

Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0

Jochen Deuse, Kirsten Weisner, André Hengstebeck und Felix Busch, Institut für Produktionssysteme, Technische Universität Dortmund

Produzierende Unternehmen in Deutschland sehen sich durch den wachsenden globalen Wettbewerb einem zunehmenden Termin- und Kostendruck ausgesetzt. Des Weiteren führt die steigende Nachfrage nach kundenindividuellen technischen Produkten und Dienstleistungen zu einer wachsenden Anzahl an Varianten. Zusammen mit der Forderung nach einem immer effizienteren Ressourceneinsatz und der gleichzeitig erforderlichen Zunahme der Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Geschwindigkeit der Prozesse, führt dies zu einem deutlichen Anstieg der Komplexität in modernen Produktionssystemen (vgl. Steinhilper et al., 2012). Darüber hinaus stellen der demographische Wandel und dessen Folgen für den Industriestandort Deutschland weitere wesentliche Herausforderungen der kommenden Jahre dar (vgl. Plorin et al., 2013). Die Abnahme der Bevölkerung bei gleichzeitiger Alterung resultiert mitunter in einer deutlichen Veränderung der Größe und Zusammensetzung des Erwerbspersonen potentials (vgl. Weber & Packebusch, 2009; BMI, 2011). Um in einem derart dynamischen Umfeld langfristig bestehen zu können, sind produzierende Unternehmen gezwungen, die Produktivität sowie Flexibilität ihrer Prozesse kontinuierlich zu erhöhen.

Chancen und Risiken durch Industrie 4.0

Im Jahr 2012 wurde unter dem Begriff „Industrie 4.0“ die durch das Internet getriebene vierte industrielle Revolution ausgerufen (vgl. Kagermann et al., 2013). Das Kernelement dieser sind Cyber-Physische Systeme (CPS), mittels derer eine Vernetzung sich situativ selbststeuernder und räumlich verteilter Produktionsressourcen verfolgt wird. Zentraler Aspekt ist dabei die Berücksichtigung aller zugehörigen Planungs- und Steuerungssysteme, welche innerhalb genau definierter Grenzen eigenständig Informationen austauschen und selbstständig Entscheidungen treffen sollen. Voraussetzung hierfür ist die vollständige Integration jeglicher Ressourcen und Systeme (vgl. Kagermann et al., 2013; Wahlster, 2011).

Die in diesem Kontext angestrebte Integration der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) der CPS in Produktionssysteme führt zur Entstehung sogenannter Cyber-Physischer Produktionssysteme (CPPS) im Sinne einer intelligenten Fabrik (Smart Factory). Ziel der CPPS ist eine durchgängige Verfahrenskette über den gesamten Produktlebenszyklus, um nachhaltig die Flexibilität und Effizienz der industriellen Produktion zu steigern. So sollen durch die Einführung von CPPS Möglichkeiten geschaffen werden, trotz dynamischer Rahmenbedingungen eine kundenindividuelle, reaktionsschnelle und umweltfreundliche industrielle Produktion unter Anwendung verteilter und

teils stark heterogener Produktionsressourcen zu realisieren (vgl. Kagermann et al., 2013).

Der hierfür erforderliche Technologieeinsatz sowie die enge Vernetzung der räumlich verteilten Produktionsstätten erfordern eine konsequente Standardisierung der gesamten Wertschöpfungskette, um die ansteigende Komplexität beherrschen zu können. Darüber hinaus gilt es zu gewährleisten, dass durch die entstehenden neuen Formen intelligenter, autonom handelnder Produktionsressourcen das Prozess- und Systemverständnis auf Seiten des Mitarbeiters nicht überproportional abnimmt, sodass seine Handlungsfähigkeit im Produktionssystem erhalten bleibt.

Neben den IKT sind bei der Gestaltung von CPPS vor allem auch strukturelle und infrastrukturelle Voraussetzungen für die operative Gestaltung von Prozessen sowie der Mensch mit seinen jeweiligen Fähig- und Fertigkeiten zu berücksichtigen (vgl. Jentsch et al., 2013). In der jüngeren Vergangenheit hat vor allem die Gesamtbetrachtung der Faktoren Mensch, Technik und Organisation (MTO) bei der Entwicklung und Implementierung von Produktionssystemen zu einer nachhaltigen Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen geführt (vgl. Ulich, 2011). In diesem Zusammenhang gilt es zu untersuchen, in welcher Form das Wirkverhältnis bzw. die Beziehungen zwischen den Faktoren Mensch, Technik und Organisation ausgeprägt sein sollten, um langfristig stabile und vorteilhafte Produktionsprozesse im Kontext von Industrie 4.0 zu gewährleisten. Im Folgenden werden dazu verschiedene Gestaltungsansätze diskutiert.

