



Forschungsfragen in „Produktionsautomatisierung der Zukunft“

Birgit Vogel-Heuser,
Gülden Bayrak, Ursula Frank

acatech MATERIALIEN

Diskussionspapier für die acatech
Projektgruppe „ProCPS – Production CPS“

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser
Technische Universität München
Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme
Boltzmannstraße 15
85748 Garching bei München
E-Mail: vogel-heuser@ais.mw.tum.de

Gülden Bayrak
Technische Universität München
Lehrstuhl für Automatisierung und
Informationssysteme
Boltzmannstraße 15
85748 Garching bei München
E-Mail: bayrak@ais.mw.tum.de

Dr.-Ing. Ursula Frank
Beckhoff Automation GmbH
Projektmanagement R&D-Kooperation
Eiserstrasse 5
33415 Verl
E-Mail: u.frank@beckhoff.com

Projekt:

ProCPS – Production CPS

Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

Hauptstadtbüro
Unter den Linden 14
10117 Berlin

Brüssel-Büro
Rue du Commercial/Handelsstraat 31
1000 Brüssel

T +49(0)89/5203090
F +49(0)89/5203099

T +49(0)30/206309610
F +49(0)30/206309611

T +32(0)25046060
F +32(0)25046069

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

© acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften 2012

Redaktion: Susanne Rösch

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin

Dieses Diskussionspapier wurde im Rahmen der Erarbeitung der Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS) für die acatech Projektgruppe *ProCPS – Production CPS* im April 2012 erstellt.

Unter Mitarbeit von:

Ralf Ackermann (SAP AG)

Dr. Eva Geisberger (fortiss GmbH)

Gerd Hoppe (Beckhoff Automation GmbH)

Bernd Kärcher (Festo AG & Co. KG)

Dr. Josef Papenfort (Beckhoff Automation GmbH)

Stefan Ziegler (Bitkom e.V., Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media)

Wir danken den folgenden Personen für ihre Expertise:

Dr. Oliver Frager (teamtechnik)

Dr. Christine Maul/Dr. Stefan Ochs (Bayer Technology Services GmbH)

Dr. Carolin Theobald/Dr. Stephan Gurke (ZVEI)

Rainer Glatz/Claus Oetter (VDMA)

Dr. Rainer Stetter (itq)

Andrea Cato/Frank Lafos (Intel GmbH)

Rainer Glatz (VDMA)

Winfried Hils (Homag Holzbearbeitungssysteme GmbH)

Matthias Munk (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG)

Harald Preiml (Heitec AG)

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	7
2	EINLEITUNG UND MOTIVATION	9
2.1	Stand der Technik und Herausforderungen für Cyber-Physical Systems	9
2.2	Begriffsklärung und Charakterisierung von CPS und ProCPS	11
2.3	Szenario: Kundenspezifische Produktion einer Küche	12
2.4	Hauptaufgaben der ProCPS	15
3	STAKEHOLDER-ANFORDERUNGEN ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IM PROCPS	17
4	TECHNOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN ZUM EINSATZ VON PROCPS	19
4.1	Zusammenstellung der technischen Merkmale	19
4.2	Neue Funktionen, Dienste und deren Eigenschaften durch ProCPS	20
4.3	Detaillierung der charakteristischen Eigenschaften einer ProCPS	21
5	TECHNOLOGIE- UND METHODEN-HERAUSFORDERUNGEN FÜR PROCPS	25
5.1	Technologie-Herausforderungen	25
5.1.1	Funktionssicht	25
5.1.2	Logische Architektursicht	25
5.1.3	Deploymentsicht	26
5.1.4	Komplexität, Heterogenität, Dynamik und Skalierbarkeit	26
5.2	Methoden-Herausforderungen	27
5.2.1	Integrative disziplinübergreifende Entwicklung von Produkt und Produktionssystem	27
5.2.2	Modularisierung	27
5.2.3	Modellgetriebene Entwicklung (Model Driven Design)	28
5.2.4	Durchgängige Engineering-Werkzeugkette	28
5.2.5	Vorgehensweisen, Methoden, Beschreibungssprachen, Wissen und Softwarewerkzeuge	29
6	GESCHÄFTSMODELLE UND ÖKOSYSTEM	31
7	LITERATUR	33

1 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

Ziel des vorliegenden Diskussionspapiers für die acatech integrierte Forschungsagenda „Cyber-Physical Systems“ (CPS) ist eine Zusammenstellung der Herausforderungen im Umfeld der Automatisierungstechnik hinsichtlich der Vision einer intelligenten, adaptiven Fabrik, im Folgenden „Production CPS“ (ProCPS).

Der Fokus des Papiers liegt daher auf Fragen, die einen starken Bezug zu einer unternehmensübergreifenden globalen Vernetzung und der sich selbst adaptierenden Supply-Chains haben. Insbesondere werden Technologie-, Prozess- und Methoden-Herausforderungen, die für die Realisierung einer ProCPS notwendig, sind identifiziert.

In allen Bereichen des CPS bestehen offene Forschungsfragen (Kapitel 4–6), deren Beantwortung für die Realisierung der Produktion der Zukunft mit ProCPS notwendig ist. Im Folgenden werden zunächst Handlungsempfehlungen zur Realisierung von CPS-Systemen in der Produktionsautomatisierung zusammengefasst (Detail siehe Kapitel 4–6).

Der Einsatz von Cyber-Physical Systems in Produktionssystemen führt zur Smart Factory.

Für das Engineering und die Realisierung von CPS sind die integrative, disziplinübergreifende Entwicklung von Produkt und Produktionssystem zu fördern und in diesem Rahmen die Modularisierung der Produktionssysteme zu Produktionseinheiten mittels modellgetriebener Entwicklung (Model Driven Design).

Bei Vorliegen erheblicher wirtschaftlich begründeter Hemmnisse der Standardisierung sollen intelligente Verfahren zur Kopplung von industriellen de-facto Standards unterstützt werden, um beispielsweise die Durchgängigkeit von Engineering-Werkzeugketten zu unterstützen.

Für das Engineering und die Realisierung von CPS sind folgende Aspekte zu erarbeiten:

- Die integrative disziplinübergreifende Entwicklung von Produkten und Produktionssystemen

- Die Modularisierung der Produktionssysteme zu Produktionseinheiten
- Eine modellgetriebene Entwicklung (Model Driven Design) und
- Eine durchgängige Engineering-Werkzeugkette.

Um komplexe CPS zu entwerfen, zu implementieren und zu betreiben, ist eine Entwicklungsmethodik zu erarbeiten, die alle oben genannten Aspekte beinhaltet. Die Entwicklungsmethodik muss den Entwurf, die Implementierung und den Betrieb unterstützen sowie eine Vorgehensweise anbieten, dazu sind Modellierungstechniken sowie angepasste Beschreibungssprachen und Softwarewerkzeuge und das erforderliche Entwurfswissen zu erforschen.

Ausgehend von einer Einführung zu CPS-Systemen in der Produktion, die im Folgenden ProCPS genannt werden, wird weiterhin der Stand der Technik und einige der Herausforderungen aus Sicht des Maschinen- und Anlagenbaus aufgezeigt. Im Anschluss erfolgt in Kapitel 2.2 die Festlegung wesentlicher Begriffe zu CPS und der Produktionssysteme. Das im Rahmen der Arbeitsgruppe entwickelte Szenario „Kundenspezifische Produktion einer Küche“, welches in Kapitel 2.3 aufgeführt wird, soll anschaulich und allgemeinverständlich die Möglichkeiten von vernetzten CPS für die Produktion weitgehend unabhängig von der technischen Realisierung erläutern und zeigt die dazu benötigten Fähigkeiten von und Anforderungen an ProCPS auf. In Kapitel 2.4 werden die Hauptaufgaben der ProCPS zusammengefasst. Bevor in Kapitel 4 die technologischen Voraussetzungen für den Einsatz von ProCPS erläutert werden, sind in Kapitel 3 verschiedenen Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette mit ihren Anforderungen aufgeführt. Die Herausforderungen hinsichtlich der Technologien und der Methoden zur Bereitstellung von ProCPS werden in Kapitel 5 ausgeführt. In Kapitel 6 werden die notwendigen Geschäftsmodelle und deren Auswirkungen auf Ökosysteme behandelt.

2 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die deutsche Investitionsgüterindustrie hat einen hervorragenden Ruf gerade in den Bereichen Automatisierung und Produktionsoptimierung. Darüber hinaus sind der Maschinen- und Anlagenbau (Prozessindustrie – gemeint ist im Folgenden stets die Verfahrenstechnische Industrie – und Fertigungsindustrie) und die Automatisierungstechnik wichtige Industriesektoren in Deutschland. Noch behauptet sich Deutschland in diesem Bereich als führender Exporteur mit einem Welthandelsanteil von 20 Prozent [VDMA].

Um weiterhin erfolgreich am Weltmarkt zu agieren und dem guten Ruf auch zukünftig gerecht werden zu können, müssen IT-Anwendungssysteme und Produktionssysteme zusammen wachsen. Wesentliche Herausforderungen für Cyber-Physical Systems (CPS definiert nach [CPS10]) sind

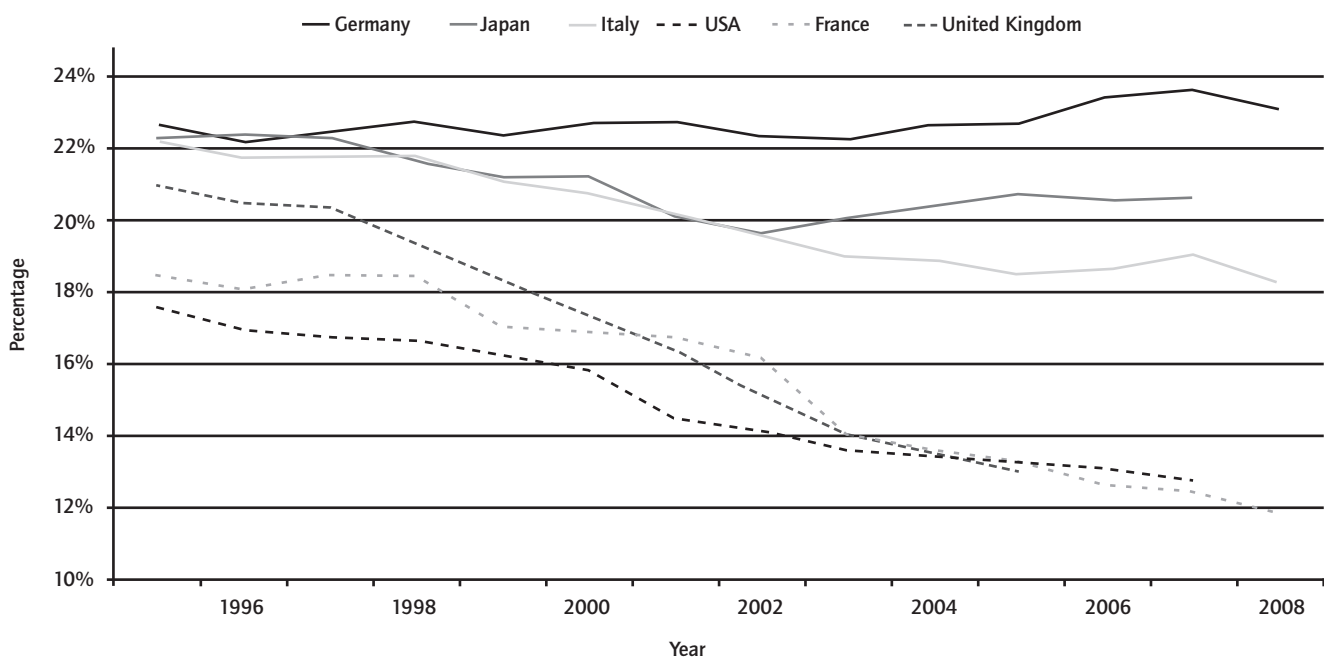
- die horizontale Integration zwischen Maschinen- und Anlagenteilen bzw. zwischen verschiedenen verketteten Anlagen in einem Werk und
- die horizontale Integration von Produktionsebene mit ihren Embedded Systems über die Manufacturing Execution (MES)-Ebene zur Enterprise Resource Planning-Ebene (ERP).

2.1 STAND DER TECHNIK UND HERAUSFORDERUNGEN FÜR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Damit Deutschland und Europa als Produktionsstandorte weiterhin überleben können, müssen ganze Wertschöpfungsnetzwerke über Unternehmensgrenzen hinweg durch die Vernetzung der Beteiligten/Stakeholder und der Embedded Systems informationstechnisch vernetzt und bezüglich ihrer Wertschöpfungsketten verbunden werden. Dadurch kann die Herstellung neuer Produkte bzw. Produktvarianten beschleunigt, die Time to market reduziert werden sowie auf Störungen unterschiedlichster Art schnell und über Firmengrenzen hinweg reagiert werden. Dies hilft der deutschen Investitionsgüter-Branche Technologieführer zu bleiben und der produzierenden Industrie weiterhin weltweit konkurrenzfähige Produktionswerke in Deutschland betreiben zu können.

Für die produzierende Industrie (Fertigungs- und Prozessindustrie), beispielsweise für Automobil-, Pharmazie- oder auch Möbelhersteller ergeben sich folgende Notwendigkeiten:

Abbildung 1: Bedeutung der Produktionstechnik in Deutschland im Vergleich mit anderen Ländern, internationaler Vergleich der Produktionstechnikanteile an der Bruttowertschöpfung [UN10]



- Immer höherer Variantenreichtum erfordert Mechanismen diesen zu beherrschen. Vorhandenes ist – soweit effizient machbar – zu nutzen und Mehrfachentwicklungen zu vermeiden (Re-invent the wheel).
- Reduzierung Time to market: Kunden akzeptieren immer seltener lange Wartezeiten, sodass eine effektive Entwicklung und Produktion in Wertschöpfungsketten zwischen Unternehmen notwendig wird. Die Berücksichtigung nachhaltiger Produktionssysteme (u.a. Energieeffizienz) ist das Top-Thema im Maschinen- und Anlagenbau und erfordert die Entwicklung und den Betrieb energie- und ressourcenschonender Komponenten, Maschinen und Anlagen.
- Der hohe Exportanteil des Maschinen- und Anlagenbaus mit wachsender Bedeutung der Schwellenländer (BRIC-Staaten) erfordert eine starke Internationalisierung der Produktion und der Entwicklung marktspezifischer Produkte.
- Der generelle Mangel an qualifizierten Fachkräften (u.a. Ingenieure und Informatiker) und die demographische Entwicklung steigert den internationalen Wettbewerb um die „besten Köpfe“ und erfordert adaptive und individualisierte Mensch-Maschinen-Schnittstellen sowohl im Engineering als auch im Betrieb und für die Wartung.
- Der Wunsch nach intuitiver Bedienbarkeit wächst im Maschinenbau deutlich und erfordert die Berücksichtigung von Adaptivität und Adaptierbarkeit der Systeme.
- Die Zunahme der Produktpiraterie und Cyber-Kriminalität erfordert sichere Systeme im Cyber-Space insbesondere auch den Know-how-Schutz im Engineering und im Betrieb von Unternehmen bei der unternehmensübergreifenden Kooperation.
- Lebenszyklen der Produkte werden durch steigende Innovationsgeschwindigkeit immer kürzer, sodass effizientes und flexibles Umrüsten von Produktionsmitteln und Produktionsanlagen auf neue Produktvarianten ebenso wie die Anpassung der Intralogistik im Unternehmen und der Logistik zwischen den Unternehmen erfolgskritisch wird.

