

Intelligente Wissensdienste in Cyber-Physischen Systemen

Soziotechnische Herausforderungen im Kontext von Industrie 4.0

Dieter Kreimeier, Niklas Kreggenfeld, Christopher Prinz, Ruhr-Universität Bochum und
Christoph Igel, Carsten Ullrich, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz,
Berlin

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kreimeier ist als akademischer Direktor am Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) an der Ruhr-Universität in Bochum tätig.

M. Sc. Niklas Kreggenfeld ist seit 2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Produktionsmanagement am Lehrstuhl für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum.

M. Sc. Christopher Prinz ist ebenfalls seit 2012 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssysteme im Bereich Produktionsmanagement tätig.

Prof. Dr. Christoph Igel ist Leiter des Center for Learning Technology im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz in Berlin.

Dr. Carsten Ullrich ist stellvertretender Leiter des Center for Learning Technology im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz in Berlin.

Kontakt

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Produktionssysteme, Fakultät für Maschinenbau
Postfach 102148
44721 Bochum
Tel.: +49 234 32-26310
E-Mail: kreimeier@lps.ruhr-uni-bochum.de
URL: <http://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/>

DFKI Projektbüro Berlin
Alt-Moabit 91c
10559 Berlin
URL: <http://www.dfki.de>

In Folge des stetig wachsenden Wettbewerbdruks auf das produzierende Gewerbe in Deutschland durch Konkurrenten aus Niedriglohn-Staaten wird seit einiger Zeit ein Wandel der Produktionsparadigmen vollzogen, der sich durch einen rapide voranschreitenden Automatisierungsprozess in der Produktion auszeichnet. So entstehen hochkomplexe Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS). Durch den gleichzeitig einhergehenden Rückgang von Personal und den damit verbundenen Wissensabfluss entsteht jedoch ein gravierendes Befähigungsdefizit zur Beherrschung der Komplexität. Dieser Sachverhalt impliziert die Notwendigkeit innovativer Assistenzsysteme zur Unterstützung von Mitarbeitern. Der vorliegende Artikel dient der

Erörterung damit verbundener Herausforderungen sowie Fragestellungen und skizziert einen möglichen organisatorischen und technischen Lösungsansatz.

Industrie 4.0 - Ausgangspunkt für multiple Herausforderungen

Der stetig wachsende Wettbewerbsdruck auf das produzierende Gewerbe in Deutschland durch asiatische sowie zunehmend auch südamerikanische Konkurrenten fordert einen hohen Einsatz der Industrie, um den Produktionsstandort Deutschland zu sichern und sich gegen Niedriglohnländer behaupten zu können [1].

Cyber-Physische Systeme (CPS) bieten ein enormes Potenzial, diesen Herausforderungen adäquat zu begegnen [1]. Unter Cyber-Physischen Systemen werden in diesem Zusammenhang Systeme verstanden, die sowohl eingebettete Systeme, Produktions-, Logistik-, Engineering-, Koordinations- und Managementprozesse als auch Internetdienste umfassen. Diese greifen mittels Sensoren auf Daten der physikalischen Welt zu und wirken auf diese mittels Aktoren ein [2,3]. Damit wird die physikalische Welt mit der virtuellen Welt zu einem Internet der Dinge und Dienste verknüpft [2].

Zur Erschließung dieser enormen Potenziale hat die Bundesregierung das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 ausgerufen. Der Begriff „Industrie 4.0“ beschreibt im Wesentlichen die technische Integration von CPS in Produktion und Logistik sowie die damit verbundene Anwendung des Internets der Dinge auf industrielle Prozesse, sodass Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) entstehen [3].

Ungeachtet der fortschreitenden Automatisierung arbeiten in CPPS Mensch und Maschine eng verzahnt miteinander zusammen und bilden somit ein soziotechnisches System. Vor diesem Hintergrund dürfen technologische Innovationen nicht isoliert betrachtet werden, sondern es bedarf vielmehr einer integrierten Betrachtungsweise von technischen, organisationalen sowie personellen Aspekten im Sinne des Begriffsverständnisses von soziotechnischen Systemen nach HIRSCH-KREINSEN [4].

Trotz der Vorteile und Innovationen, die CPPS bieten, stellen diese Unternehmen auch zunehmend vor Probleme: derart komplexe Systeme können nur von hochqualifizierten Mitarbeitern bedient werden, was einen rasanten Anstieg des Informationsbedarfs sowie des notwendigen beruflichen Kompetenz- sowie Expertiseniveaus des Produktionspersonals zur Folge hat.