Bisherige Ansätze zur Gestaltung von Produktionssystemen

In der Vergangenheit wurden sowohl ausgeprägt human- als auch technikzentrierte Ansätze bei der Gestaltung von Produktionssystemen eingesetzt. Als Konsequenz aus der tayloristisch geprägten Arbeitsgestaltung und der resultierenden Unzufriedenheit der Arbeitnehmer entstand im Jahr 1974 das staatliche Forschungs- und Entwicklungsprogramm „Humanisierung des Arbeitslebens“ (HdA). Zentrale Aspekte des Programms waren der Schutz der Gesundheit der Arbeitnehmer durch den nachhaltigen Abbau von Belastungen, die menschengerechte Anwendung neuer Technologien sowie die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Betriebserfahrungen zur menschengerechten Gestaltung der Arbeitsbedingungen. Konkrete Gestaltungsansätze waren u. a. die Einführung flexibler und selbstbestimmter Arbeitszeiten, die Arbeitsbereicherung und Entthierarchisierung sowie die teilautonome Gruppenarbeit

(vgl. Deuse et al., 2009). Kerngedanke der teilautonomen Gruppenarbeit war dabei die Übertragung eines variablen Maßes an individueller Verantwortung für einen umfassenden und möglichst abgeschlossenen Aufgabenbereich (vgl. Hackman, 1987). Auf diese Weise sollte bei den einzelnen Gruppenmitgliedern sowohl ein höheres Verantwortungsgefühl als auch eine gesteigerte Arbeitszufriedenheit erzeugt werden (vgl. Hackman & Oldham, 1976; Kirchner, 1972; Rohmert, 1983; Cohen & Bailey, 1997). Obwohl neben der menschengerechten Gestaltung von Arbeitsplätzen und -bedingungen auch wirtschaftliche Ziele, wie z. B. die Steigerung der Produktivität angestrebt wurden, konnten diese nicht durchgängig erreicht werden, wie verschiedene Beispiele aus der Automobilindustrie verdeutlichen (vgl. Ulich, 2011).

Aus diesem Grund erfuhr das Konzept Computer Integrated Manufacturing (CIM), auch bekannt unter dem Begriff des rechnerintegrierten Produktentstehungsprozesses, in den 1980er Jahren eine hohe Aufmerksamkeit in Deutschland. Zu den wesentlichen Zielen des genannten Ansatzes zählten die vollständige Vernetzung und die ganzheitliche Betrachtung der Prozesse von der Produktentwicklung bis zur Qualitätskontrolle (vgl. Scheer, 1994; Mertens, 2014). Durch die Nutzung der Informationstechnologien erfolgte eine systematische Integration und gemeinsame Anwendung der verschiedenen Softwarelösungen für die Produktionsplanung und -steuerung (vgl. Harrington, 1979; Bullinger, 1989). Entscheidende Vorteile des CIM-Konzeptes waren insbesondere die Steigerung der Produktionsflexibilität bei gleichzeitiger Verringerung der Durchlaufzeiten sowie die Zusammenführung aller Unternehmensbereiche durch Informationsbündelung auf einer gemeinsamen Datenbasis. Bei genauerer Betrachtung der vergangenen Entwicklungen in Deutschland wird jedoch deutlich, dass die angestrebten Ziele nur bedingt erreicht werden konnten. Ein von Kritikern häufig in diesem Zusammenhang angeführter Nachteil ist die Entwicklung der Vision einer menschenleeren Fabrik, welche mit einem rationalisierungsbedingten Arbeitsplatzverlust einhergehen kann (vgl. Bauernhansl, 2013; Jentsch et al., 2013). Die unzureichende Berücksichtigung des Menschen, sowohl in seiner Rolle als Mitarbeiter als auch als Kunde, ist eine der Hauptursachen für die wenig erfolgreiche Umsetzung des beschriebenen Konzeptes bei der Gestaltung von Produktionssystemen.