Notwendig sind Lösungsansätze, die einen großen Spielraum für Produktvarianten und Produktionsvarianten schaffen. Der weltweite Zugriff auf Ressourcen und bisher unbekannte Produktionseinheiten ermöglicht eine weitere Flexibilisierung der Wertschöpfungsketten auch über Unternehmensgrenzen hinweg und im Idealfall, eine Minimierung von Lieferzeiten und ein großes Maß an Nachhaltigkeit z. B. durch kurze Transportwege. Im Folgenden wird zunächst der Stand der Technik bezüglich der oben genannten Herausforderungen zusammengefasst.

Die Technologieinitiative SmartFactoryKL [SmartF] verfolgt den Ansatz sich selbst optimierender, sich selbst organisierender und bedienerfreundlicher Anlagen. Mit der Entwicklung von Entwurfsmethoden und Optimierungskonzepten zu diesem Thema befasst sich [Me+09, Ra07]. Die von der Initiative SmartFactoryKL verfolgten Ziele beinhalten ebenfalls wie beim F³ Factory Project Konsortium [F³Factory] die Flexibilisierung und Standardisierung von Anlagen. Im Fokus des F³ Factory Projekts stehen jedoch verfahrenstechnische Prozesse und Mikroprozesse und, aufgrund des hohen Kostenfaktors von Ressourcen in verfahrenstechnischen Prozessen, deren Nachhaltigkeit [He+11].

Das Exzellenzcluster „Integrative Produktionstechniken für Hochlohnländer“ stellt einen Ansatz vor, der bei zunehmender Individualisierung der Produktion gleichzeitig die Kosten auf Massenproduktionsniveau halten soll. Forschungsfelder zur Realisierung dieser Vision beinhalten unter anderem modellbasierte Entwicklung, Modularisierung, Datenaustausch und verteilte numerische Simulation [Br11].

Das in 2008 beendete EU-Projekt EUPASS [Pa+06, Ho01] widmet sich der Architektur zukünftiger hoch präziser Fertigungssysteme, welche es erlauben sollen, mit der gleichen Anlage und ohne zusätzlichen Engineeringaufwand verschiedene Produkte zu fertigen.

Zur vollständigen Modularisierung von Produktionssystemen wird im aktuellen Verbundprojekts WAMOPRO die Modularisierung der technischen Einheiten, der Organisation und des Personals angestrebt [WPRO].

Aufbauend auf den im Rahmen eines DFG-Projektes [AVE] entwickelten Methoden und Beschreibungsmittel für den Entwurf agentenbasierter Steuerungssoftware für Maschinen und Anlagen, bei denen die Anforderungen der Domänen ebenso berücksichtigt werden, wie die Anwendbarkeit der Konzepte durch Ingenieure und der Betrieb der Agenten auf marktüblichen Steuerungen (SPS) wird im ebenfalls DFG geförderten Projekt KreaAgentUse [KreaAgentUse] eine werkzeugunterstützte Vorgehensweise für den durchgängigen Entwurf verteilter Agentensysteme entwickelt, welche an die speziellen Anforderungen in der Automatisierungstechnik, wie Echtzeit und Zuverlässigkeit sowie domänenspezifische Plattformen angepasst ist.

Weitere DFG-Programme wie das DFG-Schwerpunktprogramm 1305 [SPP1305] oder das SPP 1593 [SPP1593] haben die Modellierung, Analyse und den Entwurf von zukünftigen digital vernetzten dynamischen Systemen aus Sicht der Regelungstheorie oder die systematische Evolution von Software zum Ziel.

Der Begriff digitale Fabrik integriert die Planung von Produktionsanlagen in den Produktentwicklungsprozess. Durch durchgängiges Datenmanagement können Prozesse und Strukturen visualisiert und simuliert werden sowie laufend verbessert und evaluiert werden [Ku06].

Keiner der bisherigen Ansätze verfolgt über die Optimierung der Anlage und deren Module hinaus, das Ziel ein weltweites Netzwerk aus Produktionseinheiten zu etablieren, welches über Unternehmensgrenzen hinweg Optimierungsstrategien entwickelt und den gesamten Produktionsprozess transparent hält.

Aus Sicht von Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau (Fertigungsindustrie, Prozessindustrie), der Logistik, der Automatisierungstechnik und der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) stehen folgende Herausforderungen im Mittelpunkt:

- Innovationsdruck steigt durch zunehmende Konkurrenz aus Schwellenländern,
- Industriekunden fordern einen immer höheren Automatisierungsgrad bei gleichzeitig steigender Flexibilität der Produktionsanlagen (kleineren Losgrößen),
- die immer komplexeren Systeme müssen wartbar bleiben bzw. werden, obwohl die verschiedenen Komponenten einer kompletten Anlage sehr unterschiedliche Lebensdauern aufweisen.
- Für die Interaktion zwischen Produktionsplanung (klassische IT) und Maschinensteuerung (Mikroelektronik und Embedded Systems) bzw. Anlagenleittechnik existieren bisher weder standardisierte Kommunikationsprotokolle noch allgemeingültige Architekturmuster.

2.2 BEGRIFFSKLÄRUNG UND CHARAKTERISIERUNG VON CPS UND PROCPS

Als ein mögliches Lösungskonzept zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen in der Produktionsautomatisierung wird die „CPS“-Vision gesehen.

Nach [CPS10] umfassen Cyber-Physical Systems typischerweise eingebettete Systeme (als Teil von Geräten, Gebäuden, Verkehrsmitteln, Verkehrswegen, Produktionsanlagen, Logistik- und Managementprozessen, etc.), die

- mittels Sensoren und Aktuatoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und auf physikalische Vorgänge einwirken,
- mit digitalen Netzen verbunden sind (drahtlos, drahtgebunden, lokal, global),
- weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen
- und über eine Reihe multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen (dediziert in Geräten, unspezifisch etwa über Browser, etc.) verfügen.

Aus der Informatik-Sicht wird CPS wie folgt definiert [Le08]:

“Cyber-Physical Systems are integrations of computation and physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa.”

Aufgrund ihrer technischen Merkmale und Möglichkeiten können CPS weitgehend ortsunabhängig, jedoch kontextspezifisch, adaptiv, autonom und automatisiert multifunktionale, vernetzte und verteilte Funktionen und Dienste erbringen.

Im Bereich Produktion werden sogenannte ProCPS entstehen, die sich auf Veränderungen im Markt in der Lieferkette automatisch anpassen können und hoch flexibel auch über Unternehmensgrenzen hinweg kooperieren.

Die ProCPS ist – wenn sinnvoll – ein Netz von weltweit kooperierenden, adaptiven, evolutionären und sich selbstorganisierenden Produktionseinheiten. Die Produktionseinheiten können komplette Produktionsmaschinen, Aggregate oder Komplettanlagen sein. Sie kennen ihre Einsatzgebiete, Konfigurationsmöglichkeiten sowie Produktionsrahmenbedingungen und kommunizieren eigenständig über drahtlose oder drahtgebundene Kommunikation, zum Beispiel mithilfe von Web-Services oder M2M. Basierend auf der Produkt-Konfiguration eines Kunden stellen die Produktionseinheiten unter Berücksichtigung von Produkteigenschaften, Kosten, Logistik, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Effizienz, Zeit und Nachhaltigkeit ein ideales Produktionssystem zusammen und sorgen für die optimierte Herstellung des Produkts. Tritt Anpassungsbedarf etwa aufgrund von geänderten Kundenwünschen, Nichtverfügbarkeit oder

Qualitätsproblemen einer Produktionseinheit auf, tauschen die Produktionseinheiten sich eigenständig aus, passen sich an oder entwickeln sich entsprechend des Anpassungsbedarfs weiter.

Wichtige Voraussetzungen sind die Interoperabilität zwischen Hardware und Software der Internettechnologien und den Produktionseinheiten sowie die Einhaltung aller relevanten Safety- und Security-Anforderungen. Die adaptive Herstellung eines Produkts erfordert eine stärkere Integration von Produkt- und Produktionsgestaltung. Insbesondere die Überführung der Produktdaten in die Steuerung der Produktionssysteme führt zu großen Effizienzsteigerungen [CoTeSys07], so können durch automatische Datenübertragung zwischen Modellen Zeit und Fehler eingespart werden. Neben den technischen Grundvoraussetzungen sind neue, flexiblere und übergreifende Organisations-, Management- und Kooperationskonzepte sowie ein vertrauenswürdigen Marktmodell erforderlich. Diese Voraussetzungen zur Realisierung der Vision „ProCPS“ können nur durch die konzertierte Aktion von Anlagenbetreibern, Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, Herstellern von Automatisierungstechnik, der IKT-Industrie geschaffen werden.

Das Einsparpotenzial und die Innovationskraft solcher Systeme werden als enorm angesehen; der Bedarf der Anlagenbetreiber ist vorhanden. Über viele der notwendigen Kompetenzen verfügt Deutschland, jedoch ist das Know-how aktuell noch verteilt auf die Anlagenbetreiber, die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus (Fertigungsindustrie und Prozessindustrie), die Logistik, die Automatisierungstechnik und die IKT-Industrie. Die Initiative CPS muss dies gemeinsam mit den Verbänden bündeln.

Der Begriff Factory umfasst im ProCPS flexible, adaptive, sich selbst organisierende Produktionseinheiten eingeschränkt auf die Prozessklassen Verfahrens- und Fertigungstechnik, wobei ProCPS auch hybride Anlagen umfasst, welche sowohl aus einem kontinuierlichen als auch aus einem diskreten Teil bestehen. Universalität, Skalierbarkeit, Modularität und Kompatibilität gehören zu den Eigenschaften von flexiblen adaptiven Produktionseinheiten. Als Basis für alle weiteren Ausführungen gelten folgende Definitionen:

Produktionseinheit

In Anlehnung an [Ko+99]: Produktionsanlagen oder deren Aggregate bzw. Module werden im Weiteren unter dem Begriff Produktionseinheit zusammengefasst. Sie sind flexibel, adaptiv, sich selbstorganisierend, rekonfigurierbar und kognitiv. Sie kennen ihre Einsatzgebiete, Konfigurationsmöglichkeiten sowie Produktionsrahmenbedingungen und agieren eigenständig intern und extern mithilfe von Web-Services.

Produktionssysteme

Die Gesamtheit aller zum Produktionsprozess beitragenden Produktionseinheiten werden Produktionssysteme genannt. Dabei sind die Produktionseinheiten nicht zwingend auf nur einen Standort begrenzt.

ProCPS

In Anlehnung an [GA+10]: ProCPS sind flexible, adaptive, sich selbst organisierende Produktionseinheiten eingeschränkt auf die Prozessklassen Verfahrens- und Fertigungstechnik. Die Produktionseinheiten werden durch die Integration von Informationstechnik zu intelligenten autonomen Objekten, die über ein gemeinsames Netzwerk Organisationsaufgaben selbst übernehmen und Aufgaben untereinander aufteilen.

CPS Logistik

In Anlehnung an [Sc99]: Die CPS Logistik umfasst die komplette Logistik der Wertschöpfungskette und der damit verbundenen Produktionseinheiten, wobei die Logistiksysteme intelligente, selbststeuernde Systeme innerhalb einer ProCPS sind.

2.3 SZENARIO: KUNDENSPEZIFISCHE PRODUKTION EINER KÜCHE¹

Anhand des entwickelten Szenarios „Kundenspezifische Produktion einer Küche“ werden Unterszenarien entwickelt die sich aus dem übergeordneten Szenario ergeben. Dieses Szenario integriert viele der Möglichkeiten von ProCPS beispielhaft und ist damit teilweise nicht anwendungsnah.

Eine kundenspezifische Küche soll mit den Anforderungen geringer Preis, Verwendung ökologisch einwandfreier Materialien

¹ Die folgende Beschreibung ist ein Auszug aus dem Tagungsband: Erhöhte Verfügbarkeit und transparente Produktion, Tagungsband Automation Symposium 2011, Herausgeberin: Birgit Vogel-Heuser.

und ökologische, nachhaltige Produktion hergestellt werden. Zusammen mit einem Küchenhändler wird mittels eines Küchenkonfigurators unter Nutzung von VR-Techniken (Virtual Reality) zur Erprobung der Bestellung die Küche zusammengestellt. Basierend auf den kundenspezifischen Daten, wie Küchendaten, Kostenrahmen (inkl. Logistikkosten), Qualitätsgrad und den Aspekten der Nachhaltigkeit (CO₂-Fußabdruck, Ökosteuer), ermittelt die ProCPS das ideale Produktionssystem², die Produktionskosten und mögliche Lieferzeiten. In der ProCPS organisieren sich die Produktionseinheiten so³, dass sie die Komponenten der Küche unter den geforderten Randbedingungen produzieren können. Zusätzlich berücksichtigen die Produktionseinheiten auch ihre Zugehörigkeit zu einem Anlagenbetreiber, ihren eigenen Standort, ihren Auslastungsgrad, die Logistikkosten innerhalb und zwischen Anlagenbetreibern, die Kompatibilität der Produktionseinheiten verschiedener Anlagenbetreiber⁴ untereinander, das Wertschöpfungsnetzwerk ausgehend vom Rohmaterial, über Zwischenstufen bis hin zur fertigen Küche als auch die vertraglichen Bedingungen der Betreiber und Lieferanten. Die Planung ergibt, dass sich alle gewählten Produktionseinheiten zur Fertigung der Möbelstücke bei dem Betreiber A in Deutschland und alle Produktionseinheiten zur Fertigung der Arbeitsplatte bei dem Betreiber B in Osteuropa befinden. Nach Auftragsvergabe durch den Endkunden über den Händler starten die Betreiber die Produktionseinheiten.

Teilszenario 1: Auftragsänderung

Der Endkunde möchte ein anderes Dekor für die Arbeitsplatte, welches eine andere Produktionsmethode (Teilszenario 1.1) sowie eine aufwendige Vorbehandlung der Roharbeitsplatte (Teilszenario 1.2) erfordert. Das erkennt das gewählte Produktionssystem und fragt bei der ProCPS nach Produktionseinheiten zur Umsetzung der erforderlichen Produktionsmethode und nach Produktionseinheiten zur Vorbehandlung der Roharbeitsplatte. Die evtl. zusätzlichen Kosten werden dem Endkunden mitgeteilt. Der Endkunde bestätigt die Auftragsänderung dem Händler und dieser bestätigt die Auftragsänderung dem Anlagenbetreiber B.

Teilszenario 1.1: Änderung der Produktionsmethode

Vier verschiedene Produktionseinheiten, welche sich bei Betreibern in vier verschiedenen Kontinenten befinden, bieten sich zur

Realisierung der neuen Produktionsmethode an. Aufgrund der Randbedingungen bekommt die Funktionseinheit des Betreibers E in Osteuropa den Zuschlag. Nach Transport der Produktionseinheit (des Betreibers E) zum Betreiber B, integriert sich die Produktionseinheit selbständig in das Produktionssystem des Betreibers B.