Auf der anderen Seite ist seit Jahren ein Trend erkennbar, der diesen Effekt potenziert: Äquivalent zur Bevölkerungsentwicklung insgesamt zeichnet sich auch für die Bevölkerung im Erwerbsalter eine Schrumpfung sowie Alterung ab. Von den insgesamt 34 Millionen Erwerbstätigen zwischen 20 und 67 Jahren sind mit langfristiger Prognose bis 2060 etwa 6 Millionen 60 Jahre oder älter. Damit steigt der Anteil älterer Menschen im Erwerbsalter enorm an [5]. Auf der anderen Seite führt der demographische Wandel zu einer Verknappung des Arbeitskräfteangebots, woraus vermehrt die Einstellung geringer qualifizierten Personals resultiert [6]. Beide Trends führen letztendlich dazu, dass ein Befähigungsdefizit hinsichtlich der Handhabung von hochkomplexen Maschinen und Anlagen in CPPS in sämtlichen Lebenszyklusphasen entsteht (Bild 1). Daraus resultiert letztendlich, dass deren effektiver und effizienter Einsatz nicht mehr gewährleistet werden kann.

Dieser Sachverhalt impliziert die Notwendigkeit innovativer Assistenzsysteme, die Produktionsmitarbeiter jeglichen Alters, sozialen Hintergrunds und Kompetenzniveaus bei Tätigkeiten (z.B. Instandhaltung, Bedienung, Inbetriebnahme) an hochkomplexen Anlagen durch Bereitstellung entsprechender Wissens- und Assistenzdienste unterstützen.

Bild 1: Ausgangssituation und Handlungsbedarf

Assistenzsysteme im Kontext von Industrie 4.0

Um den beschriebenen Paradigmenwechsel im Sinne des Industrie 4.0-Ansatzes zu vollziehen und der produzierenden Industrie für die neuen Anforderungen geeignete Wissens- und Assistenzdienste zur Verfügung zu stellen, bedarf es zunächst einer Analyse zweier sehr unterschiedlicher Schwerpunkte. Für eine möglichst allgemeingültige Gesamtlösung müssen einerseits technologische Aspekte in Unternehmen analysiert werden. Dazu gehören z.B. die IT-Infrastrukturen mit allen möglichen Anknüpfungspunkten, um die Umsetzung eines CPPS zu ermöglichen. Andererseits müssen auch organisatorische und personelle Aspekte untersucht werden, welche thematisch nicht immer voneinander abzugrenzen sind.

Technologie

Zur Entwicklung von kompetenzerweiternden Assistenzsystemen müssen unter anderem Analysen von in der Industrie vorhandenen Technologien auf verschiedenen Ebenen der Automatisierungspyramide (Enterprise Resource Planning, ERP; Produktionsplanung & -steuerung, PPS; Manufacturing Execution System, MES) erfolgen. Für die Assistenzgebung sind eine echtzeitfähige Aufnahme und Übermittlung von Maschinen-, Betriebs-, Bedienungs- sowie Mitarbeiterdaten zur Generierung von bedarfsorientierten, mitarbeiterzentrierten Wissenselementen notwendig. Daher müssen Konzepte entwickelt werden, die eine Bereitstellung dieser Daten und Informationen in einer abstrahierten IT-Infrastruktur („Cloud“) möglich machen. Neben der Bereitstellung von Daten aus der Produktion sind ebenfalls Daten aus Business Process Management- (BPM) und Learning Content Management-Systemen (LCMS) sowie Knowledge Repositories notwendig. Daraus folgt, dass eine Integration von Produktions- und Wissensdaten für die Realisierung eines intelligenten Assistenzsystems notwendig ist [7].

Für eine menschenzentrierte Assistenzgebung ist neben der automatisierten Erstellung von Wissenselementen auch eine bedarfs- und mitarbeiterorientierte, ergonomisch korrekte Bereit- und Darstellung dieser Elemente notwendig. Erst die Berücksichtigung und Implementierung beider Aspekte lässt die Entwicklung eines intelligenten Wissensdienstsystems zu.

Für die Bereit- und Darstellung der entsprechenden Wissenselemente ist die Analyse von Modellen und Methoden zur Mensch-Maschine Interaktion (MMI) sowie Mensch-Computer Interaktion (MCI) und die Weiterentwicklung dieser erforderlich.