Im Gegensatz zu den bisher dargestellten Gestaltungsparadigmen fokussiert der organisationszentrierte Ansatz des Lean Management die Gestaltung einer möglichst schlanken, verschwundungsarmen und kundenorientierten

Organisation. Ziel des Lean Management, dessen Ursprung im Toyota- Produktionssystem liegt, ist die Vermeidung jeglicher Form von Verschwendung, ungeplanter Variabilität und Überlastung von Mitarbeitern und Betriebsmitteln (vgl. Ohno, 2009). Darüber hinaus gilt es, die bestmögliche Qualität zu erzeugen, um einen maximalen Kundennutzen entlang einer effizient gestalteten Wertschöpfungskette zu erreichen (vgl. Keßler, 2007). In den letzten Jahren konnte so durch die Umsetzung der Prinzipien des Lean Management in produzierenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus in Deutschland der Kundennutzen von Produktionssystemen gesteigert und gleichzeitig die Herstellkosten gesenkt werden (vgl. Schuh, 2007).

Die Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen deutlich, dass weder ausgeprägte technik- noch humanzentrierte Gestaltungsparadigmen zu einer nachhaltigen und deutlichen Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen, sondern u. U. sogar negative Auswirkungen haben können. Im Gegensatz dazu konnten mit organisations zentrierten Ansätzen zur Gestaltung von Produktionssystemen deutliche Fortschritte in der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit erzielt werden. Die Hypothese lautet, dass der Erfolg der ausgerufenen vierten industriellen Revolution wesentlich davon abhängt, ob es gelingt diese nachhaltig in der Organisation zu verankern und zielgerichtet umzusetzen. Humane und technische Aspekte sind demzufolge an die Strukturen und Prozesse der Organisation anzupassen und auszurichten. Dabei besteht in einem zunehmend dynamischen

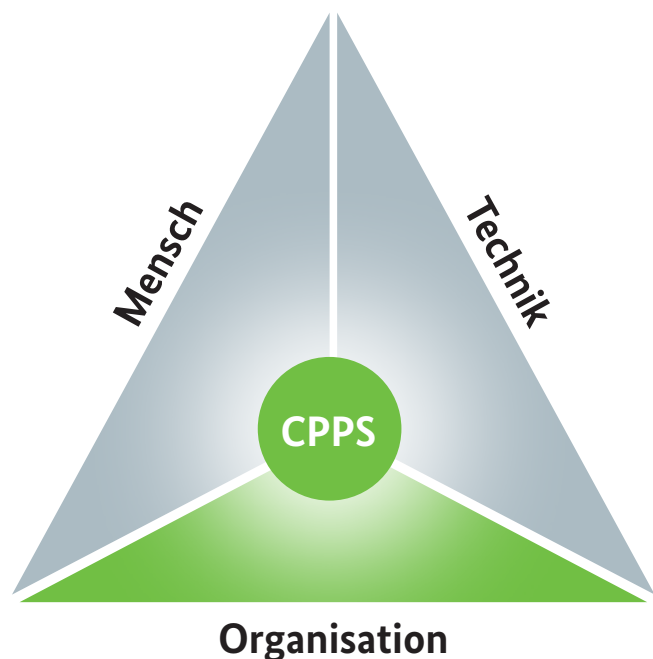


Abbildung 1: Organisationszentrierte Gestaltung von CPPS

und komplexen Wettbewerbsumfeld für Unternehmen die Möglichkeit, die Arbeits- und Organisationsgestaltung in verschiedene Richtungen zu entwickeln. Im Rahmen eines organisationszentrierten Ansatzes ist im Sinne der soziotechnischen Arbeits- und Produktionssystemgestaltung die systemische Prozesssicht in den Vordergrund zu rücken. Konkret erfordert die Gestaltung von CPPS u. a. neue dezentrale Führungs- und Steuerungsformen, neue kollaborative Formen der Arbeitsorganisation mit einem hohen Maß an selbstverantwortlicher Autonomie, einen verstärkten Aufbau entsprechender Systemkompetenz sowie damit einhergehend eine wachsende technische Unterstützung auf Basis der Anpassung der Arbeit an den Menschen (vgl. Wahlster, 2011). Der beschriebene Zusammenhang wird auch in Abbildung 1 verdeutlicht.