Teilszenario 1.2: Aufwendige Vorbehandlung der Roharbeitsplatte

Die aufwendige Vorbehandlung ist mit vorhandenen Produktionseinheiten nicht realisierbar. Für eine Anpassung bietet sich ausschließlich eine Produktionseinheit an und für diese gilt die Einschränkung, dass sie weder Arbeitsplatten in der angefragten Größe vorbehandeln kann noch portabel ist, also beim Betreiber C die Vorbehandlung durchgeführt werden müsste. Die Produktionseinheit macht das Angebot eine größere Auflagefläche entwickeln zu lassen, sodass sie den Auftrag übernehmen kann. Sie erkundigt sich nach den Entwicklungs- und Fertigungskosten für eine größere Auflagefläche, berechnet die Logistikkosten für den Transport der Arbeitsplatte zu ihrem Betreiber C und erstellt einen Kostenvoranschlag. Betreiber B akzeptiert die Bedingungen und vergibt einen Unterauftrag an Betreiber C. Die Produktionseinheit für die Vorbehandlung wird erweitert. Die Produktionseinheit meldet die Daten an die Produktionseinheit des Betreibers B und diese integriert sie in den Wertschöpfungsprozess.

Teilszenario 2: Qualitätsverlust während der Produktion

Bei der Qualitätskontrolle werden Kratzer auf der Oberfläche der Sockelleiste erkannt, daher muss sie ausgetauscht werden. Die Sockelleiste ist ein Kunststoffprofil mit Holzdekor und einseitigem Klebeband. Der Lieferant stellt die Profile in einem kontinuierlichen Kombinationsverfahren aus Heißextrusion, Beschichtung und Aufbringung des Klebebands her. Die beteiligten Produktionseinheiten erhalten die für die Optimierung der Produktqualität notwendigen Prozess- sowie Qualitätsdaten des Küchenherstellers. Die Daten werden selbstständig analysiert und die Produktionseinheiten passen auf Basis dieser die Prozessparameter an, um den Verschleiß zu kompensieren und derartige Beschädigungen zu vermeiden.

² Flexible, kontext-adaptive Kooperation über Unternehmensgrenzen, Verhandlungsstrategien.

³ Eigenständige Kommunikation mithilfe von Web-Services sowohl drahtlos als auch drahtgebunden, vertikale Vernetzung zur Steuerung der Produktionsanlagen.

⁴ Zum Beispiel horizontale Vernetzung zur Interaktion von Produktionseinheiten, länderspezifische Technologieverfügbarkeit.

Tabelle 1: Fähigkeiten und Anforderungen aus den Teilszenarien

	FÄHIGKEITEN	ANFORDERUNGEN
Teilszenario 1	<ul style="list-style-type: none"> - Auftragsänderung trotz Auftragsbestätigung und der begonnenen Fertigung der Küchenteile 	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptivität der Wertschöpfungskette - Heterogenität der Produktionseinheiten (unterschiedlichste Versionen und Hersteller und Modelle) - Vertikale Vernetzung - Durchgängiges Toolnetzwerk (ERP/MES Ebene) - Datenkopplung über Unternehmensgrenzen und verschiedene Anbieter hinweg - Methoden zur Realisierung von context/situation awareness - Entwicklung von Technologien zum Schutz von embedded systems und Know-how
Teilszenario 1.1	<ul style="list-style-type: none"> - Bewertung der Produktionseinheiten und Entscheidung anhand von Kriterien - Neue Zuordnung der Produktionseinheiten zu Anlagenbetreibern - Kommunikation/Vernetzung der Produktionseinheiten und der Anlagenbetreiber - Integration anderer, neuer Produktionseinheiten während des Betriebs - Energie- und ressourcenschonende Produktionseinheiten 	<ul style="list-style-type: none"> - Datenkopplung über Unternehmensgrenzen und verschiedene Anbieter hinweg - Länderspezifische Technologieverfügbarkeit - Entwicklung internationaler Standards für CPS-Systeme - Horizontale Vernetzung zur Interaktion von Produktionseinheiten - Interoperabilität der Produktionseinheiten von unterschiedlichen Herstellern - Methoden zur Unterstützung von Verhandlungen⁵, Konfiguration und Konsistenzanalyse - Entwicklung vom smart products/smart meters in Automatisierungskomponenten - Entwicklung von Technologien zum Schutz von embedded systems und Know-how
Teilszenario 1.2	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung, Umkonstruktion/Evolution von Produktionseinheiten während Produktionsauftrag bereits eingelastet 	<ul style="list-style-type: none"> - Skalierbarkeit von Produktionseinheiten - Durchgängige Engineering-Werkzeugkette und Datenkopplung - Modellgetriebene Entwicklung - Offene Plattformen - Methoden zur Unterstützung von Verhandlungen, zur automatischen Codegenerierung - Entwurf und Modellierungsmethoden - Entwicklung von Technologien zum Schutz von embedded systems und Know-how
Teilszenario 2	<ul style="list-style-type: none"> - Regelkreis von Qualitätsdaten und Produktionsdaten - Vorgabe geänderter Prozessparameter - Predictive Maintenance 	<ul style="list-style-type: none"> - Vertikale Vernetzung (automatische Anpassung von Tracking und Tracing der Produkte der aktuellen Anlagenkonstellation und der Qualitätsdaten) - Durchgängige Engineering Werkzeugkette und Datenkopplung - Methoden zum Testen, Simulieren, Optimieren und Validieren - Entwicklung von Technologien zum Schutz von embedded systems und Know-how
Teilszenario 3	<ul style="list-style-type: none"> - Vorschläge von Alternativlösungen um das Produkt zeitnah herzustellen - Simulation von Produktionseinheiten und des herzustellenden Produkts - automatische Systemkopplung 	<ul style="list-style-type: none"> - Selbstkonfiguration, Flexibilität, Modularität, Skalierbarkeit, Adaptivität, Zuverlässigkeit, Heterogenität und Interoperabilität der Produktionseinheiten - Agentenorientierte Methoden - Methoden zur Konfiguration, Konsistenzanalyse und Realisierung von context/situation awareness - Methoden zur Unterstützung von Verhandlungen und zur automatischen Codegenerierung - Entwicklung von Technologien zum Schutz von embedded systems und Know-how

Teilszenario 3: Ausfall einer Komponente

Ein Plattenagent, als datentechnischer Stellvertreter der zu produzierenden Platte, wird durch das Tracking der Aufbereitung und Formstraße realisiert und erkennt, dass für die in zwei Stunden zu sägende Platte die Hochleistungssäge bei dem Betreiber A ausfallen wird. Das virtuelle Plattenmodell meldet sich bei der ProCPS und fragt eine gleichwertige Hochleistungssäge an. Alle gleichwertigen Hochleistungssägen sind ausgelastet.

Stattdessen melden sich zwei Sägen mit geringerer Leistung. Eigenständig simuliert das Produktionssystem den Einsatz der Sägen und ermittelt, dass die beiden Sägen gemeinsam die geforderte Leistung erbringen. Aufgrund unterschiedlicher Protokolle können die Sägen nicht direkt in die Steuerung des Produktionssystems eingebunden werden. Ein Schnittstellen-Agent erkennt dieses Defizit, bietet eine Schnittstelle zu einem akzeptablen Preis für den Plattenagenten an, entwickelt diese

⁵ Zum Beispiel Mehrzieloptimierung, Entscheidungstheorie und dynamische Rekonfiguration zur Laufzeit.

und stellt sie dem Betreiber zur Verfügung. Der Plattenagent veranlasst, dass das Produktionssystem während des Betriebs zum korrekten Zeitpunkt die Hochleistungssäge durch die zwei Sägen mit geringerer Leistung austauscht und produziert ohne Unterbrechung und ohne Effizienz- sowie Qualitätseinbußen die Möbelteile.

In Tabelle 1 sind die Fähigkeiten und Anforderungen die sich aus den Teilszenarien ergeben aufgelistet. In Abbildung 1 sind die grundlegenden Kommunikationswege der ProCPS mit den anderen beteiligten Stakeholdern aufgezeigt.

2.4 HAUPTAUFGABEN DER PROCPS

Abgeleitet aus dem Szenario werden die Hauptaufgaben einer ProCPS im Folgenden beschrieben. Wesentliche Voraussetzung zur Schaffung eines weitgehend unternehmenübergreifenden Produktionssystems sind die folgenden Aspekte:

Selbstorganisierte Konfiguration der Produktionseinheiten

Die Produktionseinheiten sind intelligent. Sie kennen ihre Funktionalität, die Rahmenbedingungen unter denen sie zuverlässig funktionieren, ihren Standort, ihren Verbrauch an Ressourcen, entstehende Betriebskosten und ihre Konfigurationsmöglichkeiten – das heißt mit welchen anderen Produktionseinheiten sie gekoppelt werden können. Zudem haben sie einen Überblick über ihre aktuelle und geplante Auslastung. Die Produktionseinheiten bieten ihre Produktionsleistungen auf der ProCPS an, erkennen auch Produktionseinheiten bisher für sie unbekannter Produktionseinheiten und die anderer Hersteller und kommunizieren selbständig und anforderungsabhängig miteinander. Erhält die ProCPS eine Produktionsanfrage (zum Beispiel Produktion einer kundenindividuellen Küche) prüft jede Produktionseinheit ob sie hierzu einen Beitrag leisten kann. Die relevanten Produktionseinheiten melden sich und verhandeln über Rahmenbedingungen unter denen sie gemeinsam produzieren können (Schnittstellen, Datenaustausch, Logistik, einzuhaltende Richtlinien, Verfügbarkeit, Safety und Security-Anforderungen, Energie- und Ressourcenbedarf, eigener Standort) und über die geforderte Qualität (abhängig vom zu produzierenden Gut und den spezifischen, kulturellen Vorstellungen der unterschiedlichen beteiligten Nationalitäten, Kosten). Das Ergebnis der Verhandlungen ist eine optimale Konfiguration an Produktionseinheiten zur Erfüllung des Produktionsauftrags des

Produktionssystems. Das Produktionssystem erstellt ein Angebot über das ProCPS an den Händler. Die Produktionseinheiten verschiedener Anlagenbetreiber können je nach Wunsch Vertragsverhandlungen komplett eigenständig durchführen oder ausschließlich die Konfiguration übernehmen und die Vertragsverhandlungen dem Management der Unternehmen untereinander überlassen. Dabei werden die grundlegenden Informationen wie Kosten, Verfügbarkeit und Produktionszeiten für die Verhandlung zur Verfügung gestellt.

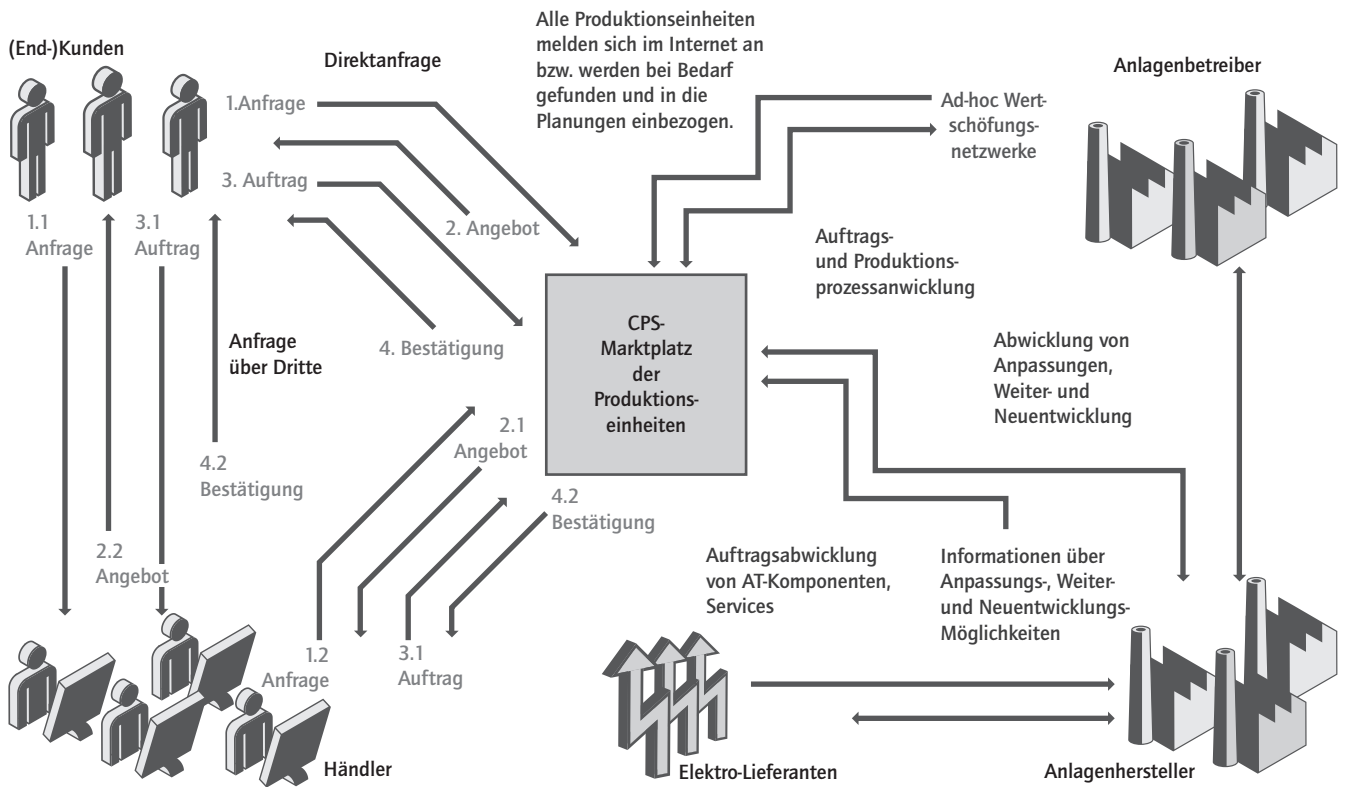
Festlegung des Wertschöpfungsnetzwerks

Das Produktionssystem besteht aus den ausgewählten Produktionseinheiten bei einem oder mehreren Anlagenbetreibern. Der Lieferant ermittelt die ideale Wertschöpfungskette. Das Zusammenspiel zwischen Lieferanten und den Anlagenbetreibern (Produktionseinheiten) bestimmt die Reihenfolge der Bearbeitungsschritte, die benötigten Materialien und Betriebsmittel inkl. der Zulieferer und notwendigen Dienstleister sowie die Logistik und sichert ihre Zusammenarbeit vertraglich ab. Bei Auftragseingang erfolgt eine abgestimmte Auftragsabwicklung. Bei geänderten Rahmenbedingungen, z.B. aufgrund des Ausfalls einer Produktionseinheit, der notwendigen Integration weiterer Produktionseinheiten oder der Anpassung bestehender Produktionseinheiten, passen die Anlagenbetreiber ad-hoc die Wertschöpfungskette unter Einhaltung der Optimierungskriterien an.

