hannover-Messe sowie der Informationstechnik-Messe CeBIT. Zudem ist das Thema omnipräsent auf Fachmessen der Automatisierungstechnik und Mechatronik wie etwa der Automatica. Annähernd jede Firma, welche in der industriellen IKT zu verorten ist, sieht sich als originären Wegbereiter von Industrie 4.0, sodass mitunter von einem gewissen „Hype“ gesprochen werden kann. Industrie 4.0 ist mittlerweile in allen bedeutenden Medien und Industriekreisen akzeptiert.^{18 19 20} Die

17 Spinnarke, S., Kein Interesse an Automation. 2023. Online verfügbar unter: <http://www.produktion.de/automatisierung/kein-interesse-an-automation/> - 11.04.2014.

18 BITKOM. (2014) Presse information -Industrie 4.0 hat deutlich an Fahrt aufgenommen. Online verfügbar unter:http://www.bitkom.org/files/documentnits/BITKOM_Presseinfo_4.0_11_03_2014.pdf 11.04.2014

19 Hartbrich, I., Industrie 4.0 - In der zukunftsfabrik. - In: DIE ZEIT. Nr. 05/2011 - 11.04.2014.

20 Schreier, J., Industrie 4.0 kommt immer mehr in Schwung. (2014). Online verfügbar unter: http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/automatisierung/fertigungsautomatisierung_prozessautomatisierung/articles/437603/ -11.04.2014.

Potentiale für die deutsche Wirtschaft gelten als unumstritten, jedoch wird der deutschen Industrie Nachholbedarf in der IT-Infrastruktur sowie allgemein in der Bereitschaft zur Digitalisierung angemahnt.²¹ Zudem wird die mangelnde Rolle der deutschen Industrie im Bereich der Embedded Systems als sehr kritisch angesehen. Zur nachhaltigen Etablierung von Industrie 4.0 über den aktuellen Hype hinaus fehlen derzeit plakative Anwendungen mit konkretem Wertschöpfungscharakter. Vielen Anwendern und potentiellen Dienstleistern fehlt es aufgrund unzureichender Softwarelösungen und unklarer Standards ;gn einem durchgängigen Geschäftsmodell für industrielle Anwendungen Cyber-physischer Systeme und des Internets der Dinge.²² Unterstützt wird der allgemein euphorische Trend durch teilweise unreflektierte Berichterstattungen in populärwissenschaftlichen Publikationen sowie in der Tagespresse, in denen teilweise pauschal Effizienzsteigerungen von 30-50 Prozent prognostiziert werden. Unterdessen entstehen kontinuierlich neue Fachausschüsse, Industrieforen, Arbeitskreise sowie Kolloquien von Branchen- und Berufsverbänden wie BITKÖM, VDI/VDE, VDMA und SIBB. Positiv zu betrachten sind Industriegremien, welche die IT Sicherheit und die Standardisierung adressieren. Auch namhafte Zeitungsverlage beteiligen sich und veranstalten fachbezogene Konferenzen, beispielsweise zur sicheren Industriegesellschaft, oder liefern Sonderthemen in speziellen Beilagen.

Derweil diskutierten Gewerkschaften und zugehörige Stiftungen intensiv über die Rolle des Menschen in der Arbeitswelt der Industrie 4.0 und sehen durchaus Potential zur Verbesserung der Arbeits- und Beschäftigungsbedingungen in der Selbstorganisation, sehen jedoch zur Umsetzung noch große Defizite in der Qualifizierung der Arbeitnehmer.²³ Die positive Grundeinstellung der Arbeitnehmervertretung resultiert auch aus einer intensiven Beteiligung der Gewerkschaften an der offiziellen Gestaltung von Industrie 4.0. So wirkte der Deutsche Gewerkschaftsbund maßgeblich an der Gestaltung der Umsetzungsempfehlungen mit.²⁴

21 Koenen., J., Industrie 4.0 - Streit über das Tempo der Digitalisierung. 2014. Verfügbar unter: Online <http://www.handelsblatt.com/technologie/it-tk/cebit2014/industrie-4.0.streit-ueber-das-tempo-der-digitalisierung/9604448.html> - 11.04.2014.