Organisation und Personal

Als organisatorische und personelle Herausforderungen für Unternehmen zur Implementierung von intelligenten Assistenzsystemen im Kontext von Industrie 4.0 müssen vor allem rechtliche Rahmenbedingungen, Mitbestimmungsrechte seitens der Betriebsräte sowie Sicherheitsaspekte untersucht werden. An der Aufzählung der Kernthemen lässt sich schon erahnen, dass diese nicht trennscharf in organisatorische und personelle Schwerpunkte unterschieden werden können.

Mitarbeiter der Zukunft müssen nicht nur qualifiziert und gut ausgebildet sein, sondern vor allem auch praktisch versiert sein [8]. Eine Herausforderung für Assistenzsysteme liegt somit zunächst in der Notwendigkeit, zusätzliche Kompetenzen eines Mitarbeiters zur Erfüllung komplexerer Tätigkeiten durch die Assistenzgebung zu ersetzen und diese Kompetenzen sukzessive bei dem Mitarbeiter auszubilden. Dies bedeutet eine Nutzung von mitarbeiterbezogenen Daten und macht es somit notwendig, die Akzeptanz der Mitarbeiter für Assistenzsysteme zu schaffen [9].

Dies bedingt eine detaillierte Analyse von aktuellen Kompetenz- und Wissensmodellen, Informations-, Lern- und Wissensmanagementsystemen, Interaktionsmodellen sowie immersiver Arbeits- und Lernumgebungen. Für die Assistenzsysteme müssen anschließend

neue innovative Integrationsmodelle und -systeme entwickelt werden, die die Rechte von Mitarbeitern berücksichtigen, da durch eine detaillierte Aufnahme von Mitarbeiterkompetenzen die Mitbestimmungsrechte von Mitarbeitervertretern tangiert werden. Ebenso werden die Mitarbeiterqualifizierungsmodelle von Unternehmen verändert, was gleichfalls zu einer Berücksichtigung der Mitbestimmungsrechte führen muss. Die genannten Aspekte münden automatisch in einer notwendigen Untersuchung von neuen Tarifstrukturen [9].

Bild 2 stellt die technischen, organisationalen sowie personellen Themenschwerpunkte, die durch die Einführung von Assistenzsystemen tangiert werden, noch einmal grafisch gegenüber:

Bild 2: Technische, organisationale und personelle Themenschwerpunkte im Kontext von Assistenzsystemen in CPPS

Softwaresystementwurf für intelligente Wissensdienste

Zur Realisierung eines intelligent-adaptiven Assistenzsystems wurde im Rahmen des Projektes APPsist ein mehrschichtiges Konzept entwickelt.

Die daraus zu entwickelnden softwaretechnischen Lösungen sollen in Cyber-Physische Produktionssysteme für die Prozessautomatisierung integriert sowie in lokale IT-Architekturen eingebunden werden. Technologische Basis sind auf Methoden der Künstlichen Intelligenz basierende, intelligent-adaptive Wissensdienste. Hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Daten greifen die Wissensdienste zu auf die in Systemen zur Produktions- und Auftragssteuerung enthaltenen Informationen, auf Daten der Cyber-Physischen Produktionssysteme sowie auf die in Systemen für Informations- und Wissensmanagement enthaltenen Lernobjekte. Diese werden über Internetdienste kontextsensitiv aggregiert, personalisiert und zur Unterstützung der Lösungsfindung am Arbeitsplatz adaptiert. Situationsabhängig können neue Wissensobjekte aggregiert werden. Augmented-Reality-Technologien, in denen Informationen den realen Arbeitsplatz überlagern, können beispielsweise zur Informationsdarbietung zum Einsatz kommen. Zugleich wird ein einheitliches Applikations- und Interaktionskonzept für situiertes Lernen über verschiedene Plattformen und mobile Endgeräte genutzt.

Bild 3: APPsist-Lösungsansatz

Der Lösungsansatz von APPsist unterscheidet drei Ebenen (Bild 3): die Ebene der Assistenzdienste, die Anwendungsebene sowie die Produktions- und Auftragssteuerungsebene. Diese werden im Folgenden erläutert.

Ebene der Assistenzdienste

In APPsist wird eine Vielzahl von Assistenzdiensten bereitgestellt, die Mitarbeiter und Maschinen in der hochautomatisierten Produktion unter Nutzung Cyber-Physischer Systeme unterstützen. Dienste können beispielhaft sein:

- *Informations- und Hilfedienst*: Kontextsensitiv in Abhängigkeit vom Fertigungsauftrag, Nutzerwissen und zu bedienenden Maschinen erhalten die Nutzer über Embedded Displays an den Maschinen oder via mobiler Endgeräte (Tablets, Smartphones, See-Through-Displays) Informationen zur Bedienung der Maschine oder Ausführung des Fertigungsauftrags.