Eigenständige Produktion kundenindividueller Produkte (mit geringer Losgröße)

Nach Auftragseingang initiieren alle beteiligten Unternehmen der Wertschöpfungskette ihre Produktionsprozesse. Bei jedem Anlagenbetreiber produzieren die Produktionseinheiten das geforderte Produkt und bieten Services an. Basis für die Produktion sind die in der Produktentwicklung definierten Produkteigenschaften. Hieraus leiten die Produktionssysteme ihren Steuerungscode und Prozessparameter ab und führen automatisch ihre Aufgabe durch. Die Produktionseinheiten arbeiten selbstoptimierend. Bei Engpässen entwickeln sie alternative Strategien und schalten online um (etwa Bypass von gestörten Einheiten unter Umständen unter Einschränkungen in der Produktionsgeschwindigkeit). Frühzeitig erkennen sie mögliche Ausfälle und wirken diesen durch Austausch der betroffenen Komponenten oder durch Anpassung und Weiterentwicklung der Komponenten entgegen.

Abbildung 2: ProCPS und die beteiligten Stakeholder [Vo11]



3 STAKEHOLDER-ANFORDERUNGEN ENTLANG DER WERTSCHÖPFUNGSKETTE IM PROCPS

Die in dem Szenario skizzierte kundenindividuelle Fertigung einer Küche wirkt sich auf die gesamte Lieferkette aus. Beteiligt an der Lieferkette sind die Lieferanten des Endprodukts, Anlagenbetreiber, Anlagenhersteller, Betreiber der ProCPS aber auch die Arbeitnehmer und das Management der betrachteten Unternehmen. Neben ihren eigenen Interessen und den Interessen der mit ihnen zusammenarbeitenden Unternehmen, unterliegen die Unternehmen den zwar weniger offensichtlichen, aber häufig starken Einflüssen von Wettbewerbern, Investoren, Verbänden, Umweltgruppen, der Politik und der Medien.

Im Folgenden werden die einzelnen Stakeholder aus dem Szenario beschrieben und die Anforderungen die von den jeweiligen Stakeholdern an das CPS gerichtet werden aufgelistet.

Betreiber der ProCPS

Die Betreiber der ProCPS stellen die Infrastruktur und Dienste der ProCPS bereit, sodass die Produktionseinheiten der Anlagenbetreiber und Anlagenhersteller eigenständig zu Kundenanfragen das bestmögliche Produktionssystem unter Beachtung der Vorgaben des Auftrags wie zu realisierende Produkteigenschaften, Kosten, Zeit, einzuhaltender produktspezifischer Richtlinien sowie Nachhaltigkeit bereitstellen können.

Anforderungen: ProCPS etabliert einen **CPS-Marktplatz** entsprechend der allgemeingültigen Marktgesetze, politischen Rahmenbedingungen und Gesetze. Gleichberechtigung aller Teilnehmer, Wettbewerbsfreiheit, Transparenz, Datensicherheit, Geheimhaltung, Zuverlässigkeit, Nachverfolgbarkeit sowie ein gerechtes Kostenmodell schaffen Vertrauen und sorgen für eine hohe Anbieter- und Nachfrageakzeptanz. Insbesondere Datensicherheit ist gewährleistet um einen offenen Austausch von Daten zu gewährleisten und Know-how Verlust zu vermeiden. Vertragswerke sind zu erarbeiten und die juristische Absicherung ist notwendig.

Kunde

Kunden kaufen die Produkte. Sie stellen die Produkte nach individuellen Wünschen zusammen. Der Kunde kann sein Produkt entweder selbst über einen online Konfigurator aus beliebigen Herstellern zusammenstellen oder über einen Hersteller/Lieferanten ein Markenprodukt konfigurieren lassen.

Anforderungen: Die Herstellung des Produkts erfolgt entsprechend der Konfiguration unter Berücksichtigung aller geltenden Richtlinien und Gesetze. Ein funktionsfähiges und sicheres

Produkt ist gefordert. Die Lieferzeiten, Kosten und die Ökobilanz werden eingehalten. Die Einsicht in den aktuellen Vorgang ist möglich.

Lieferant

Der Lieferant beliefert den Kunden. Er bereitet die Produktdaten so auf, dass der Kunde sein gewünschtes Produkt auswählen kann und die ProCPS den Auftrag erfassen kann.

Anforderungen: Anhand der Konfiguration der Produktdaten muss die ProCPS in der Lage sein, das für seine Zwecke ideale Produktionssystem zusammenzustellen, welches kostengünstig, zuverlässig und nachvollziehbar das gewünschte Produkt in dem vorgegebenen Zeitraum fertigt und liefert. Der Lieferant möchte bei Bedarf jederzeit den Auftragsstatus abfragen können und bei Änderungen informiert werden.

Anlagenbetreiber

Der Anlagenbetreiber fertigt mit seinen Produktionseinheiten die Produkte entsprechend den Anforderungen des Kundenauftrags und liefert sie unter Berücksichtigung der allgemein gültigen Lieferbedingungen aus.

Anforderungen: Die ProCPS stellt basierend auf den Produktdaten die für den Kundenauftrag optimalen Produktionseinheiten zusammen. Die Produktionseinheiten integrieren sich über die CPS Logistik zu einem Gesamtsystem und führen den Produktionsauftrag eigenständig unter den gegebenen Rahmenbedingungen zuverlässig, sicher und termingetreu aus. Notwendige Anpassungen und Weiterentwicklungen initiieren und organisieren die Produktionseinheiten eigenständig oder ggf. in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller und integrieren neue Lösungen während des Betriebs. Sind zur Erstellung eines Produkts Produktionseinheiten mehrerer Anlagenbetreiber eingebunden, koordiniert und überwacht die ProCPS den gesamten Wertschöpfungsprozess.

Anlagenhersteller

Der Anlagenhersteller stellt den Anlagenbetreibern Produktionseinheiten zur Verfügung.

Anforderungen: Die Anlagenhersteller erhalten über die ProCPS Informationen über geforderte Eigenschaften der Produktionseinheiten und der in den Produktionseinheiten einzusetzenden Technologien, sodass die gewünschten Produktionseinheiten mithilfe einer **CPS-Anlagenplanung** bzw. **CPS-Entwicklung**

zusammengestellt und realisiert werden können. Die ProCPS integriert Produktionseinheiten verschiedener Hersteller.

Arbeitnehmer

Die Mitarbeiter der Anlagenhersteller und -betreiber entwickeln, montieren, automatisieren, warten die Produktionseinheiten und stellen mit den Produktionseinheiten Produkte her.

Anforderungen: Die ProCPS und die Produktionseinheiten sind verständlich und leicht beherrschbar. Zu deren Entwicklung und Betrieb stehen **CPS-Vorgehensweisen, CPS-Methoden, CPS-Beschreibungsmittel, CPS-Softwarewerkzeuge** und Anleitungen zur Verfügung, die leicht zu erlernen und anzuwenden sind. Für die Aus- und Weiterbildung der Nachwuchskräfte gibt es den fakultätsübergreifenden Studiengang CPS-Ingenieur und die Ausbildung zum „Mechatroniker CPS bzw. Fachinformatiker CPS“. Die Mitarbeiter der Anlagenhersteller und -betreiber haben an Weiterbildungsangeboten im CPS-Umfeld teilgenommen und bieten ihren Mitarbeitern kontinuierliche Weiterbildung an. Es werden Anreizsysteme für die Einführung und den Betrieb von CPS geschaffen.

Management

Das Management sorgt für einen reibungslosen und erfolgreichen Unternehmensbetrieb.

Anforderungen: Die ProCPS ist neutral gegenüber allen beteiligten Unternehmen, Produktionseinheiten und Geschäftsbeziehungen. Es handelt nicht eigennützig im Sinne eines Beteiligten. Die ProCPS unterstützt die unternehmensspezifischen Geschäftsprozesse, ein Monitoring aller Abläufe und erlaubt jederzeit ein Eingreifen in den Prozess. Für die Führungskräfte wurde ein unternehmensübergreifendes CPS-Kolleg etabliert.

Wettbewerber

Anlagenbetreiber und Anlagenhersteller mit gleichen bzw. substituierbaren Produktionseinheiten sind Wettbewerber.

Anforderungen: Wettbewerber fordern eine Gleichbehandlung durch die ProCPS. Leistungs- und Alleinstellungsmerkmale der Produktionseinheiten bestimmen deren Auswahl.

Investoren

Kapitalgeber sind an einem hohen Return on Investment interessiert.

Anforderungen: Die ProCPS soll auf Profit der Investoren ausgerichtet arbeiten.

Verbände

Sie vertreten die Interessen ihrer Mitglieder, analysieren Märkte, unterstützen die Erstellung von Richtlinien und Standards.

Anforderungen: Das CPS soll die Anforderungen möglichst vieler Stakeholder erfüllen, insbesondere die der Anlagenbetreiber, Anlagenhersteller, Mitarbeiter, des Managements, der Lieferanten, der Kunden, der Umweltgruppen und der Politik. Durch Verbände wird ein regelmäßiger Austausch der Führungskräfte und Experten zu CPS unterstützt.

Umweltgruppen

Sie plädieren für Nachhaltigkeit und initiieren diverse Aktionen um auf das Thema Nachhaltigkeit aufmerksam zu machen mit dem Ziel verbindliche Gesetze und Vorschriften durchzusetzen.

Anforderungen: ProCPS muss vorrangig den Aspekt Nachhaltigkeit berücksichtigen, wobei Nachhaltigkeit auch Profit für Unternehmen bringen kann. Profit und Nachhaltigkeit widersprechen sich nicht zwangsläufig.

Politik

Die Politik sorgt für ein geregeltes Miteinander der Menschen und Bevölkerungsgruppen. Sie ist auf die Stimme und Gelder der Wähler angewiesen.

Anforderungen: Die ProCPS muss entsprechend der Menschenrechte und Gesetze arbeiten; die Politik muss Rahmenbedingungen für die ProCPS und für die beteiligten Interessengruppen schaffen. Insbesondere sollen energieeffiziente Produktionsmittel staatlich/steuerlich gefördert werden.

4 TECHNOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN ZUM EINSATZ VON PROCPS

Das Szenario „Flexible Produktion einer individuellen Küche“ veranschaulicht die grundlegende Vision einer modernen adaptiven Produktion auf Basis einer Architektur der ProCPS. Ziel ist insbesondere die beispielhafte Verdeutlichung der typischen Fähigkeiten einer Produktion auf Basis der ProCPS Architektur, wie Selbstorganisation oder weltweite Vernetzung und die sich daraus erschließenden Potenziale.

Zur Realisierung dieser Vision sollen insbesondere die Produktionseinheiten folgende Funktionalitäten erfüllen:

- Anbieten von Fähigkeiten auf der ProCPS
- Erkennen von Produktionseinheiten und -aggregaten verschiedener Anbieter (auch bisher unbekannter Anbieter)
- Erkennen der Eigenschaften und Fähigkeiten dieser Produktionseinheiten
- Verhandeln mit anderen Produktionseinheiten
- Steuern funktionsfähiger Produktionssysteme aus Aggregaten nach Erkenntnissen aus den Notwendigkeiten für die Produktion der individuellen Kundenaufträge
- Generierung von Architektur, Anordnung, Aggregateauswahl, Werkzeugauswahl, Steuerungscode Ablaufplan etc. aus den Produktspezifikationen des herzustellenden Produkts
- Überwachen der eigenen Produktion
- Energieeffiziente und nachhaltige Produktion
- Bei Bedarf Optimierung der Produktion und deren Anpassung an neue Begebenheiten, insbesondere Kapazitätsanpassungen während Ramp-up und Ramp-down
- Integration neuer Produktionseinheiten während des Betriebs
- Life Cycle Management für die Menge der Produktionsaggregate und derer Elemente über die Lebenszeit der ProCPS Architektur

Zur Erfüllung dieser Funktionalität werden in diesem Kapitel die benötigten Eigenschaften, von ProCPS, die technischen Merkmale mit den benötigten Funktionen, Diensten und Eigenschaften sowie deren Charakteristika behandelt.

4.1 ZUSAMMENSTELLUNG DER TECHNISCHEN MERKMALE

Zur Realisierung der beschriebenen Funktionen werden folgende Merkmale als erforderlich angesehen:

1. Eine für eine Klasse von Aggregaten/Modulen, Maschinen, Produktionseinheiten etc. einheitliche Architektur und der Einsatz von Ontologien in Bezug auf Eigenschaften, Fähigkeiten, Schnittstellen und Datendarstellungen – zusammengefasst als „CPS Architektur“ bezeichnet, die von einer CPS Referenzarchitektur abgeleitet ist.
 1. Produktbeschreibungen von zu fertigenden Produkten unter Nutzung einer entsprechenden Ontologie, die einer ProCPS eine eigenständige Analyse, Darstellung, Organisation und Ausführung eines Produktionsablaufs für das Produkt erlaubt.
 2. Globales Engineering des Produktionsablaufs sowie Ausführung desselben, Betrieb und Wartung der Produktionseinheiten nach Maßgabe einer CPS-Architektur.
 3. Produktionseinheiten mit Sensoren und Aktoren zur Erfassung von Informationen und zum Einwirken auf physikalische Vorgänge.
 4. Flexible Produktionseinheiten, die auf geänderte Produktanforderungen unmittelbar adaptierbar sind (zum Beispiel per Konfiguration) aber auch strukturelle Änderungen ihrer Eigenschaften und Fähigkeiten erlauben.
 5. Produktionseinheiten mit inhärenter Fähigkeit, etwa durch breitbandige Vernetzung oder lokale Intelligenz, zum Sammeln und Auswerten von Daten, zur autonomen Steuerung und zur Interaktion mit der realen und digitalen Welt.
 6. Digitale Netze (drahtlos, drahtgebunden, lokal, global) und Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Mensch und Produktionseinheiten und zwischen den Produktionseinheiten.
 7. Verfügbarkeit von weltweit verteilten Daten und Dienste, auf die mit hoher Verfügbarkeit auch weltweit zugegriffen werden kann.
 8. Zugriffsschutz (Know-how Schutz) auf Produktions- und Technologiedaten (Know-how) der beteiligten Unternehmen.
 9. Bereitstellung notwendiger Daten für Konfiguration, Produktion, Verhandlung von Auftragsbearbeitungen.
 10. Datendurchgängigkeit über verschiedene am Geschäftsprozess beteiligte Unternehmen, Anwender und allgemein „Stakeholder“ einer ProCPS.
 11. Nutzung und Entwicklung internationaler Standards für CPS-Systeme.

