

Fachbeitrag aus atp edition 4/2014

56. Jahrgang B3654

DIV Deutscher Industrieverlag GmbH

# atp edition

Automatisierungstechnische Praxis

IKT in der Fabrik  
der Zukunft



# IKT in der Fabrik der Zukunft

Ein Diskussionsbeitrag zu Industrie 4.0

Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) durchdringt die Produktion und ihre Maschinen und Anlagen immer stärker. Sie wird zu einer Schlüsseltechnologie in der Fabrik der Zukunft. Allerdings bleibt sie eine Enabling Technology, denn sie muss die bekannten Ziele von produzierenden Unternehmen unterstützen: das sind Qualität, Zeit und Kosten. In diesem Beitrag wird erklärt, welche IKT-Technologien für die Fabrik der Zukunft relevant sind, wie sie miteinander zusammenhängen und welche Potenziale bezogen auf die drei genannten Ziele sich durch ihre Nutzung ausschöpfen lassen.

**SCHLAGWÖRTER** Industrie 4.0 / intelligente Automation / MES / industrielle Kommunikation / Mensch-Maschine-Interaktion / Interoperabilität

## **ICT in the Factory of the Future – A Contribution to Industrie 4.0**

Information technology is one of the key enabling technologies of future manufacturing. However, for manufacturing and its value adding purpose, information technology has to be considered as a tool. In this article the authors describes their approaches to relevant components of an information model inside the future factory.

**KEYWORDS** manufacturing execution systems / intelligent automation / industrial IT / interoperability

**CHRISTIAN FREY, MICHAEL HEIZMANN, JÜRGEN JASPERNEITE, OLIVER NIGGEMANN, OLAF SAUER, MIRIAM SCHLEIPEN, THOMAS USLÄNDER, MICHAEL VOIT**, Fraunhofer IOSB

**D**ie Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in der Fabrik der Zukunft muss die Ziele von Produktionsunternehmen [1] unterstützen:

- vom Kunden geforderte Qualität mit Auswirkungen auf robuste Produktionsprozesse,
- Geschwindigkeit und Zeit bezogen auf Innovationen, Durchlaufzeiten und Anlauf von Anlagen sowie
- wettbewerbsfähige Herstellkosten mit Auswirkungen auf Investitionen in Anlagen und IKT.

Neben diesem Dreiklang ergeben sich neue Erfolgsfaktoren für die zukünftige Produktion [2] zum Beispiel aufgrund von

- Wandlungsfähigkeit für viele neue Produktvarianten mit Auswirkungen auf Integration und Interoperabilität in der produktionsnahen IKT,
- Echtzeitfähigkeit mit Auswirkungen auf die schnelle Bereitstellung benötigter Information an die berechtigten Nutzer,
- Netzwerkfähigkeit und damit die Erweiterung des Blickfeldes von einem Unternehmen auf Verbünde von Standorten oder Firmen.

Produktionsnahe IKT liegt am Schnittpunkt der Unternehmensprozesse „von der Produktidee zum Recycling“ beziehungsweise „von der Absatzplanung bis zum Service“ [3]. Dadurch ergeben sich weitere Forderungen nach IKT-Unterstützung über den kompletten Lebenszyklus von Produkt und Produktion sowie an die Integration der Produktions-IKT in die Gesamt-IKT-Architektur eines Unternehmens oder einer kompletten Supply Chain [4]. In [5] formulieren die Autoren Trendaussagen für die Internet-Gesellschaft, von denen zwei Aspekte für die Industrie 4.0 besonders zutreffend sind:

- Trendaussage 5: Semantische Technologien verwandeln Information in Wissen,

- Trendaussage 10: Sich selbst organisierende Systeme reduzieren die Komplexität und erhöhen die Zuverlässigkeit.

Diese Trendaussagen werden beispielsweise durch [6] unterstützt, worin als charakteristisch für heutige Fabriken unvollständig beschriebene Engineering-Prozesse sowie eine unzureichende Integration von Information und Daten genannt werden. Auch andere Autoren unterstreichen die Anforderungen an die Fabrik der Zukunft, vor allem bezüglich Flexibilität, Rekonfigurierbarkeit und Adaptivität [7-10].