- *Instandhaltungsdienst:* Mitarbeiter erhalten im Falle von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten interaktiv und von der Maschine mitgesteuerte, personalisierte und didaktisch aufbereitete Informationen über die Arbeitsschritte zur Lösung von Wartungs- und Reparaturarbeiten.
- *Prozessdienst:* Am Arbeitsplatz werden Prozessinformationen eingespielt, die Mitarbeitern die auftragsspezifisch relevanten Informationen zu auszuführenden und kommenden Prozess-Schritten erklären.
- *Kollaborationsdienst:* Die Mitarbeiter in der Produktion nutzen diesen Dienst, um Kollegen mit relevantem Fachwissen in der gleichen Fabrik, an anderen Standorten oder in der Administration am Arbeitsplatz virtuell um Unterstützung zu bitten.

Sämtliche Dienste stehen dem einzelnen Mitarbeiter wie auch Mitarbeitergruppen zur Verfügung und werden in Produktionsstätten der Anwendungspartner von APPsist eingesetzt und validiert. Sie werden über eine unternehmensspezifische Cloud-Lösung angeboten, die den Assistenzdiensten spezifische Basisdienste und -technologien bereitstellt, sodass alle Dienste auf entsprechende KI-Konzepte, Adaptionenregeln, Benutzerprofile oder Suchalgorithmen für Informationen und Wissensobjekte zugreifen können.

Anwendungsebene

Auf Ebene der Anwendung werden die prototypischen Dienste von den Mitarbeitern und Maschinen im Fertigungsprozess genutzt. Dies soll über verschiedene Endgeräte erfolgen. Beispielsweise sollen Mitarbeiter Assistenzdienste über die in Maschinen integrierten Touch- und Displaytechnologien einsetzen. Gleichzeitig können Mitarbeiter Dienste via Tablets nutzen, bei denen automatisch erkannt wird, um welchen Mitarbeiter es sich handelt. Verbunden damit wird registriert, welche Rechte mit dessen Funktion und Aufgabenbeschreibung einhergehen, in welchem konkreten Arbeitskontext und an welcher CPS-Maschine oder in welchem Arbeitsprozess sich ein Mitarbeiter oder eine Gruppe von Mitarbeitern gerade befindet. Für Augmented-Reality-Anwendungen kommen Head-Mounted-Displays und See-Through-Displays genauso zum Einsatz wie Smartphones und TabletPCs.

Produktions- und Auftragssteuerungsebene

Die prototypischen Assistenzdienste kommen in der Produktion am Arbeitsplatz von hochautomatisierten Produktionsprozessen zum Einsatz. Dabei ist Wissen zu den Aufträgen und den durchzuführenden Arbeitsschritten in den Produktionsprozessen von besonderer Bedeutung. Deshalb werden die APPsist-Cloud und die darin bereitgestellten Dienste an die Produktionssteuerung-Systeme über Enterprise-Service-Busse angebunden. Somit können die Dienste auf die im Unternehmen verfügbaren Informationen und damit den konkreten Anwendungskontext zurückgreifen.

Die in APPsist realisierten, prototypischen Internetdienste und intelligent-adaptiven Assistenzsysteme fokussieren somit die Prozesse der formellen und informellen Aneignung, der Optimierung und der Vertiefung arbeitsplatzorientierter Expertise sowie personaler Informations- und Wissensbestände. Die Leistung der neuen zu entwickelnden Internetdienste bestehen daher darin,

- bei Installation, Optimierung, Wartung oder Reparatur situations- und kontextspezifische, multimodale, augmentierte Informationen, Wissens- und Lernobjekte zum Cyber-Physischen Produktionssystem auf mobilen Endgeräten (Smartphone, TabletPC) darzustellen (Präsentation),
- die multimodalen Informations-, Wissens- und Lernobjekte auf Basis eines Lernermodells hinsichtlich Qualifizierungslevel, Vorwissen, Expertise, Lernfortschritt oder Persönlichkeitsmerkmalen der Fachkraft sowie in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabe inhaltlich anzupassen (Personalisierung),

- die Präsentation der Informations-, Wissens- und Lernobjekte vor Ort für die Fachkraft in didaktisch-methodischer geeigneter sowie lernpsychologisch begründeter Form anzubieten (Didaktisierung),
- offene Schnittstellen anzubieten für weitere, systemspezifische bestehende oder zukünftige Assistenzsysteme des Cyber-Physischen Produktionssystems wie auch für bestehende und zukünftige Learning-Content-Management-Architekturen bzw. ERP/PP-Systeme (Integration).