4.2 NEUE FUNKTIONEN, DIENSTE UND DEREN EIGENSCHAFTEN DURCH PROCPS

Die Realisierung der gewünschten ProCPS-Funktionen kann auf Basis der folgenden Systemanforderungen an ProCPS und Produktionseinheiten erreicht werden:

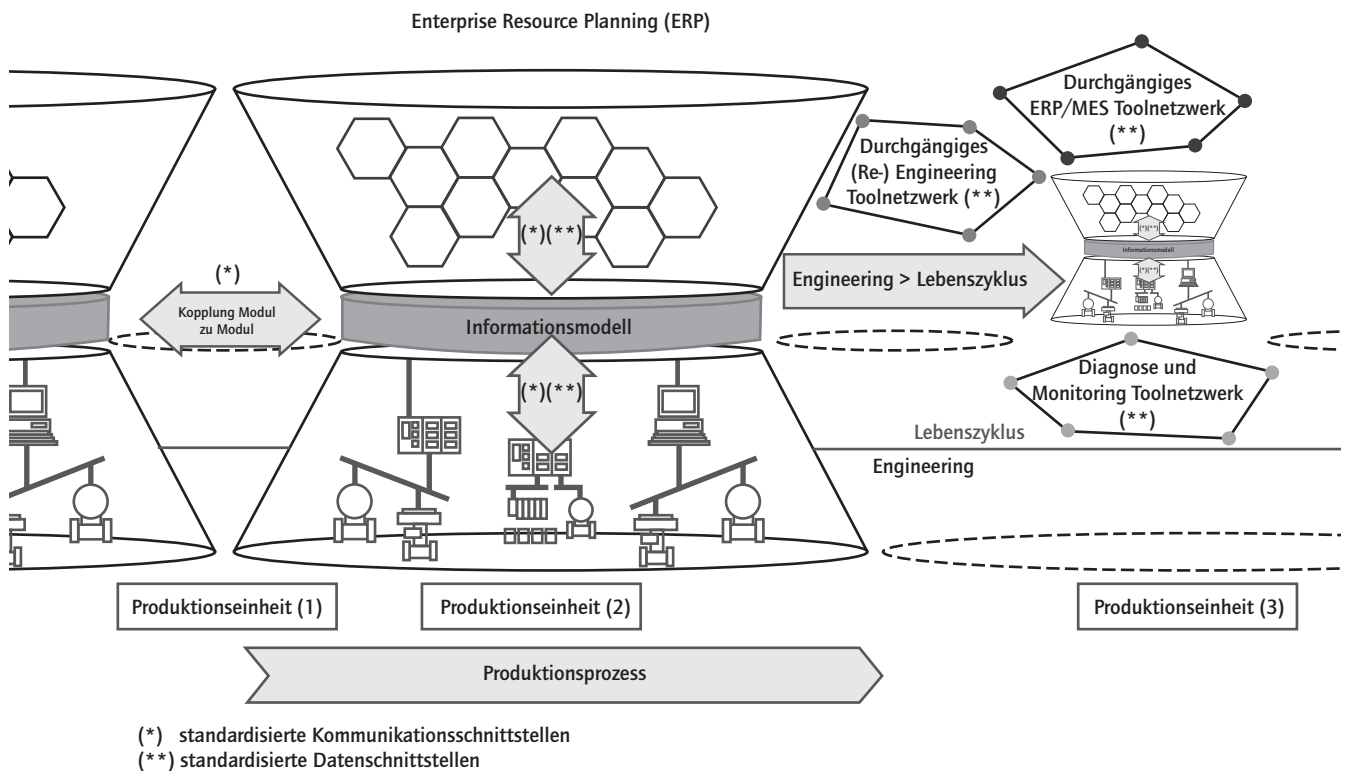
1. Ermitteln der für den an einen Anwendungszweck optimal angepassten Produktionsarchitektur (Anordnung, Interaktionen, Aggregatauswahl, Werkzeugauswahl, Materialien, Prozessgrößen, wie Temperatur, Druck, Bewegungsraum etc.) aus einer durch eine (auch webbasierte) ProCPS gegebene Produktionswelt.
2. Unmittelbares Erfassen, Beeinflussen und Steuern der (Anwendungs-/Umgebungs- und) Produktionssituation: Ermitteln des idealen Produktionssystems aufgrund von kundenindividuellen Produkten und einer effizienten, nachhaltigen Durchführung der Produktion.

3. Weitgehend breitbandige (internationale) Vernetzung von Aggregaten, Maschinen und Produktionseinheiten sowie Fabriken mit Standardprotokollen, derzeit Ethernet-basierend, von der untersten Produktionsebene (Sensorik/Aktorik) über die Produktionssteuerung und -planung bis hin in das Factory ERP. Dabei sind zu unterscheiden:

1. Horizontale Vernetzung zur Interaktion von Produktionseinheiten und zur Sicherstellung des Datenflusses, welcher dem Produktionsfluss folgt (Tracking, Validierung, Produktionsdokumentation in vielfältiger Weise).
2. Vertikale Vernetzung zur Steuerung der Produktionsanlagen (top-down) und Speicherung von Produktionsdaten, wie BDE- und MDE-Daten, Trackingdaten an ein MES- und ERP-System (bottom-up).

In Abbildung 2 sind die Kommunikationswege (horizontal, vertikal) der Produktionseinheiten dargestellt. Die Produktionseinheiten sind dabei nicht starr, sondern verändern sich durch

Abbildung 3: Herausforderungen: Datenmodelle, Datendurchgängigkeit und Datenintegration [Vo11]



Engineering und Reengineering im Verlauf ihres Lebenszyklus. Als wesentliche Eigenschaften der Produktionseinheiten, um das Potential der ProCPS voll auszuschöpfen, wurden von der Arbeitsgruppe folgende Eigenschaften zusammengestellt:

- Weitgehende Ortsunabhängigkeit: Die Produktionseinheiten sind ortsunabhängig und befinden sich bei einem oder mehreren Anlagenbetreibern. Sie können bei Bedarf über ProCPS-Logistik ihren Standort/Anlagenbetreiber wechseln
- Adaptivität (unter anderem auch kontextspezifisch): neue Planung von Produktionseinheiten sowie Änderung der Produktionseinheiten bzw. des Produktionsprozesses aufgrund eines Ausfalls oder einer Kapazitäts-, Auftrags- oder Qualitätsoptimierung oder einer neuen Kundenanforderung/Auftragsänderung
- (Teil-)Autonomie) und Automation: Produktionseinheiten oder Aggregate oder Produktionssysteme der ProCPS können selbständig arbeiten
- Multifunktionalität: Ein Produktionssystem kann nicht nur ein Produkt herstellen, sondern mehrere Produkte, u. a. durch die Vernetzung mit anderen Produktionseinheiten bzw. durch eine geänderte Vernetzung nach neuen Kriterien
- Vernetzung und Verteilung: Die Produktionseinheiten können weltweit verteilt und vernetzt sein

4.3 DETAILLIERUNG DER CHARAKTERISTISCHEN EIGENSCHAFTEN EINER PROCPS

Aus den technischen Merkmalen, den Fähigkeiten zur Selbstorganisation und zur automatischen Produktionsablaufgenerierung und dazugehörigen Funktionen ergeben sich folgende zentrale charakteristische Eigenschaften einer ProCPS, die im Folgenden im Detail erläutert werden.

(1) Verschmelzung von physikalischer und virtueller Welt

Der Produktkonfigurator ermöglicht es Kunden, ein Produkt in einer virtuellen Darstellung zusammenzustellen, darzustellen und dessen Funktionalitäten virtuell zu testen, beispielsweise durch einen Küchenkonfigurator: Darstellung per 3D-Modell in einer virtuellen Web-Welt unter Nutzung von VR-Techniken und Echtzeit-Animation der Funktionen.

Des Weiteren ist das Produktionssystem in der Lage dessen Produktionseinheiten, Arbeitsräume und Produktionsabläufe zu simulieren und unter Nutzung von VR-Techniken in Echtzeit-

Animation darzustellen. Die Simulation nutzt dabei die Metadaten des Produkts nach ProCPS-Ontologie sowie die Eigenschaften und Fähigkeiten der Produktionseinheiten, um daraus eine Produktionsarchitektur und deren Produktionsablauf zu planen sowie die Produktionspläne und Maschinenverkopplungen zu einem Produktionssystem bis hinein in die Produktions-Software zu generieren. Ebenso ermöglicht die Simulation, die Qualitätsmerkmale des Produktionssystems vorherzusagen und zu beurteilen, ob die ausgewählten Produktionseinheiten den Anforderungen zur Erstellung des Produkts genügen.

(2) System of Systems mit „offenen“ wechselnden Systemgrenzen/Kooperation

Produktionseinheiten können mit anderen Einheiten (einschließlich denen anderer Hersteller) verschaltet werden und bei standardisierten Schnittstellen und einheitlicher Ontologie interagieren und kooperieren. Je nach Auftrag können Produktionseinheiten weltweit zusammengestellt werden oder organisieren sich in autonomer Weise selbst. Auch während der Produktion kann das Produktionssystem (ggfs. auch selbstständig) während des Betriebs neue Produktionseinheiten integrieren und aktuell in die Produktion eingebundene Produktionseinheiten entfernen.

(3) Kontext-adaptive und (teil-) autonom handelnde Systeme

Ein System mit der Architektur und den Schnittstellen einer ProCPS kann Kundenwünsche und Anforderungen der Hersteller bzw. Produktionssysteme/Produktionseinheiten in kürzester Zeit (Echtzeit) und ohne zwischengeschalteten Engineering-Prozess interpretieren und umsetzen. Die Produktionseinheiten an sich können ebenfalls kontext-adaptive und (teil-) autonome Systeme sein, welche eigenständig ihre Umgebung bzw. andere Produktionseinheiten erkennen und sich anpassen können. Wesentliches Merkmal einer ProCPS-Architektur für ein Produktionssystem ist das Fehlen eines dedizierten Engineering-Prozesses für die Umsetzung von Kundenwünschen in Änderungen der Produktionsumgebung.

(4) Verteilte und wechselnde Kontrolle mit teilweise wechselnder Entscheidungshoheit während des Organisationsprozesses

Der Organisationsprozess eines Produktionssystems kann einheitlich oder iterativ verlaufen. Beim Einsatz von autonomen Systemen oder Agentensystemen erfolgen auch Phasen der Optimierung oder Verhandlung von Organisationsergebnissen aus Angebot und Nachfrage von Agenten im System.

Die Entscheidungshoheit kann in dieser Phase fortlaufend wechseln. Auswirkungen auf die Transparenz des Produktionsablaufs, die Eindeutigkeit von Ergebnissen und die Hoheit im Sinne von Safety spielen für die Akzeptanz selbstorganisierter Systeme eine zentrale Rolle. Die Produktionseinheiten dürfen auch bei unvorhersehbaren Ereignissen, wie dauerhaftem oder vorübergehendem Ausfallen, und bei Einwirkungen von außen in unbeabsichtigter oder geplanter Weise die Menschen und Umwelt nicht gefährden. Der Zustand und das Verhalten selbstorganisierter Systeme sowie die Entscheidungslogik für Safety-Aufgaben müssen für den Operator möglichst transparent und nachvollziehbar dargestellt werden können.

(5) Vernetzung

Für den Datenaustausch und die Interaktion zwischen Stakeholdern und Produktionseinheiten ist die Vernetzung eine wesentliche Eigenschaft, deren Ausbau und Durchdringung der Produktionssysteme über den bekannten Stand der Technik hinausgehen soll. Die weltweite ideale Zusammenstellung und Organisation von Produktionseinheiten, die Auswirkung von Anforderungsänderungen und Komponentenausfällen auf das Wertschöpfungsnetzwerk und die Umstrukturierung von Produktionseinheiten ist nur durch eine umfassende Vernetzung erreichbar.

Grundsätzlich sind dazu die Standardverfahren der IT-Technologie und -Branche anwendbar, wobei der heutige Stand und die Verbreitung von Ethernet sowie die gute Abstraktion von Protokollebenen deren Verwendung angeraten erscheinen lassen. Ethernet-basierte Kommunikation ist einer fortwährenden Weiterentwicklung unterworfen und wird auf viele Jahre verfügbar sein.

Dazu ist zu unterscheiden (in Anlehnung an [Vo+09])

1. Horizontale Vernetzung zur Interaktion von Aggregaten/Modulen und Maschinen etc. und zur Sicherstellung von Datenfluss, welcher dem Produktionsfluss folgt (Tracing, Validierung, Produktionsdokumentation in vielfältiger Weise), weiter unterschieden nach
 - a. Echtzeitfähiger Kommunikation von Prozessdaten – stets bezogen auf die Anforderungen des Produktionsprozesses, aber absehbar für die Produktion diskreter Güter im Bereich 100 μ s für Zykluszeiten und 100 ns für Synchronität und Gleichzeitigkeit, und

- b. Nicht-echtzeitfähiger Kommunikation im vorgenannten Sinne zur Vernetzung von übergeordneten Systemen ohne direkten Eingriff in Produktionsabläufe in Echtzeit sowie zur Vernetzung von solchen echtzeitfähigen Systemen auf überlagerter Ebene, etwa zur Übergabe von Produktionsdaten mit einem Produkt an die nächste Produktionszelle.

2. Vertikale Vernetzung zur Steuerung der Produktionsanlagen (top-down) und Abspeichern von Produktionsdaten, wie BDE- und MDE- Daten, Tracingdaten etc. an ein MES und ERP System (bottom-up).

Kommunikation nach (1.) und (2.) erfordert für zukünftige Hardware- und Softwaresysteme vorzugsweise die Beherrschung von Ethernet Kommunikation, wobei darüber hinaus für Kommunikation nach 1.a) die Beherrschung der wesentlichen industriellen Ethernet Kommunikationsprotokolle gefordert ist. Bereits heute beginnen Hersteller von Standard-Prozessoren mit der direkten Implementierung solcher Systeme in ihren Produkten [T11]. Die weitere Entwicklung der Technologie und Szenarien in CPS Systemen wird diese Entwicklung durch Nachfragedruck nach solchen Prozessoren und Halbleiter-Produkten fördern, was wiederum zu einer weiteren Verbreitung weniger industrieller Protokolle führt, welche sich am Markt durchsetzen werden.

(6) Interoperabilität

In Produktionssystemen mit CPS-Architektur und deren Szenarien werden verschiedene Produktionseinheiten von unterschiedlichen Herstellern miteinander kommunizieren. Einheitliche Protokolle und Schnittstellen und Standards werden dabei benötigt – solche sind prinzipiell verfügbar, wobei erfreulicherweise eine Konzentration auf Ethernet-basierende Systeme bereits eingesetzt hat. Bei inkompatiblen Systemen mit unterschiedlichen Schnittstellen können Schnittstellen-Agenten zum Einsatz kommen, was jedoch stets nachteilig ist und die Performance solcher Kommunikationssysteme negativ beeinflusst.

Insbesondere ist in der Zukunft auch bei der fortschreitenden Verwendung von Ethernet und weniger industriellen Protokollen viel Entwicklungsarbeit für die Vereinheitlichung, Verbreitung und Implementierung von Geräteprofilen und -modellen zu leisten. Interoperabilität kann nur durch eine von allen Teilnehmern verstandene und geteilte Ontologie und einheitliche Profile (samt Datenmodellen, Kommunikationsverhalten, Status-Maschine, API, und weiterer notwendiger Elemente) für bestimmte, weitgehend abstrakte Geräteklassen und deren Dienste, Daten und Kommunikationen erreicht werden.

(7) Adaptivität

Eine Produktionseinheit mit CPS-Architektur soll auf unterschiedlichen Ebenen adaptiv sein, um in einem von individuellem und „manuellem“ Engineering freien, automatischen Prozess auf Bedarfsanforderungen und Produktionsänderungen zu reagieren:

- Die Produktionseinheiten müssen auftragspezifisch und situationsgerecht eingebunden, abgelöst, adaptiert, konfiguriert und mit variierenden Produktionsaufträgen versorgt werden. Mögliche Änderungen von Parametern auf der Seite der beauftragenden oder ausführenden Stakeholder im Prozess müssen frühzeitig erkannt und die Auswirkungen durch Anpassung oder Erweiterung der betroffenen Komponenten kompensiert werden.
- Der Anpassungsprozess einer Adaption an veränderte Parameter soll situations- und nutzergerecht aufbereitet und transparent gemacht (angezeigt) werden (context awareness).