22 Keller K. C. / Weber, R., Industrie 4.0 - was bleibt, wenn der Kampfschreiberhallt ist? 2014. Online verfügbar unter: <http://maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/manaageementundit/articles/435210index2,html>unter: 11.04.2014.

23 Hans-Böckler-Stiftung. Industrie 4.0 - Arbeit in der Cloud. 2013. Online verfügbar unter <http://media-boeckler.de/Site/A/online-archiv/12706> - 11.04.2014.

24 Kagermann, H. / Wahlster, W. / Helbig, J. (Hrsg.), Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Berlin: Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V, 2012.

Aus Sicht des Marketings ist der Begriff Industrie 4.0 geschickt gewählt, da durch die Begrifflichkeit gleichermaßen eine moderne Nutzung des Internets wie eine industrielle Revolution mit deutscher Prägung formuliert wird. Das internationale Presseecho auf „Industry 4.0“ ist noch sehr verhalten, obwohl eine internationale Prägung des Begriffs angestrebt wird. Alle Kern-Dokumente zu Industrie 4.0 sind auch in einer englischen Version frei im Netz verfügbar. Einzelne Berichterstattungen finden sich in der internationalen Fachpresse.²⁵²⁵²⁶ Die Formulierung einer neuen industriellen Revolution wird jedoch international nur sporadisch aufgenommen. Gründe dafür liegen unter anderen darin, dass im Ausland ähnliche Forschungsprogramme und Verbände aus F&E und Industrie bestehen. So verfolgt in den USA die Non-Profit Organisation Smart Manufacturing Leadership Coalition ähnliche nationale Ziele wie die High-Tech-Strategie der Bundesregierung in Deutschland.

Fazit - Enormes Potential mit Hindernissen

Geht man der Frage nach, ob es sich bei Industrie 4.0 um eine tatsächliche industrielle Revolution handelt, ist diese alleinig aus technischer Sicht nicht zu beantworten. Die technischen Grundlagen für die Industrie 4.0 sind seit vielen Jahren gegeben. Es mangelt jedoch bis jetzt in der Industrie an konkreten Umsetzungen, da ein konkreter Mehrwert aufgrund fehlender Anwendungen nicht erkennbar war. Das Fehlen von Anwendungen geht dabei auch stark auf ein Fehlen von Schnittstellen und mangelnde Standardisierung zurück. Gründe hierfür liegen unter anderen in einer zumeist konservativen Produktstrategie der etablierten Hersteller von Produktionsmitteln. In diesem Zusammenhang hat Industrie 4.0 etablierte Hersteller bezüglich des eigenen Nutzens von der Bereitstellung offener Schnittstellen zu überzeugen. Ein weiterer offener Punkt der deutschen Industrie, welcher mit Industrie 4.0 in den Fokus rückt, ist die IT Sicherheit, welche teilweise in der Vergangenheit von deutschen Firmen stark vernachlässigt wurde. Die dritte Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 ist der Breitbandausbau in Deutschland. Dieser kann zum aktuellen Zeitpunkt als unzureichend angesehen werden. Insofern divergieren infrastrukturelle Voraussetzungen der IKT Systeme und Anforderungen von Industrie 4.0.

25 Mintchell, G., The Future of Manufacturing: Industry 4.0. (2013). Online verfügbar unter: <http://automationworld.com/industrie.business/future-manufacturing-industrie-40>

11.04.2014

26 Handelszeitung. (2013) Industrie 4.0 auf dem Vormarsch. Online verfügbar unter: <http://handelszeitung.ch/unternehmen/Industrie.40-auf-dem-Vormarsch-501330> - 11.04.2014