Ansätze zur Gestaltung Cyber-Physischer Produktionssysteme

Die im Kontext von Industrie 4.0 zunehmende soziotechnische Interaktion und Vernetzung jeglicher an der Wertschöpfung beteiligten Akteure und Ressourcen sowie der verstärkte Einsatz neuer Formen der IKT führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer vermehrt dezentral organisierten Produktion. Ein mögliches Risiko dieser Entwicklung ist die Erhöhung der Prozessvariabilität, deren Folge die Reduzierung des Kundennutzens aufgrund einer steigenden Durchlaufzeit und einer geringeren Termintreue ist. Um dem entgegenzuwirken sind einheitliche Regeln zur prozessorientierten Organisation und Steuerung erforderlich. Strukturierte und gerichtete Wertströme sind dabei eine wesentliche Voraussetzung für einen wirkungsvollen und zielführenden Technologieeinsatz. In diesem Zusammenhang ist eine umfassende Standardisierung zur Vereinheitlichung der Prozesse und Strukturen entlang der Wertschöpfungskette Grundlage für die intelligente Autonomie durch CPS und die dezentrale Selbstorganisation der Produktion. Erst die Implementierung von definierten, robusten Prozessen, Schnittstellen und Abläufen mit beherrschbarer und planbarer Variabilität schafft die erforderliche Transparenz in komplexen Produktionsstrukturen. Für die Implementierung autonomer Prozesse ist die Definition eindeutiger, richtiger Lösungen und Referenzprozesse als Steuerungsregel bei der Überwachung von Prozessen eine Voraussetzung. Konkret kann dies u. a. durch die Kategorisierung und Systematisierung von Modelltypen, den Aufbau von Klassifizierungskonzepten und durch die Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen erreicht werden.

Ausgehend von der systemischen Prozesssicht ist neben dem durch Industrie 4.0 angestrebten technischen Ent-

wicklungspotential der Mensch ein wesentlicher Faktor bei der Gestaltung von CPPS. So ist die menschliche Flexibilität und Kreativität auch zukünftig nicht durch autonome Systeme ersetzbar. Vielmehr gilt es, die Fähigkeiten des Menschen durch den intelligenten Einsatz der IKT zu unterstützen und zu erweitern. Zu diesem Zweck sind neue, kollaborative Formen der Arbeitsorganisation zu entwickeln, innerhalb derer der Mensch als aktiver Träger von Entscheidungen und Optimierungsprozessen agieren kann. Zukünftig wird der Mensch u. U. räumlich verteilte, vernetzte Produktionsressourcen unter Berücksichtigung situations- und kontextabhängiger Zielvorgaben steuern, regulieren und koordinieren müssen.

Die dargestellten Charakteristika der Arbeit sowie der zunehmende Einsatz komplexer Technologien und das Arbeiten in einem sich ständig verändernden Arbeitsumfeld führen zu steigenden Anforderungen an die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Mitarbeiter. Demzufolge sind das Kompetenzniveau und -profil der Mitarbeiter zu überprüfen und ggf. anzupassen. Vor dem Hintergrund der anzustrebenden Prozessorientierung ist der Aufbau einer hinreichenden Systemkompetenz der Mitarbeiter unabdingbar. Diese beinhaltet die Fähigkeit, Funktionselemente eines Produktionssystems zu erkennen, Systemgrenzen zu identifizieren, Funktionsweisen und Zusammenhänge zu verstehen und letztlich Vorhersagen über das Systemverhalten treffen zu können. Die Systemkompetenz dient demnach als grundlegende Qualifikation und Voraussetzung für den Mitarbeiter als Entscheidungsträger in CPPS. Bisherige, klassische Lehrmethoden sind für die Vermittlung von Systemkompetenz nur bedingt geeignet. Aus diesem Grund sind bedarfsgesteuerte Kompetenzmanagementsysteme für wettbewerbsfähige Produktionsunternehmen zu entwickeln. Inhalt dieser Systeme sollten die Erarbeitung zweckorientierter Kompetenzprofile, angepasst an das neu definierte Aufgabenspektrum der Mitarbeiter, und die Entwicklung eines kontinuierlichen Prozesses der Kompetenzentwicklung sein.

Neben der Notwendigkeit einer kontinuierlichen Erweiterung der Systemkompetenz wachsen auch aus arbeitswissenschaftlicher Sicht die Anforderungen an die Gestaltung der Arbeitssysteme im Kontext Industrie 4.0. So ist die zukünftige Gestaltung der CPPS eng mit den Herausforderungen und Auswirkungen des demographischen Wandels verknüpft. Aufgrund des steigenden Durchschnittsalters der Erwerbstätigen und vor dem Hintergrund sich verkürzender Produktlebenszyklen, zunehmender Innovationsraten und dem verstärkten Einsatz neuer Technologien