(8) Interaktivität

Geeignete Interaktionskonzepte für alle Komponenten und Teilnehmer einer CPS basierenden Produktionsanlage werden sich wie ein Ökosystem entwickeln: letztlich gelingt eine weitgehend autonome, an den Erfordernissen einer flexiblen Produktion für fortlaufend wechselnde Bedarfe nur dann, wenn die Interaktion von Produktionssystemen und deren Interaktion mit Bedienern problemlos und eingeübt erfolgt. Dazu benötigt eine ProCPS, ein einheitliches und ganzheitliches Interaktionsmodell, mit Elementen, wie sie in (5) dargelegt sind. Insbesondere sollen Erfahrungen aus anderen Industriezweigen (User Experience) übertragen werden. Dabei sind neben den Interaktionselementen der ProCPS Produktionskomponenten auch solche mit den nicht direkt am Produktionsprozess beteiligten Stakeholdern zu entwickeln und zu implementieren, beispielsweise, jedoch nicht abschließend, mit Mitarbeiter/innen für Controlling, Vertrieb und Marketing sowie für Betriebsleitern und Wartungsmitarbeitern, Kunden, Lieferanten.

(9) Safety

Eine flexible und durch automatische Konfiguration Änderungen unterworfenen Safety-Technologie ist für selbstorganisierende Produktionseinheiten eine wesentliche Voraussetzung und wesentliches Kriterium für die erfolgreiche Anwendung solcher Systeme. Moderne Produktionssysteme benötigen daher die Integration von Safety-Systemen mit übergreifenden

Strukturen über Technologie-, Geräte- und Anbietergrenzen hinweg. Solche Safety-Systeme müssen vorzugsweise adaptiv, freiprogrammierbar, rekonfigurierbar und vollständig integriert in die Automatisierungstechnik eines Systems ausgeführt sein. Vorzugsweise sind solche Systeme anzuwenden, deren Safety-Zertifizierungen nicht von einer bestimmten Technologie oder einem Protokoll oder Anbieter abhängen oder darauf fußen. Neuere Entwicklungen zeigen, dass Safety-Technologien auf Standard-Prozessoren und Standard-Rechnerarchitekturen ausgeführt werden können. Vorzugsweise werden für diese Anwendung Prozessoren der höchsten gerade verfügbaren Leistungsklasse verwendet, derzeit Multicore Prozessoren. Die weitere Entwicklung der Prozessor-Technologie befördert und beschleunigt die Verbreitung dieser flexiblen und frei implementierbaren Safety-Technologie durch die fortlaufende Weiterentwicklung der Prozessorkapazität für solche Anwendungen.

(10) Security

Produktionseinrichtungen mit CPS-Architektur haben naturgemäß und wie oben beschrieben einen hohen Kommunikations- und Interaktionsbedarf, insbesondere über Grenzen von Systemen und Stakeholdern hinweg.

Das macht die sichere Implementierung (im Sinne von Security) von Kommunikationssystemen und deren Schutz vor Angriffen, auch dann, wenn weltweit Datenaustausch und Kommunikationen erfolgen, von Dritten notwendig. Der Autorisierungsprozess für solche, für ein CPS System vorteilhaften Kommunikationen soll weitgehend automatisch und im Hintergrund ablaufen. Nur berechnete Systeme, Personen, Stakeholder sollen auf bestimmte Daten und Nachrichten Zugriffsberechtigung erhalten (Produkt- und Know-how-Schutz). Auch dem Bedürfnis nach Abgrenzung von Teilnehmern an einem System mit CPS Architektur untereinander in Bezug auf vertrauliche Daten, Informationen und Technologien ist Rechnung zu tragen. Hierfür ist ein Zugriffsmanagement notwendig, welches vor Datenlücken sichert insbesondere vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren aufgetretenen Datenpannen [He11.]. Übergreifende und unabhängige Security-Implementierungen im Bereich der Fertigungssysteme sind als Stand der Technik bekannt (beispielsweise OPC-UA), und eine wesentliche Aufgabe besteht darin, deren Eignung und Vollständigkeit der Implementierung für die Anwendung in einem CPS System zu prüfen.

5 TECHNOLOGIE- UND METHODEN-HERAUSFORDERUNGEN FÜR PROCPS

Die Herausforderungen für ProCPS untergliedern sich in Technologie- und Methoden-Herausforderungen. Unter Technologie werden die Funktionsicht, die logische Architektursicht, das Deployment sowie Komplexität, Heterogenität, Dynamik und Skalierbarkeit detailliert. Im Bereich der Methodenherausforderungen stehen Methoden für das Engineering vor und zur Laufzeit im Vordergrund.

5.1 TECHNOLOGIE-HERAUSFORDERUNGEN

Eine wichtige Voraussetzung für die Realisierung der ProCPS ist eine ausreichende Rechenleistung der Produktionseinheiten und der drahtlosen oder drahtgebundenen Kommunikation. Eine flexible Nutzung und eine hohe Verfügbarkeit der Rechenleistung sind absolut notwendig. Schnittstellen müssen weitestgehend standardisiert werden, damit auch Geräte unterschiedlicher Hersteller normiert miteinander kommunizieren können. Die automatisierte Herstellung eines Produkts erfordert eine stärkere Integration von Produktions- und Leitsystemen. Von der Auftragsverwaltung bis hinunter in die kleinste Steuerung müssen Daten über Schnittstellen übertragen werden. Produktionsdaten in die Steuerung, Qualitätsdaten von der Steuerung in die Leitsysteme. Das sogenannte Cloud-Computing kann hierfür ein wesentlicher Bestandteil der Infrastruktur sein. In der Cloud steht Rechenleistung bei hoher Verfügbarkeit auf virtuellen Servern zur Verfügung. Die Kommunikation in die Cloud und aus der Cloud heraus muss sicher erfolgen. Der Sicherheitsaspekt (Security) ist hier eine besondere Herausforderung, da sowohl Produktdaten wie auch Qualitätsdaten versendet werden. Diese Daten dürfen nicht in falsche Hände geraten.

5.1.1 FUNKTIONSSICHT

Die technologische Herausforderung aus der funktionalen Sicht liegt in der Wandlungsfähigkeit der Produktionssysteme. Hierfür ist die Modularisierung von Produktionssystemen sowie die Anwendung des „Plug and Produce“-Prinzips eine Schlüsseltechnologie. „Plug and Produce“ bedeutet, dass sich die Produktionssysteme flexibel an die Anforderungen des Produktionsantrags anpassen. Jede Produktionseinheit realisiert Funktionen und beinhaltet Eigenschaften auf die flexibel zugegriffen werden kann. Die Produktionseinheiten bieten ProCPS diese Funktionen und Eigenschaften an. Diese Funktionen und Eigenschaften können ständig an immer wieder neue Produkthanforderungen schnell

und effizient angepasst werden. Die Verfügbarkeit der Anlagen im Fehlerfall kann durch redundant vorhandene Funktionen und Eigenschaften erhöht werden. Die Verteilung der Produktionsaufgabe auf die einzelnen Produktionseinheiten kann zum einen durch die ProCPS durchgeführt werden. Zum anderen können sich die Produktionseinheiten aber auch untereinander abstimmen. Vertikale und horizontale Kommunikationswege müssen vorhanden sein [Vo+09]. Diese Flexibilität ist nur zu erreichen, wenn alle intelligenten Produktionseinheiten standardisiert sind. Jede Produktionseinheit muss ihre Eigenschaften der ProCPS mitteilen können. Ebenso müssen die Produktionseinheiten untereinander, aber auch mit der ProCPS über standardisierte Wege kommunizieren können.

Der aktuelle Zustand der Produktionseinheiten muss natürlich kontinuierlich erfasst werden. Condition Monitoring Systeme können hier für die Erfassung von Signalen und die Analyse sorgen. Sollten Probleme auftreten, müssen intelligente Meldesysteme dafür sorgen, dass die Bediener Vorort, aber auch entferntes Wartungspersonal, über verschiedene Medien (email, SMS) über Störungen informiert werden. Webbasierte Ferndiagnose- und Fernwartungsmöglichkeiten erlauben dann eine schnelle Aufdeckung und Behebung von Fehlern. Aufgrund der Komplexität moderner Anlagen kann es erforderlich sein, über Expertensysteme vorher bekanntes Wissen über Fehlerursachen und Fehlerbehebungen einfach zu nutzen. Es müssen Methoden zur strukturierten Erfassung und Weitergabe beispielsweise in Form von Regeln, des menschlichen Prozess- und Systemwissens entwickelt und analysiert, sowie deren Abbildung auf einer Plattform zur Verfügung gestellt werden.

5.1.2 LOGISCHE ARCHITEKTURSICHT

Das Produktionssystem besteht aus vielen logischen modularen Subsystemen bzw. Produktionseinheiten. Jede dieser modularen Produktionseinheiten kann durch einen separaten Rechner gesteuert sein. Es können aber auch mehrere Produktionseinheiten auf einem Rechner realisiert werden. Die Verteilung der Produktionseinheiten auf die vorhandenen Rechner kann an einer zentralen Stelle aber auch dezentral durchgeführt werden. Den Produktionseinheiten muss dabei egal sein, ob sie alleine auf einem Rechner oder mit verschiedenen anderen Produktionseinheiten auf einem Rechner zusammenarbeiten. Auf jeden Fall müssen diese Einheiten miteinander kommunizieren und bei bestimmten Aufträgen

kooperieren. Diese Kommunikation muss dabei so transparent gestaltet werden, dass sie im Netzwerk genau so funktioniert wie auf einem lokalen Rechner. Eine drahtlose Vernetzung kann hier hilfreich sein. Dabei sind natürlich sicherheitstechnische Bedenken auszuräumen.

5.1.3 DEPLOYMENTSICHT

Innerhalb einer ProCPS steuert ein unternehmensinternes CPS, als durchgängiges, flexibles IT System, die Produktion auf den durch das CPS System ausgewählten Produktionseinheiten. Es deckt die Funktionen eines heutigen ERP, MES und Leitsystems, ab und kommuniziert einerseits über standardisierte Schnittstellen mit den Produktionseinheiten des Anlagenbetreibers (standortübergreifend) und andererseits mit der ProCPS (Produktionseinheiten anderer Anlagenbetreiber, weitere Kunden und Zulieferer). Das unternehmensinterne CPS plant längerfristig die vom CPS angeforderten Produktionseinheiten und sorgt durch eine optimierte Angebotsabgabe für eine Volllast der Produktionseinheiten und für einen energieeffizienten Betrieb. Dabei berücksichtigt es die von den Produktionseinheiten selbstständig vorausschauend auf Basis ihres Verschleißes geplanten Wartungen. Es sendet über die Standardschnittstelle die von der ProCPS erhaltenen Produktionsaufträge, ggf. zusammen mit den benötigten Rezepten, an die ausgewählten Produktionseinheiten, erhält durch diese eine Rückmeldung ihrer aktuellen Eigenschaften und antwortet zur Initialisierung der Anlage mit den Konfigurationsdaten. Hierfür müssen entweder Herstelleranweisungen und Rezepte auf einzelne Produktionseinheiten zugeschnitten werden oder die Produktionseinheiten müssen in der Lage sein, selbst die für sie relevanten Teile zu identifizieren.

Das unternehmensinterne CPS muss seine, heute MES Systemen zuzuordnenden Funktionalitäten wie das Tracking und Tracing der Produkte automatisch der aktuellen Anlagenkonstellation anpassen können. Es soll selbstständig die relevanten Kennzahlen beispielsweise in Abhängigkeit der Art und des Produktes oder der vorgegebenen Fehlertoleranz für die Produktion berechnen, die Ergebnisse zentral speichern und entsprechende Maßnahmen ergreifen.

Die standardisierte Schnittstelle zu den Produktionseinheiten muss somit nicht nur die Übertragung der Produktionsaufträge, Rezepte und aktuellen Stati erlauben, sondern auch die Übermittlung und Interpretation aller für die Kennzahlenberechnung

und längerfristige Produktionssteuerung notwendigen Daten. Der Teilverfolgung durch die Anlage kommt eine sehr zentrale Rolle zu. Aufgrund der gesetzlichen Anforderungen ist es immer wichtig genau zu wissen, wie welches Produkt gefertigt wurde. Die Speicherung aller relevanten Daten für ein individuelles Produkt muss zentral erfolgen.

Die Produktionseinheiten beinhalten Sensoren und Aktoren. Einige dieser Sensoren und Aktoren sind intelligent. Das heißt auch hier muss eine Kommunikation (zur zyklischen Datenübertragung und zur Konfiguration und Parametrierung) vorhanden sein. Evtl. müssen hier auch die übertragenen Daten gesichert übertragen werden. Auf diesen intelligenten Sensoren und Aktoren können sowohl Vorverarbeitungen aber auch im Falle eines Ausfalls einer Rechnerkomponente Rechenaufgaben übernommen werden und damit die Verfügbarkeit der Anlage erhöht werden. Des Weiteren ist eine geeignete aufgabenabhängige, zeitlich veränderliche Verteilung allgemeiner, steuerungstechnischer Aufgaben auf die Rechenknoten notwendig.

5.1.4 KOMPLEXITÄT, HETEROGENITÄT, DYNAMIK UND SKALIERBARKEIT

Die ProCPS muss natürlich nahezu beliebig komplexe Produktionsvorgänge beherrschen. Dazu stehen Produktionseinheiten verschiedener Hersteller zur Verfügung. Diese sollten flexibel und dynamisch eingesetzt werden können. Produktionseinheiten können beliebig skalierbar sein. Im Nachfolgenden werden die unterschiedlichen Anforderungen näher erläutert:

Komplexität

Auf Grund der Komplexität des Gesamtsystems und der auftragsabhängigen Zusammenstellung der Produktionseinheiten sowie der Umstrukturierung von Produktionseinheiten bei unvorhersehbaren Ereignissen müssen entsprechende Mechanismen und Kommunikationsprotokolle implementiert werden, die diese Anforderungen beherrschen.

Heterogenität

Eine Vielzahl verschiedener Produktionseinheiten unterschiedlichster Versionen und Hersteller mit unterschiedlichen Steuerungs- bzw. Prozessleitsystemstrukturen müssen im Produktionsnetzwerk eng verzahnt zusammenarbeiten. Dies erfordert standardisierte Schnittstellen die auf unterschiedlichen Plattformen installiert werden können.

Dynamik

Eine Umrüstung von einem Produkt auf ein anderes Produkt erfordert eine hohe Flexibilität aller Produktionseinheiten. Zudem muss jede Produktionseinheit auch in der Lage sein, aufgrund von Engpässen oder fehlerhaften Produktionseinheiten, schnell einzuspringen und die Verfügbarkeit der Anlage zu erhalten. Diese Dynamik kann nur mit einer entsprechenden Infrastruktur gewährleistet werden. Effiziente Protokolle und schnelle Netzwerkverbindungen sind hier notwendig.

Skalierbarkeit

Produktionseinheiten müssen von ganz einfach bis zu ganz komplex skalierbar sein. Einfache Rollenförderung ohne große Intelligenz muss ebenso integriert werden können wie etwa komplexe mehrachsige Robotersysteme. Durchgängigkeit ist hier gefordert.