Werden auf den Ebenen des Breitbandausbaus, der IT Sicherheit und der Standardisierung von Schnittstellen keine adäquaten Lösungen gefunden, welche von der Industrie, vorrangig der Hersteller von Produktionsmitteln, angenommen werden und den Bedürfnissen der Anwender entsprechen, kann Industrie 4.0 als gescheitert betrachtet werden, da viele Anwendungen ihre wirtschaftlich-technische Basis verlieren. Die adressierten Technologien von Industrie 4.0 sind demgemäß weder neu, noch kann sich Deutschland als Vorreiter bei der Erforschung und mäß Entwicklung von konkreten Anwendungen von CPS betrachten. Diese Rolle steht aufgrund der frühzeitigeren und intensiveren Förderung eindeutig den USA zu. Unabhängig von den deutschen Bestrebungen unter dem Titel „Industrie 4.0“ wird an flexiblen und individualisierbaren Produktionsnetzwerken in den USA und in Asien intensiv und praxisnah geforscht. Davon abgesehen, bestehen bei der konkreten industriellen Applikation von vernetzten CPS in den USA durchaus noch Defizite²⁷.

Das Potential von Industrie 4.0 liegt für die deutsche Industrie mit ihrem hohen Anteil an Wertschöpfung in der Schaffung von weiterem Mehrwert, in dem es einen Rahmen zur Kombination vorhandener Technologien aufzeigt. Dies ermöglicht prinzipiell die Schaffung:

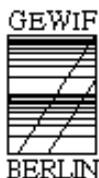
- neuer Internet-basierter Geschäftsmodelle sowie
- neuer Dienstleistungen und Dienste, die auf der zunehmenden Vernetzung von Produktionsmitteln und Produkten beruhen.

Die Stärke des Effektes sowie die Nachhaltigkeit der Förderung von Industrie 4.0 sind nur schwer absehbar. Innovationen im Bereich von Schrittmachertechnologien, die über den derzeitigen Stand der Technik in Wissenschaft und Forschung hinausgehen, sind zunächst durch konzentrierte Förderung der Integration vorhandener Technologien in Produkte und Prozesse nicht zu erwarten. Vielmehr kann eine Ausweitung des Anwenderkreises der Technologien durch anwendungsnahe Projekte mit industriell besetzten Konsortien von KMU über Großkonzerne erreicht werden. Können diese Firmen im Rahmen der aktuellen Projektdurchführungen davon überzeugt werden, ihre Produkte hinsichtlich der neuen Technologien sowie einheitlichen Standards in Verbindung mit einem durchgängigen Konzept für die IT Sicherheit auszustatten, kann dies eine branchenübergreifende Sogwirkung zur industriellen Durchsetzung entfalten. Es fehlt zurzeit an praktischen Lösungen und empirischer Erfahrung im Bereich der Selbstorganisation von Produktionsnetzwerken. Deshalb sind hier praxisnahe Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu begrüßen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Industrie 4.0 eher als eine Revolution der kleinen

27 Weis, H., Industrie 4.0 - ein deutscher Begriff. - In: VDI Nachrichten, Vol. 5, 2014.

Schritte zur Erschließung von neuem Wertschöpfungspotential, d. h. eine Evolution mit Hindernissen, als eine „wirkliche Revolution“ bezeichnet werden kann.

Gesellschaft für
Wissenschaftsforschung



Jörg Krüger
Heinrich Parthey
Rüdiger Wink
(Hrsg.)

**Wissenschaft
und Innovation**

Wissenschaftsforschung
Jahrbuch 2014

Sonderdruck

Mit Beiträgen von:

Gerhard Banse • Michael Hüther

Jörg Krüger • Jens Lambrecht

Heinrich Parthey • Methild Schrooten

Rüdiger Wink

Wissenschaftsforschung
Jahrbuch **2014**

Bibliographische Informationen Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-86573-841-7

© 2015 Wissenschaftlicher Verlag Berlin
Olaf Gaudig & Peter Veit GbR
www.wvberlin.de
Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung, auch einzelner Teile, ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig. Dies gilt insbesondere für fotomechanische Vervielfältigung, sowie Übernahme und Verarbeitung in EDV-Systemen.

Druck und Bindung: Schaltungsdienst Lange o.H.G.,
Berlin

Printed in Germany
€ 22,00