und Arbeitsabläufe, gewinnen Themengebiete wie die Arbeitsphysiologie, die kognitive Ergonomie, aber auch die Softwareergonomie zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang kommt auch der Entwicklung von Prozessen und Strukturen zur kontinuierlichen Qualifizierung von Mitarbeitern ein hoher Stellenwert zu. Zusätzlich zu einer derartigen Anpassung des Menschen an die Arbeit sind Maßnahmen zur Anpassung der Arbeit an den Menschen zu ergreifen. Ein konkreter Gestaltungsansatz ist dabei die Implementierung innovativer Automatisierungslösungen zur Vereinfachung von Handhabungs-, Transport- und Bearbeitungsaufgaben (vgl. Schenk, 2014). Der Einsatz von stationären bzw. mobilen sowie individuellen Assistenzsystemen mit intuitiven Benutzerschnittstellen kann eine Entlastung des Mitarbeiters bei körperlichen und geistigen Tätigkeiten bewirken. Die Automatisierung und Übernahme monoton belastender Aufgaben durch beschriebene Assistenzsysteme ermöglicht ferner die angemessene und flexibel anpassbare Einbindung des Mitarbeiters in Steuerungs- und Regelungsprozesse. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für eine Kooperation zwischen Mensch und Technik. Statt einer reinen regelbasierten Funktionsweise der Assistenzsysteme ist eine dialogbasierte Vorgehensweise anzustreben, bei welcher der Mitarbeiter als letzte Instanz die Entscheidungen trägt und in einem flexibel anpassbaren Niveau in Steuerungs- und Koordinationsaufgaben einbezogen werden kann. Die Integration innovativer Automatisierungslösungen sowie die Unterstützung der Fachkräfte durch intelligente Assistenzsysteme bieten die Möglichkeit, die grundlegenden Verschiebungen der betrieblichen Altersstruktur zu kompensieren und zugleich die ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes positiv zu beeinflussen.

Aktuelle Forschungsprojekte im Kontext von Industrie 4.0

Wie die aufgezeigten Gestaltungsansätze zeigen, kann Industrie 4.0 dazu beitragen, die eingangs thematisierten Anforderungen zu erfüllen. Trotz dieses hohen Potentials von Industrie 4.0 gilt es zu bedenken, dass es sich dabei um eine Entwicklung handelt, die sich momentan noch in ihren Anfängen befindet. Die aufgezeigten Arbeitshypothesen und -fragen sind im Rahmen von verschiedenen Förder- und Forschungsprojekten zu untersuchen und auf ihre Praxisrelevanz zu überprüfen. Daran aktiv beteiligt ist das Institut für Produktionssysteme (IPS) der Technischen Universität Dortmund, dessen Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten in diesem Bereich nachfolgend beispielhaft angeführt sind.

So wurden die Anwendungs- und Unterstützungsmöglichkeiten technischer Assistenzsysteme in dem kürzlich abgeschlossenen BMWi-Verbundforschungsvorhaben rorarob – „Schweißaufgabenassistenz für Rohr- und Rahmenkonstruktionen durch ein Robotersystem“ betrachtet. Zentraler Bestandteil war dabei die Simulation der Mensch-Roboter-Kooperation mit Hilfe eines digitalen Menschmodells und die simulationsgestützte Roboterbahnplanung unter Berücksichtigung physischer Belastungen für Mitarbeiter. Darüber hinaus wurden Technologien zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit und Ergonomie in Systemen mit direkter Mensch-Roboter-Kooperation entwickelt und in einem Demonstratoraufbau erprobt (vgl. Busch et al., 2012).

Neben einer Verbesserung der ergonomischen Randbedingungen können technische Assistenzsysteme auch dazu genutzt werden, die individuellen Leistungsfähigkeiten des Mitarbeiters von den spezifischen Leistungsanforderungen des Arbeitssystems zu lösen, um geeignete Arbeitsbedingungen zu schaffen. Ein Beispiel ist der ortsflexible Einsatz robotischer Assistenten zur Entkopplung des Mitarbeiters von einem festen Kundentakt. Dieser Aspekt wird im BMBF-Verbundvorhaben INDIVA – „Individualisierte soziotechnische Arbeitsplatz-assistenz für die Produktion“ fokussiert. Dabei ist es das Ziel des Projekts, im Zuge steigender demographischer Anforderungen eine durchgängig hohe Qualität der ergonomischen Gestaltung in industriellen Produktionsprozessen durch Anpassungen im Bereich der Technik und Organisation sicherzustellen. Zu diesem Zweck erfolgen der Aufbau und die Implementierung eines hochflexiblen hybriden Montagesystems mit einer fähigkeits-orientierten und situationsabhängigen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine. Darüber hinaus werden die Potentiale von kollaborativ-robotischen Arbeitsassistenzsystemen zur technologischen Unterstützung des Mitarbeiters untersucht. Der Einsatz individualisierbarer Humansimulationen ermöglicht zudem eine mitarbeiterbezogene Bewertung des Arbeitsablaufes und stellt damit ein wesentliches Instrument zur frühzeitigen physiologisch-ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung und Leistungsabstimmung dar.