5.2 METHODEN-HERAUSFORDERUNGEN

Eine ausführliche Auflistung der Prozess- und Methoden-Herausforderungen von CPS allgemein ist in [CPS10] zu finden. Für das Engineering und die Realisierung von ProCPS sind die im Folgenden detailliert erläuterten Aspekte besonders entscheidend:

- die integrative disziplinübergreifende Entwicklung von Produkt und Produktionssystem,
- die Modularisierung der Produktionssysteme zu Produktionseinheiten,
- eine modellgetriebene Entwicklung (Model Driven Design)
- und eine durchgängige Engineering Werkzeugkette.

5.2.1 INTEGRATIVE DISZIPLINÜBERGREIFENDE ENTWICKLUNG VON PRODUKT UND PRODUKTIONSSYSTEM

Produkt- und Produktionssystementwicklung müssen noch stärker als bisher zusammenwachsen und auch die Betriebsmittelentwicklung ist zu integrieren – nur so können ein noch kürzeres Time to market und kurze Zeiträume für Produktionssystemanpassungen aufgrund von Produktänderungen realisiert werden. Heute plant die Produktionssystementwicklung die Verfahrens- und Technologieketten zur Produktion eines Produktes und bezieht alle notwendigen Anlagen, Einrichtungen, Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen – also die Produktionseinheiten –

von der Betriebsmittelentwicklung. Zukünftig bieten die Produktionseinheiten ihre Dienste eigenständig an und bilden in Abhängigkeit vom zu fertigenden Produkt eigenständig Verfahrens- und Technologieketten. Das erfordert die integrative Zusammenarbeit bei der Planung und Entwicklung von Produkt und Produktionssystem aller Entwickler der Bereiche Produkt, Produktions- und Betriebsmittelentwicklung und der dort involvierten Domänen wie Mechanik, Elektrotechnik, Hydraulik, Pneumatik, Fertigungs-, Montage-, Füge- und Trenntechnik, Robotik und insbesondere der Domänen IT-Technologien sowie Automation. Nur unter Einbeziehung der Spezialisten aus den Domänen IT-Technologien und Automation von Anfang an können die Potentiale der ProCPS in vollem Umfang ausgeschöpft werden. Zur Sicherstellung der geforderten Qualität, Funktionsfähigkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit sowie der Einhaltung der vorgegebenen Kosten, einer schnellen Auftragsabwicklung und effizienten Logistik sind die jeweiligen Experten dieser Bereiche ebenfalls einzubinden. Vor diesem Hintergrund ist ein Ansatz für das concurrent engineering von Produkt, Produktionsanlage und Produktionseinheiten inklusive der jeweils unterschiedlichen Gewerke zu entwickeln, um derartig neue und gekoppelte Prozesse zu unterstützen und mit größtmöglicher Schnelligkeit auf die Anforderungen nach Innovationen oder Reengineering reagieren zu können. Neben den domänenspezifischen Spezialisten und Experten sind zusätzlich CPS-Architekten erforderlich. Diese kennen alle Gewerke, können Experten verstehen und gewerkeübergreifend denken. Zu Ihren Aufgaben gehören die gesamte Projektleitung und Koordinierung.

5.2.2 MODULARISIERUNG

Produkte sowie Produktionssysteme und Produktionseinheiten zur Herstellung der Produkte werden immer komplexer. Modularisierung ist ein Werkzeug diese Komplexität zu beherrschen, gleichzeitig ermöglicht sie die Wiederverwendung von bewährten Lösungen. Im Rahmen der ProCPS können Produktionssysteme und Produktionseinheiten als Modul interpretiert werden. Eine Herausforderung ist die Festlegung der Module. Es müssen sinnvolle Einheiten als Module identifiziert und deren Systemgrenzen sowie Schnittstellen festgelegt werden. Die Module der Produktionseinheiten werden in der Regel disziplinübergreifend sein, aus ihnen müssen die disziplinspezifischen Systemgrößen und Verhaltensweisen ableitbar sein. Zur Umsetzung der Vision ProCPS sind geeignete Definitionen

von disziplinübergreifenden und disziplinspezifischen Modulen, Modularisierungsstrategien und -regeln zu entwickeln und zu standardisieren.

5.2.3 MODELLGETRIEBENE ENTWICKLUNG (MODEL DRIVEN DESIGN)

Ziel ist eine Modell-basierte Entwicklung von Produkt und Produktionssystem über den gesamten Lebenszyklus. Eine Modellgetriebene Entwicklung reduziert die Durchlaufzeiten, erhöht die Qualität und unterstützt die Wiederverwendung bewährter Lösungen sowie die Nachverfolgbarkeit. Die Modelle müssen die Realität hinreichend genau abbilden und simulationsfähig sein, sodass Aussagen zu Kosten, Qualität, Funktionsfähigkeit, Zuverlässigkeit, Wartungsbedarf und Ressourcenverbrauch für das Produkt und das Produktionssystem schon frühzeitig getroffen werden können und bei Bedarf Optimierungen durchgeführt werden können. Im Rahmen von ProCPS werden hohe Anforderungen an die Modellbildung gestellt: Die Modelle sollen das Produktionssystem und das zu fertigende Produkt sowie die Wechselbeziehungen abbilden und aus den Modellen soll automatisch lauffähiger Code erzeugt werden. Die Wechselbeziehungen sind vielfältig. Das zu fertigende Produkt wird von dem Produktionssystem determiniert. Umgekehrt bestimmt das zu fertigende Produkt die notwendigen Produktions-, Trenn-, Füge- sowie Montagetechniken und somit die einzusetzenden Produktionseinheiten und deren Konfiguration zu einem Produktionssystem. Während der Produktionssystementwicklung denken die Entwickler die Funktionsweise und das Verhalten der Produktionssysteme voraus und beschreiben es. Aus den Beschreibungen soll u.a. der Steuerungscode der Produktionssysteme und Produktionseinheiten automatisch generiert werden. Zur Erreichung dieser Ziele müssen die Modelle auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus, mit unterschiedlichen Sichten sowie disziplinübergreifend und disziplinspezifisch modelliert werden. Eine große Herausforderung ist dabei die disziplinspezifischen Module (Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software) zu identifizieren und diese integriert zu modellieren [Si+09, SFB614]. Die Modellierungen müssen abstrakt sein, aber es muss dennoch die Möglichkeit bestehen, aus der Modellierung automatisch einen lauffähigen Code zu erzeugen. Dabei müssen die spezifischen Systemeigenschaften wie Safety, Security, Interoperabilität, Adaptivität und Autonomie beschrieben, modelliert und nach Code-Übersetzung sichergestellt werden. Ein weiterer Punkt ist die Generierung von Steuerungscode aus

den Produktbeschreibungen. Es sollen nicht nur NC- und CNC-Programme aus den Produktdaten abgeleitet werden können und automatisch die Bearbeitung erfolgen, sondern die automatische Generierung von Steuerungscode aus Produktbeschreibungen ist auch für alle weiteren Produktionsaufgaben wie Fügen oder Montieren angedacht.

5.2.4 DURCHGÄNGIGE ENGINEERING- WERKZEUGKETTE

Sowohl die Entwickler als auch die Produktionseinheiten nutzen diverse Software-Werkzeuge zum Planen, Entwickeln, Modellieren, Simulieren, Optimieren und Implementieren. Eine Entwicklung, Weiterentwicklung oder Anpassungsentwicklung kann losgelöst oder abhängig von einem aktuellen Produktionsprozess erfolgen. Ebenso kann die Inbetriebnahme der neuen Lösung vor dem Start eines Produktionsauftrags oder automatisch während der Betriebsphase eines Produktionssystems erfolgen („Plug and Produce“). Grundsätzlich entsteht eine Vielzahl von Daten, die von den nachfolgenden Werkzeugen genutzt werden müssen. Da die manuelle Datentransformation fehleranfällig und zeitaufwändig ist, müssen einheitliche Schnittstellen realisiert und Standards entwickelt werden. Es ist eine Werkzeugkopplung entlang des gesamten Lebenszyklus erforderlich, um eine durchgängige Datenbearbeitung bzw. ein durchgängiges Engineering zu ermöglichen. Zudem ist eine Kopplung zwischen Entwicklungswerkzeugen und der Laufzeitumgebung zu schaffen, sodass auch während des Betriebs durch die Produktionseinheiten parallel Entwicklungen durchgeführt und implementiert werden können. Im Rahmen der ProCPS ist weiterhin eine Kopplung der Engineering Werkzeuge mit den überlagerten MES- und ERP-Systemen sowie der ProCPS erforderlich, sodass aufgrund geänderter Auftragsdaten die Produktionseinheiten automatisch Weiter- und Anpassungsentwicklungen initiieren und umsetzen können.

Die Entwicklung einer ProCPS ist sehr komplex. Es sollen ganze Produktionssysteme oder einzelne Produktionseinheiten losgelöst von einem Kundenauftrag aber auch in Abhängigkeit von Kundenaufträgen entwickelt werden. Dazu ist die Betrachtung der ProCPS auf mehreren Ebenen erforderlich. Übergeordnet ist die **Ebene der ProCPS** als Vermittler und Marktplatz. Im Vordergrund steht hier das Bereitstellen von Web-Services, die ein Anbieten und Verhandeln der Produktionseinheiten ermöglichen. Wichtige Themen sind hier Konfigurations-, Verhandlungs- und

Entscheidungsmethoden. Auf der **Unternehmens- und Betriebs-ebene** geht es um die Auftragsabwicklung, Produktionsplanung und Logistik, durchgängiges Engineering, Methodenkopplung und Werkzeugkopplung im Sinne der Co-Simulation. Auf der **Feldebene** das heißt an den Produktionssystemen – stehen im Vordergrund fehlerfreies, effizientes Produzieren und Methoden sowie Optimierungstechniken zur Erreichung dieses Ziels.

5.2.5 VORGEHENSWEISEN, METHODEN, BESCHREIBUNGSSPRACHEN, WISSEN UND SOFTWAREWERKZEUGE

Um nun Dritte in die Lage zu versetzen eine derart komplexe ProCPS zu entwerfen, zu implementieren und zu betreiben ist eine Entwicklungsmethodik erforderlich, die alle oben genannten Aspekte beinhaltet. Die Entwicklungsmethodik stellt die für den Entwurf, die Implementierung und den Betrieb notwendigen Vorgehensweisen, Methoden, Modellierungstechniken sowie Beschreibungssprachen, Softwarewerkzeuge und das erforderliche Entwurfswissen zusammen.

Vorgehensweisen

Für Klassen von Produktionssystemen entstehen Leitfäden, die das Vorgehen bei der integrativen Entwicklung beschreiben. Sie beinhalten die Hauptprozessschritte und deren Resultate sowie Handlungsempfehlungen für situationsbedingte Prozessanpassungen. Die Leitfäden sind Basis für die Realisierung des automatischen Entwurfs und die automatische Implementierung sowie Inbetriebnahme.

Methoden

Es ist ein Set an Methoden zusammenzustellen, die ein Entwickeln und Betreiben von ProCPS unterstützen. Es wird angestrebt, so weit wie möglich bewährte Methoden einzusetzen. Diese allein reichen jedoch nicht aus, sodass bestehende Methoden weiterentwickelt werden und neue Methoden hinzukommen müssen. Erforderlich sind u. a. geeignete

- Entwurfs- und Modellierungsmethoden
- Methoden zur Modularisierung, Konfiguration, Konsistenzanalyse
- Methoden zur Unterstützung von Verhandlungen wie Mehrzieloptimierung, Entscheidungstheorie, Spieltheorie
- Methoden zum Testen, Simulieren, Optimieren, Validieren
- Visualisierungsmethoden

- Methoden zur automatischen Codegenerierung
- Methoden zur Realisierung von context/situation awareness
- Agentenorientierte Methoden

Beschreibungssprachen

Die Beschreibung von Modellen erfolgt über Beschreibungsmittel, auch Spezifikationstechniken genannt. Es müssen die quantitativen und qualitativen Eigenschaften der Systeme abgebildet werden. Wichtig ist insbesondere die Modellierung von Zeiten (diskret und kontinuierlich) und deren Synchronisation. Zur Beschreibung der ProCPS sind disziplinübergreifende und disziplinspezifische Beschreibungsmittel mit unterschiedlichem Abstraktionsniveau und zur Darstellung unterschiedlicher Sichten auf das System erforderlich. Die Beschreibungsmittel müssen zu einer ganzheitlichen Beschreibung des Systems integrierbar sein. Die aktuell existierenden Beschreibungsmittel wie beispielweise UML, SysML und deren Erweiterungen reichen zur Spezifikation aller Aspekte der ProCPS nicht aus. Sie müssen erweitert werden und neue Beschreibungsmittel müssen entwickelt werden. Ziel ist ein standardisiertes Set an Beschreibungsmitteln.

Wissen

Die Entwicklung technischer Systeme erfordert von den Entwicklern auf das zu entwickelnde System abgestimmtes Methoden-, Lösungs- und Erfahrungswissen. Für die Entwicklung von ProCPS Systemen gibt es bisher kein Erfahrungswissen (User-Experience) als auch kein hierauf abgestimmtes Methoden- und Lösungswissen. Dieses Wissen ist zu sammeln und Dritten in Datenbanken zur Verfügung zu stellen. Neben den oben beschriebenen Methoden ist auch deren Anwendungsweise zu dokumentieren. Der Begriff Lösungswissen ist weit zu fassen, zum einen geht es um bewährte fertige Module, Lösungsmuster oder Wirkprinzipien und zum anderen um Designregeln und Gestaltungsrichtlinien. Das Erfahrungswissen entsteht erst bei der Entwicklung der ersten ProCPS Systeme und sollte von Beginn an gesammelt und für die Nutzung durch Dritte aufbereitet werden. Zur einfachen Handhabung des Wissens fehlen Assistenzsysteme. Ein großer Handlungsbedarf besteht vor allem im Bereich Engineering bezüglich Wissensmodellierung und Synthesealgorithmen für die Automatisierungstechnik.

Softwarewerkzeuge

Die bisher existierenden Softwarewerkzeuge für den Entwurf und die Realisierung intelligenter technischer Systeme genügen den Anforderungen für die Entwicklung der ProCPS nicht. Hier

muss es Weiter- und Neuentwicklungen geben. Alle für die Entwicklung und den Betrieb notwendigen Softwarewerkzeuge (Entwurfswerkzeuge, Datenverwaltungswerkzeuge, Workflow-Systeme, ERP- und MES-Systeme, Datenbanken, Assistenzsysteme) sind zu einer virtuellen Arbeitsumgebung zusammenzuführen. Diese Arbeitsumgebung muss für jeden ProCPS Anwender weltweit zur Verfügung stehen und an seine Bedürfnisse anpassbar sein. Zur Erschließung der Potentiale der ProCPS sind zudem insbesondere Erweiterungen und neue Konzepte im Bereich Varianten- und Versionsmanagement [Si+08], Änderungsmanagement, Daten- und Zugriffssicherheit, Umgang mit Zeitversatz und unterschiedlichem Zeitverhalten, Autonomie und Vertraulichkeit zu entwerfen.