Hinsichtlich der Mensch-Maschine-Interaktion wie auch der Mensch-Mensch-Interaktion vermischen sich durch Einsatz und Nutzung eines derart neuartigen intelligent-adaptiven Assistenzsystems für Cyber-Physische Systeme der Produktions- und Lernmodus von Fachkräften hin zum kontextsensitiven, personalisierten und augmentierten arbeitsplatzorientierten Expertiseerwerb.

Zusammenfassung

Ausgehend von den Problemstellungen, die sich aus der steigenden Komplexität von Prozessen und Anlagen in Produktionssystemen durch die Einführung von CPS ergeben, wurde im vorliegenden Artikel die Notwendigkeit innovativer Assistenzsysteme erläutert. Dazu müssen sowohl technische als auch organisatorische und personelle Aspekte betrachtet werden, welche sich nicht immer strikt trennen lassen. Auf organisatorischer Seite spielen Kompetenzmodelle eine entscheidende Rolle. Damit eng verknüpft sind Fragestellungen der betrieblichen Mitbestimmung sowie der organisationalen Implementierung von Assistenzsystemen. Auf technischer Seite ist die Anbindung an die in Unternehmen vorhandene Systemlandschaft von zentraler Bedeutung. Nur so können die für die Assistenzgebung notwendigen Informationen erfasst, aufbereitet und bereitgestellt werden. Die entsprechende Systemlösung, die im Rahmen des Verbundprojekts APPsist entwickelt wird, sieht dazu eine dreischichtige Softwarearchitektur vor. Dabei wird zwischen der Dienste-, der Anwendungs- sowie der Produktions- und Auftragssteuerungsebene unterschieden.

Die Softwarearchitektur wird im Projekt APPsist schrittweise entwickelt. Dabei wird stets ein unmittelbarer Praxisbezug fokussiert, sodass sich die entstehenden Lösungen direkt an den Bedarfen der produzierenden Industrie orientieren, um somit letztendlich eine breitenwirksame Akzeptanz zu erzielen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Zukunftsbild Industrie 4.0. Bonn 2013.
- [2] Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit und Produktion. Berlin 2011.
- [3] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J.: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt a.M. 2013.
- [4] Hirsch-Kreinsen, H.: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“, Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014, ISSN 1612-5355. Dortmund 2014.
- [5] Sommer, B.: Deutschlands Entwicklung bis zum Jahr 2060. Zahlen und Fakten zum demographischen Wandel. In: Charta der Vielfalt (Hrsg): JUNG – ALT – BUNT Diversity und der demographische Wandel. Berlin 2012.

- [6] Kay, R.: Demographischer Wandel: personalpolitische Herausforderungen, Problembewusstsein und Anpassungsstrategien von KMU. In: Charta der Vielfalt (Hrsg): JUNG – ALT – BUNT Diversity und der demographische Wandel. Berlin 2012.
- [7] Spath D. et al.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer Verlag. Stuttgart 2013. S. 113
- [8] Hirsch-Kreinsen, H.: Industrie 4.0: Die menschenlehre Fabrik bleibt eine Illusion. VDI Nachrichten 38. 2013.
- [9] DW: Der Traum von der Industrie 4.0 – Experten diskutieren auf „Welt“ –Konferenz neue digitale Wege. Die Welt, Ausgabe 12. Oktober, 2013, Seite 11, Zitat von Dieter Schweer

Schlüsselwörter:

Industrie 4.0, Kompetenzmanagement, Künstliche Intelligenz, Computational Intelligence

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „APPsist - Intelligente Wissensdienste für die Smart Production“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 01MA13004C gefördert und vom DLR-Projekträger betreut wird.

Intelligent knowledge services within Cyber-Physical systems

Socio-technical challenges in the context of Industry 4.0

As a result of continuously increasing economic constraints for the producing sector in Germany due to competitors from low-wage countries, production paradigms are changing substantially. This paradigm shift is characterized by rapidly advancing automation processes. Hence, highly complex Cyber-Physical Production Systems (CPPS) are developed and put into practice. In combination with decreasing numbers of staff and the resulting loss of knowledge, this leads to an ever-growing deficit of competence required to handle the increasing complexity of CPPS. As a result, there arises a need for innovative assistance systems for the support of the remaining employees. The given article describes the challenges and problems and drafts a potential organizational and technical solution.

Keywords:

Industry 4.0, Management of Competence, Artificial Intelligence, Computational Intelligence