Die technologische Unterstützung des Menschen bei der Durchführung manueller Arbeitsprozesse in und außerhalb der Fabrik durch Servicerobotik-Applikationen ist Gegenstand der Forschungstätigkeiten des vom BMWi geförderten Verbundvorhabens MANUSERV – „Vom manuellen Prozess zum industriellen Serviceroboter“. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Planungs- und Unterstützungswerkzeugs für die Realisierung von Servicerobo-

tik in sozio-technischen Arbeitssystemen, auf welches sowohl potentielle Anwender robotischer Systeme als auch Anbieter derartiger Gestaltungslösungen Zugriff haben. Für Anwender besteht die Möglichkeit, die zukünftig zu automatisierenden Arbeitsprozesse standardisiert mittels einer neuartigen Prozessbeschreibungssprache einzupflegen. Diese Daten werden in einem nächsten Schritt mittels eines Planungskerns auf die Möglichkeit zur Automatisierung geprüft. In Abhängigkeit von dem resultierenden Automatisierungsgrad werden anschließend konkret einsetzbare servicerobotische Lösungen, welche direkt von den Herstellern über die Internetplattform hinterlegt werden können, inklusive möglicher Bewegungsablaufpläne bereitgestellt. Die Anwendung des zu entwickelnden Planungs- und Entscheidungsunterstützungswerkzeugs dient sowohl der stärkeren Vernetzung von Herstellern und Anwendern industrieller Servicerobotik als auch der Reduzierung der physischen Mitarbeiterbelastung durch den Wegfall monotoner, physisch stark belastender, manueller Arbeitsprozesse.

Aktuelle Erfahrungen im Bereich der Digitalen Fabrik zeigen, dass Ergonomie nicht nur im Bereich klassischer manueller Arbeitstätigkeiten eine wichtige Rolle spielt, sondern insbesondere auch vor dem Hintergrund einer Industrie 4.0 zum Tragen kommt. So nimmt die Softwareergonomie sowie die angepasste Bereitstellung von Informationen bei dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt CSC – „Cyber System Connector“ eine vordergründige Rolle ein. Ziel des Projekts ist es, durch Nutzung der Möglichkeiten cyber-physischer Produktionssysteme eine stets aktuelle und normgerechte technische Dokumentation für Maschinen und Anlagen über den gesamten Produktlebenszyklus zu erreichen. Durch die Entwicklung netzwerkfähiger Hardwarekomponenten wird es möglich, Änderungen am System umgehend zu erkennen und in ein virtuelles Abbild der Anlage zurückzuspielen. Das entstehende und kontinuierlich aktualisierte virtuelle Abbild wird anschließend genutzt, um anwendungsspezifisch und personalisiert Inhalte der technischen Dokumentation bereitzustellen (vgl. Bilek et al., 2012). Damit werden sowohl die Prozesse der Wartung und Instandhaltung beschleunigt als auch die kontinuierliche Verbesserung des Produktionssystems unterstützt.

Eine wichtige Voraussetzung für eine solche intelligente Informationsbereitstellung ist die Verknüpfung und effiziente Nutzung digitaler Datenbestände entlang des Produktentstehungsprozesses. Dies gilt insbesondere für Planungsfälle, in denen aufgrund bestimmter Rahmen-