Viele der Innovationen, die durch die Industrie-4.0-Initiative ausgelöst und entwickelt werden, sind IKT basiert – neue Technologien, die die IKT bereitstellt, ermöglichen Produkt- oder Prozessinnovationen mit teilweise massiven Auswirkungen auf die Fabrik (siehe Bild 1). Die Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 [4] spannen einen ersten Rahmen für denkbare Innovationen und Handlungsfelder auf – eine systematische Übersicht über die Lösungsbeiträge von IKT fehlt bislang.

Über die in diesem Beitrag genannten Technologiekomponenten hinaus adressiert Industrie 4.0 weitere neue Technologien, die sich ebenfalls in der Entwicklung befinden, zum Beispiel Verknüpfung des Engineering mit der Produktion, Selbststeuerung, Intralogistik, Nutzung von Cloud-Technologien.

## 1. INDUSTRIELLE ANFORDERUNGEN

Die Produktion der Zukunft muss sich den bekannten Mega-Trends stellen, die unter anderem in [1] zusammengefasst sind. Daraus leiten sich Anforderungen ab, die die Fabrik der Zukunft erfüllen muss, zum Beispiel die Fähigkeit, kundenindividuelle Produkte mit immer neuen Varianten herzustellen, kurze Produktlebenszyklen, schnelle Lieferzeiten, Null-Fehler-Produktion und ressourcenschonende Fertigung.

Eine der daraus folgenden Anforderungen an die IKT-Topologie in der Industrie 4.0 ist die Fähigkeit, sich an

Änderungen anzupassen – sei es, dass neue Anlagen oder Produktionsprozesse in das System eingebracht werden oder bestehende Produktionssysteme verändert werden, beispielsweise weil eine Produktvariante zusätzlich gefertigt werden soll. Die Autoren bezeichnen diese Fähigkeit in Anlehnung an [10] als wandlungsfähige IKT. Dabei ist die zentrale Idee, dass Mechanismen der Selbstbeschreibung in Bezug auf Funktionalität, Identifizierung, Selbstaufbau der Kommunikation und durchgängigen Datenaustausch genutzt werden, wenn neue Komponenten, Maschinen oder Anlagen in ein Produktionssystem eingebracht werden oder sich softwarerelevante Änderungen in der Produktion ergeben. Heutige IKT-Architekturen in der Produktion sind auf diese Anforderung jedoch noch nicht ausgerichtet: Proprietäre Schnittstellen, nicht integrierte Einzelsysteme oder firmenspezifische Speziallösungen verhindern, dass intelligente Komponenten und Maschinen Mechanismen der Selbstkonfiguration und durchgängiges Datenmanagement nutzen. Im Sinne der Forschungsagenda CPS [11] sind solche intelligenten Komponenten und Maschinen Cyber-Physical Systems.

Eine weitere resultierende Anforderung ist, dass die IKT Lernen aus den Prozessen ermöglichen muss, nicht nur um die Prozesse kontinuierlich zu verbessern, sondern um sie zu befähigen, schneller als heute neue Produkte mit noch unbeherrschten Produktionsprozessen auf den Markt zu bringen [12, 51].

## 2. BEISPIELE FÜR IKT-BASIERTE LÖSUNGSANSÄTZE

### 2.1 Vom Sensor zum Prozesswissen

Intelligente Assistenzsysteme, kognitive Systeme und lernende Algorithmen ergänzen in Zukunft die bislang stark von manuellen Implementierungen und Modellierungen geprägten Vorgehensweisen [13]. Durch diesen Technologiesprung entsteht die Chance, datengetriebene Lösungsansätze, wie sie für Data-Mining und in der Analyse von Big Data typisch sind, auch in der Industrie zu implementieren. Die Industrie hat in den letzten Jahren diverse Anwendungsfälle für solche neuen Ansätze definiert:

- Sensor- und Aktordaten von Produktionsanlagen können genutzt werden, um einen technischen Prozess automatisch auf Optimierungspotenzial bezüglich Ressourcenverbrauch wie Wasser oder Energie hin zu untersuchen [14, 15].
- Softwaresysteme können das Verhalten von Produktionsanlagen diagnostizieren, das Normalverhalten abstrahieren und so später Abweichungen, wie Verschleiß oder Fehler, erkennen [16, 17].
- Durch automatische Abstraktion der Prozessdaten sowie die maschinelle Interpretation und Hervorhebung relevanter Daten kann der Anlagenbediener durch geeignete Assistenzsysteme in Zukunft entlastet werden [18, 19].