Zusammenfassend sind eine entsprechende Architektur und standardisierte Schnittstellen zu schaffen. Die Modularisierung, Durchgängige Engineering Toolketten, und Modellgetriebene Entwicklung (Model Driven Design) sind dabei sehr wichtig. Außerdem ist die Integration der Produktentwicklung, der Entwicklung der Produktionsanlagen zu integrieren um schnell auf geänderte Anforderungen an die Produkte reagieren zu können. Wissenschaftlich ist dazu die heute existierende Trennung zwischen Produktentwicklung und Entwicklung von Produktionsanlagen sowie Produktentwicklern, Qualitätsmanagement und Produktionsplanung und deren Automatisierung zu überwinden ganz zu schweigen von den dazu eingesetzten Werkzeugen und der fehlenden Datenintegration. Vor diesem Hintergrund ist ein

Ansatz für das concurrent engineering von Produkt und Produktionsanlage inklusive der jeweils unterschiedlichen Gewerke zu entwickeln, um solche neuen und gekoppelten Prozesse zu unterstützen und für die mit größtmöglicher Schnelligkeit auf die Anforderungen nach Innovationen oder Reengineering reagieren zu können. Wesentlich ist es bereits bei der Produktentwicklung die möglichen Grenzen oder gegenläufigen Kostenfunktionen der Produktionsanlagen sowie der Wartungsnotwendigkeiten von Produkt und Produktionsanlage als Optimierungskriterium für das Produkt mit einzubeziehen. Für die Komplexitätsbeherrschung und Wiederverwendung ist eine Herausforderung dabei die disziplinspezifischen Module (Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software) zu identifizieren und diese integriert zu modellieren [Si+09]. Die disziplinspezifischen Modellierungssichten müssen dabei abstrakt aber dennoch dazu in der Lage sein, aus der Modellierung automatische einen lauffähigen Code zu erzeugen. Dabei müssen die spezifischen Systemeigenschaften wie Safety, Security, Interoperabilität, Adaptivität und Autonomie beschrieben, modelliert und nach Code-Übersetzung sichergestellt werden. Da die manuelle Datentransformation zwischen verschiedenen Disziplinen fehleranfällig und zeitaufwändig ist, müssen einheitliche Schnittstellen realisiert und Standards entwickelt werden. Die Werkzeugkopplung entlang der gesamten Lifecycle aus dem Bereich Maschinenbau ist eine weitere Herausforderung um eine Durchgängige Datenbearbeitung bzw. durchgängiges Engineering zu ermöglichen.

6 GESCHÄFTSMODELLE UND ÖKOSYSTEM

Neben den technischen Grundvoraussetzungen sind neue, flexiblere und übergreifende Organisations-, Management- und Kooperationskonzepte sowie ein vertrauenswürdiges Geschäftsmodell erforderlich.

Heutige Geschäftsmodelle berücksichtigen die grundlegenden Eigenschaften der ProCPS wie Flexibilität in dem Wertschöpfungsnetzwerk, selbstorganisiertes Vermitteln von Produktionseinheiten über das Internet und eigenständiges Konfigurieren sowie Produzieren von Produkten nicht ausreichend. Weiterhin erfolgt die Produktion zunehmend weltweit verteilt an mehreren Standorten. Die integrative und den Produktionsprozess begleitende Entwicklung von Produkt und Produktionsprozess werden selbstverständlich. Folglich verlangen die Geschäftsmodelle in CPS nach neuen Ansätzen bezüglich

- Koordination von Angebot und Nachfrage
- Kostenmodellen und Abrechnungsverfahren
- Know-how Schutz, Eigentumsrechten, Patent- und Lizenzmodellen
- Vertragsverhandlungen und Vertragsinhalten
- Import- und Exportbestimmungen der Länder
- Geheimhaltung und Datenschutz
- Zugangsberechtigung und Nutzerverwaltung
- Handhabung von durch die Produktionseinheiten vorangetriebene Weiterentwicklungen der Produkte
- Gesamte Projektleitung und -koordinierung von CPS-Architekten bei der integrativen disziplinübergreifenden Entwicklung von Produkt und Produktionssystemen

Flexible Wertschöpfungskette, anpassbare Produktionssysteme, eigenständig agierende Produktionseinheiten haben zudem Einfluss auf die Aufgaben der Mitarbeiter in den Unternehmen. Die Inhalte der Ausbildung müssen angepasst und Weiterbildung für Unternehmen im CPS-Umfeld müssen angeboten werden.

Insbesondere muss die Ausbildung der CPS-Architekten alle Wissensgebiete der ProCPS decken. Gefragt sind Fachleute mit Schwerpunkt ProCPS. Ein fakultätsübergreifender Studiengang CPS-Ingenieur sowie Softwareergonomie als Teil der Ausbildung für Ingenieure würde die Einführung und die Akzeptanz der ProCPS erhöhen. Bisherige Unternehmensstrukturen haben keine flexibleren Strukturen. Es gilt die neuen Aufgaben zu identifizieren, flexible Strukturen zu konzipieren, ein faires Entlohnungssystem zu entwickeln und Anreizsysteme für die Mitarbeiter zu schaffen.

Eine weitere Herausforderung ist der Aspekt Transparenz. Auf der einen Seite steigt die Transparenz, denn der Kunde als auch alle anderen Beteiligten können jederzeit den aktuellen Status des Auftrags verfolgen und auf den Auftrag Einfluss nehmen. Auf der anderen Seite nimmt die Transparenz ab. Auftraggeber, Anlagenhersteller und Anlagenbetreiber müssen den intelligenten Fähigkeiten der Produktionseinheiten und den Services der ProCPS vertrauen. Nicht alle Verhaltensweisen können schnell und eindeutig nachvollzogen und verstanden werden. Das setzt ein hohes Maß an Akzeptanz bei den Nutzern voraus. Dazu ist die Sicherstellung des Datenschutzes sowie der Know-how-Schutz essentiell.

Schließlich hat die ProCPS einen positiven Einfluss auf das Ökosystem. Ein wichtiger Punkt bei den Verhandlungen der Produktionseinheiten ist der Aspekt Nachhaltigkeit. Es werden nur die Konfigurationen von Produktionseinheiten ausgewählt, die gemeinsam den geringsten Ressourcen- und Energieverbrauch haben sowie geringe bis keine Emissionen und Immissionen verursachen. Während der Produktion werden die Systeme fortlaufend bezüglich Energieverbrauch und Abgabe von Immissionen optimiert, sodass die Umweltbelastung und der Ressourcenverbrauch möglichst gering gehalten werden.

7 LITERATUR

[AVE]

Agenten für flexible und verlässliche Eingebettete Echtzeitsysteme, DFG gefördertes Projekt (VO 937/5-1).

[Br11]

Brecher, C: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, VDI-Buch, Springer-Verlage, 2011.

[CPS10]

Broy, M (Hrsg.): Cyber-Physical Systems. Innovation durch Software-Intensive Eingebettete Systeme. In: acatech diskutiert, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010.

[CoTeSys07]

Hertzberg, J.; Beetz, M.; Englert, R.; Buss, M.; Wollherr, D.: Cognitive Technical Systems – What Is the Role of Artificial Intelligence? In: KI 2007: Advances in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin/Heidelberg, 2007.

[F³Factory]

Flexible, Fast, Future factory (F³Factory), 2012 [online] <http://www.f3factory.com>

[GA+10]

Gabriel, P.; Gaßner, K.; Lange, S.: Das Internet der Dinge – Basis für die IKT-Infrastruktur von morgen. Anwendung, Akteure und politische Handlungsfelder. Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE-IT, 2010.

[Ge+10]

Gerber, T.; Kirchner, H.; Rombach, D.; Roth, A.: Software von Morgen. In: Computer & Automation (C&G), Vol. 10, WEKA Fachmedien GmbH, Poing, 2010, S. 26 – 28.

[He+03]

Heylighen, F.; Gershenson, C.; Staab, S.; Flake, G.W.; Pennock, D.M.; Fain, D.C.; De Roure, D.; Aberer, K.; Wei-Min Shen; Dousse, O.; Thiran, P.: Neurons, viscose fluids, freshwater polyp hydra and self-organizing information systems. In: Intelligent Systems, IEEE Volume: 18, 2003.

[He+11]

Hessel, V.; Cortese, B.; de Croon, M.H.J.M.: Novel process windows – Concept, proposition and evaluation methodology, and intensified superheated processing, Chemical Engineering Science, Volume 66, Microfluidic Engineering, 2011.

[He11]

Angriff auf Playstation Network: Persönliche Daten von Millionen Kunden gestohlen, 27.04.2011 [online]. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Angriff-auf-Playstation-Network-Persoeliche-Daten-von-Millionen-Kunden-gestohlen-1233136.html>

[HO01]

Hoppe, G.: Evolvable Skills for Assembly Systems. IFIP International Federation for Information Processing, Springer Boston, 2006, S. 227 – 237.

[IEEE08]

IEEE Std 1625-2008. Digital Object Identifier: 10.1109/IEEESTD.2008.4657368. 2008.

[IEEE99]

IEEE Standards Software Engineering. Volume One. Customer and Terminology Standards. Published by The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 1999.

[IEEE98]

IEEE Std 1003.23-1998, IEEE Guide for Developing User Organization Open System Environment (OSE) Profiles, 1998.

[IEEE95]

IEEE Std 610.7-1995, IEEE Standard Glossary of Computer Networking Terminology, 1995.

[IEEE90]

IEEE Std 610.12-1990, IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology, 1990.

[KA+04]

Katzke, U.; Vogel-Heuser, B.; Fischer, K.: Analysis and state of the art of modules in industrial automation. In: Automation Technology in Practice (atp) international, Oldenbourg-Verlag, München, 2004 – Jahrgang 46, Heft 1, S. 23 – 31.

[Ko+99]

Koren, Y.; Heissel, U.; Jovane, F.; Moriwaki, T.; Pritschow, G.; A.G. Ulsoy; Brussel, H. van: Reconfigurable manufacturing systems. In: Ann. CIRP, vol. 48, no. 2, 1999.

[KreaAgentuse]

Konzeption, Realisierung und Evaluation einer werkzeugunterstützten Vorgehensweise für die Entwicklung von Agentensystemen in der Automatisierungstechnik unter Berücksichtigung der Usability, DFG gefördertes Projekt (VO 937/8-1).

[KR+10]

Kröner, A.; Meixner, G.; Jacobs, O.: Digital Product Memories: Perspective of Users and System Architects. In: Sixth Int. Conf. on Intelligent Environments (IE). 2010, S. 265 – 270.

[Ku06]

Kuhn, W.; "Digital Factory – Simulation Enhancing the Product and Production Engineering Process," Simulation Conference, 2006. WSC 06. Proceedings of the Winter, 2006.

[Le08]

Lee, E.: Cyber Physical Systems: Design Challenges. Technical report. Berkeley: University of California, 2008.

[Me+09]

Meyer auf der Heide, F.; Rammig, F. J.: Self-Organisation and Self-Optimization. In: Public Service Review: Science and Technology, 2009.

[Ny+07]

Nyhius, P.; Kolakowski, M.; Heinen, T.: Adequate and Economic Factory Transformability – Results of a Benchmarking. In: 2nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Agile Production, Toronto, 2007.

[Pa+09]

Pantförder, D.; Vogel-Heuser, B.; Schweizer, K.: Benefit and evaluation of interactive 3D-process data visualization for the presentation of complex problems, HCI International, San Diego, 2009.

[Pa+06]

Papenfort, J.; Hoppe, G.: Evolvable skills for assembly systems. In: Automation Technology in Practice (atp) international, Oldenbourg-Verlag, München, 2006 – Ausgabe 4, Heft 3, S. 27 – 31.

[Po95]

Polke, M. (Hrsg.): Prozessleittechnik. Oldenbourg Verlag, München, 1995.

[Ra07]

Rammig, F. J.: Engineering Self-Coordinating Real-Time Systems. In: Proceedings of The 10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), Santorini Island, 2007.

[Sc99]

Schulte, C.: Logistik. 3. Aufl., München: Vahlen 1999.

[SFB614]

Gausemeier, J.; Frank, U.; Donoth, J.; Kahl, S.: Specification technique for the description of self-optimizing mechatronic systems. In: Research in Engineering Design, Springer London, 2009.

[Sc+99]

Scherff, B.; Haese, E.; Wenzek, H. R.: Feldbussysteme in der Praxis ein Leitfaden für Anwender, Springer, 1999.

[Si+09]

Sim, T. Y.; Li, F.; Vogel-Heuser, B.: Benefits of an Interdisciplinary Modular Concept in Automation of Machine and Plant Manufacturing. In: 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM), Moskau, 2009, S. 898 – 903.

[Si+08]

Sim, T. Y.; Li, F.; Vogel-Heuser, B.: Modules, version and variability management in automation engineering of machine and plant manufacturing. In: Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Hamburg, 2008, S. 46 – 49.

[SmartF]

Technologieinitiative SmartFactory KL e.V., 2011 [online]. <http://www.smartfactory-kl.de/>

[SPP1305]

DFG-Schwerpunktprogramm 1305: Regelungstheorie digital vernetzter dynamischer Systeme [online]. <http://spp-1305.atp.ruhr-uni-bochum.de>

[SPP1593]

DFG-Schwerpunktprogramm 1593: Design For Future – Managed Software Evolution [online]. <http://www.dfg-spp1593.de>

[TI1]

Texas Instruments implementiert EtherCAT für Embedded Prozessoren, 28. 5. 2011 [online].

<http://newscenter.ti.com/Blogs/newsroom/archive/2011/04/04/texas-instruments-first-semiconductor-company-to-license-ethercat-174-technology-for-embedded-arm-174-and-dsp-arm-based-devices-664127.aspx>

[UN10]

UN Data Database Gross Value Added (GVA), <http://data.un.org>, retrieved on 27.11.2010

[VDMA]

VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer e.V. 2007 [online]. www.vdma.org

[VDI95]

VDI/VDE-Richtlinie 3542 Blatt 1

[Vo+09]

Vogel-Heuser, B.; Kegel, G.; Bender, K.; Wucherer, K.: Global Information Architecture for Industrial Automation. In: Automatisierungstechnische Praxis (atp), Oldenbourg-Verlag, München, 2009 – Jahrgang 51, Heft 1, S. 108–115.

[Vo09]

Vogel-Heuser, B.: Automation in wood and paper industry. In: Nof, S. Y. (Ed): Handbook of Automation, Springer-Verlag, New York, 2009.

[Vo+07]

Vogel-Heuser, B.; Schweizer, K.; van Burgeler, A.; Fuchs, Y; Pantförder, D.: Auswirkungen einer dreidimensionalen Prozessdatenvisualisierung auf die Fehlererkennung, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1/2007, S. 23–34.

[Vo11]

Vogel-Heuser, B.: Embedded Systems: Erhöhte Verfügbarkeit und transparente Produktion. Tagungsband Automation Symposium. kassel university press GmbH, Kassel, 2011.

[WPRO]

Wandlungsfähigkeit durch modulare Produktionssysteme (WAMOPRO). 2011 [online]. <http://www.wamopro.de>

[Wa+08]

Wannagat, A.; Vogel-Heuser, B.: Agent oriented software-development for network embedded systems with real time and dependability requirements the domain of automation, Ifac World Congress, Seoul, 2008.

[Zu08]

Zuehlke, D.: SmartFactory – from Vision to Reality in Factory Technologies In: Proceedings of the 17th World Congress, The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, 2008.

[ZVEI]

Life-Cycle-Management für Produkte und Systeme der Automation, ein Leitfaden des Arbeitskreises Systemaspekte im ZVEI Fachverband Automation, ZVEI-Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Fachverband Automation, Frankfurt, 2010.