bedingungen, wie z. B. hoher Investitionskosten oder zeitlicher Beschränkungen, bereits frühzeitig eine sehr hohe Planungsgüte erforderlich ist. Häufig finden sich derartige Szenarien bei der Planung von Produktionssystemen. Dabei ist die Bedeutung der Montage hervorzuheben, da diese einen meist hohen Anteil an der gesamten Wertschöpfung aufweist und darüber hinaus oft zu einem großen Teil hinter dem Kundenentkopplungspunkt liegt, was wiederum zu hohen Anforderungen bezüglich Komplexität und Lieferzeit führen kann. Diese Rahmenbedingungen stellen eine Motivation des vom BMBF geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekt Pro Mond – „Prospektive Ermittlung von Montagearbeitsinhalten in der Digitalen Fabrik“ dar. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Gesamtsystematik zur ganzheitlichen Unterstützung bei der integrierten Ermittlung von Montagearbeitsinhalten entlang der digitalen Produktentstehung. Mit modularen Lösungsbausteinen in einer Systemumgebung vom CAD- und PDM-System über Digitale Fabrik und PLM-Systeme bis hin zu Speziallösungen der Prozessplanung und der Zeitwirtschaft bietet die Gesamtsystematik flexible Einsatzmöglichkeiten in vielfältigen Anwendungsszenarien. Die Möglichkeit einer durchgängigen digitalen Planung von Montagearbeitsinhalten eröffnet weitergehende Potentiale zur zielgerichteten Nutzung montagerelevanter Daten im Kontext der smarten Datenanalyse (vgl. Deuse, 2011).

Mit einer durchgängigen Verknüpfung von digitalen Informationen kann der hohen Variabilität großer Datenmengen (Industrial Big Data) begegnet werden. Um auf Basis eines solchen Netzwerkes in einem dynamischen Umfeld möglichst zeitnah auf Änderungen reagieren zu können, kommt darüber hinaus der Echtzeitfähigkeit von Daten in Bezug auf eine intelligente und angepasste Informationsbereitstellung (Smart Data) eine wesentliche Bedeutung zu. Diese wird im Rahmen des Teilprojektes B3 des Sonderforschungsbereichs 876 zum „Data Mining in Sensordaten automatisierter Prozesse“ in den Vordergrund gestellt. Der Forschungsansatz ermöglicht es, die Prozessparameter in Produktionsprozessen durch technische Sensorik kontinuierlich zu erfassen und hinsichtlich kritischer Muster zu überwachen. Mittels Methoden des überwachten Lernens werden, basierend auf diesen Methoden, Qualitätsprognosen für die Produkte abgeleitet, die dem Anwender in der Produktion Hinweise darauf geben, ob aktuelle Prozessparameter zur Erreichung der geforderten Qualität beibehalten oder angepasst werden müssen bzw. die weitere Bearbeitung abgebrochen werden sollte (vgl. Morik et al., 2010).

Fazit und Ausblick

Ziel der zukünftigen Gestaltung von CPPS ist es, die Faktoren Mensch, Technik und Organisation in Einklang zu bringen. Dafür sind geeignete Methoden und Konzepte zu entwickeln. Auf Grundlage der Erfahrungen aus den Epochen CIM und HdA sowie den Erkenntnissen des Lean Management ist ein organisationszentrierter Ansatz, welcher die Gestaltung am Kundennutzen orientierter, verschwendungsarmer Wertströme beinhaltet, zu empfehlen. Dabei besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf hinsichtlich der zukünftigen Rollenverteilung zwischen Mensch und Technik und der darauf basierenden konkreten Ausgestaltung der Mensch-Technik-Interaktion. Themen wie die „Digitale Fabrik“, die „Mensch-Roboter-Kooperation“ und das „Industrial Data Mining“ werden in diesem Zusammenhang an Bedeutung gewinnen.

Literatur

- Bauernhansl T (2013) Industrie 4.0: Nur ein Medienhype oder die schöne neue Produktionswelt? ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 108:573–574.
- Bilek E, Busch F, Hartung J, Scheele C, Thomas C, Deuse J, Kuhlenkötter B (2012) Intelligente Erstellung und Nutzung von Maschinendokumentation. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107:652–656.
- BMI - Bundesministerium des Innern (2011) Demographiebericht; Bericht der Bundesregierung zur demographischen Lage und künftigen Entwicklung des Landes, Berlin.
- Bullinger H-J (Hrsg) (1989) CIM-Technologie im Maschinenbau: Stand und Perspektiven der betrieblichen Integration. Expert, Ehrlingern.
- Busch F, Thomas C, Kuhlenkötter B, Deuse J (2012) A Hybrid Human-Robot Assistance System for Welding Operations Methods to Ensure Process Quality and Forecast Ergonomic Conditions. In: Hu SJ (Hrsg) Technologies and Systems for Assembly Quality, Productivity and Customization: Proceedings of the 4th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), S. 151–154.
- Busch F, Thomas C (2014) rorarob – Schweißaufgabenassistenz für Rohr- und Rahmen-konstruktionen durch ein Robotersystem (www.ips.tu-dortmund.de/cms/de/Forschung/Abgeschlossene_Projekte_am_IPS/Projekt_RoRaRob/index.html).
- Cohen SG, Bailey DE (1997) What Makes Teams Work: Group Effectiveness Research from the Shop Floor to the Executive Suite. *Journal of Management* 23:239–290.
- Deuse J, Eigner M, Erohin O, Krebs M, Schallow J, Schäfer P (2011) Intelligente Nutzung von implizitem Planungswissen der Digitalen Fabrik. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 106:433–437.
- Deuse J, Schallow J, Sackermann R (2009) Arbeitsgestaltung und Produktivität im globalen Wettbewerb. Tagungsband zum 55. Frühjahrskongress „Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert“. 04.03.-06.03.2009 der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA), Technische Universität Dortmund, S. 19-23.
- Hackman JR (1987) The design of work teams. In: Lorsch J (Hrsg) *Handbook of organizational behaviour*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, S. 315–342.
- Hackman R, Oldham GR (1976) Motivation through the Design of Work: Test of a Theory. *Organizational Behavior and Human Performance*, S. 250–279.
- Harrington J (1979) *Computer Integrated Manufacturing*. Krieger Pub Co, Malabar.
- Jasperneite J (2012) Industrie 4.0 - Alter Wein in neuen Schläuchen?. *Computer & Automation* 12:24–28.
- Jentsch D, Riedel R, Jäntsch A, Müller E (2013) Fabrikaudit Industrie 4.0; Strategischer Ansatz zur Potentialermittlung und schrittweisen Einführung einer Smart Factory. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108:678–681.
- Kagermann, H, Wahlster W, Helbig J (2013) *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Berlin.
- Keßler S, Stausberg JR, Hempen S (2007) *Lean Manufacturing - Methoden und Instrumente für eine schlanke Produktion*. In: Pradel U, Piontek J, Süßenguth W (Hrsg) *Praxishandbuch Logistik*.
- Kirchner JH (1972) *Arbeitswissenschaftlicher Beitrag zur Automatisierung - Analyse und Synthese von Arbeitssystemen*. Beuth, Berlin.
- Lehmann G (Hrsg) (1998) *Praktische Arbeitsphysiologie*. Thieme Georg Verlag, Stuttgart, New York.

Morik K, Deuse, J, Faber V, Bohnen F (2010) Data Mining in Sensordaten verketteter Prozesse. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105:106–110.

Ohno T (2009) Das Toyota-Produktionssystem. Campus Verlag, Frankfurt, New York.

Ortmann G (1995) Formen der Produktion; Organisation und Rekursivität. Westdt. Verl., Opladen.

Plorin D, Jentsch D, Riedel R, Müller E (2013) Ambient Assisted Production; Konzepte für die Produktion 4.0 unter Berücksichtigung demographischer Entwicklungen. wt werkstatttechnik online 103:135–138.

Rohmert W (1998) Formen menschlicher Arbeit. In: Lehmann G (Hrsg) Praktische Arbeitsphysiologie. Thieme Georg Verlag, Stuttgart, New York.

Sandberg A (2007) Enriching Production; Perspectives on Volvo's Uddevalla plant as an alternative to lean production, Stockholm.

Scheer A (1994) CIM; Computer integrated manufacturing: towards the factory of the future. Springer, Berlin.

Schuh G (2007) Lean Innovation – Die Handlungsanleitung. I: Schuh G, Wiegand B (Hrsg.) 4. Lean Management Summit. Apprimus Verlag, Aachen.

Spear S, Bowen HK (1999) Decoding the DNA of the Toyota Production System. Harvard Business Review:95–106.

Steinhilper R, Westermann H, Butzer S, Haumann M, Seifert S (2012) Komplexität messbar machen; Eine Methodik zur Quantifizierung von Komplexitätstreibern und -wirkungen am Beispiel der Refabrikation. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107:360–365.

Ulich E (2011) Arbeitspsychologie. Schäffer-Poeschel, Zürich.

Wahlster W (2011) Industrie 4.0: Vom Internet der Dinge zur vierten industriellen Revolution. In: Innovationskongress Märkte, Technologien, Strategien, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI).

Weber B, Packebusch L (2009) Effizienz und Mitarbeiterorientierung im demographischen Wandel: Chance für KMU. In: Landau K (Hrsg) Produktivität im Betrieb - Tagungsband der GfA Herbstkonferenz 2009. Ergonomia Verlag, Stuttgart.