Grundlage für solche neuen Potenziale ist die Information über den Prozess, die von Feldgeräten (Sensoren und Aktoren) erfasst wird. Durch die zunehmende Verfügbarkeit von intelligenten Feldgeräten vollzieht sich ein Trend zu immer umfassender instrumentierten Prozessen. Damit stehen zunächst mehr Daten zur Verfügung, was zum Beispiel durch steigende Abstraten der Sensorsysteme noch verstärkt wird. Des Weiteren steigt der Kommunikationsbedarf durch die zunehmende horizontale und vertikale Vernetzung und damit die verfügbare Datenmenge massiv an.

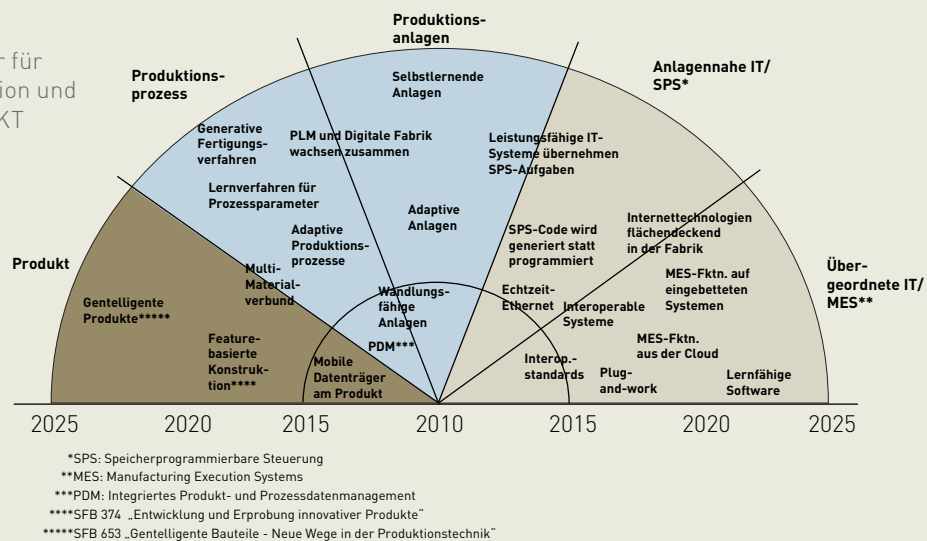
Neben den Steuerungs- und Regelungsvorgängen und neben der klassischen Diagnose auf Ebene einzelner Signale (Signalplausibilisierung) erwächst so ein Bedarf nach systemweiter Datenanalyse. Ziel dieser Datenanalyse ist es, Anomalien zu erkennen, die anschließende Diagnose und ein systemweites Condition Monitoring.

Die Auswertung solch einer hohen Anzahl von Prozessgrößen besitzt einige Ähnlichkeit mit Data-Mining beziehungsweise mit Schlagworten wie Big Data, die momentan in der IKT diskutiert werden. Technische Systeme erfordern allerdings aus mehreren Gründen andere Lösungsansätze und Algorithmen als die klassischen Anwendungsgebiete von Data-Mining:

- Fertigungstechnische Prozesse sind zeit- und zustandsbehaftete Systeme. Aktuelle Datenanalysemethoden berücksichtigen dies kaum; stattdessen wird oft versucht, den betrachteten Prozess derart zu reduzieren, dass die Zeitabhängigkeit vernachlässigt werden kann.
- Das Verhalten technischer Systeme basiert letztendlich auf physikalischen Zusammenhängen. Verfahren des Data-Mining müssen daher um physikalische Modelle erweitert werden. Der dafür passende Detaillierungsgrad der Modellierung muss so gewählt werden, dass diese für das Data-Mining geeignet ist.
- Technische Prozesse sind meist hybrider Natur – ihr Verhalten zeichnet sich durch einen Mix von diskreten und kontinuierlichen Prozessgrößen aus. Aktuelle Data-Mining-Verfahren sind für hybride Systeme oft ungeeignet.
- Technische Systeme sind meist multi-modal, ihr Verhalten ist durch die Abfolge von stark unterschiedlichen Modes geprägt. Data-Mining-Verfahren müssen dies explizit berücksichtigen, was aktuell jedoch nicht der Fall ist.
- Technische Systeme verlangen zumeist eine Reaktion nahe der Echtzeit, das heißt die Datenanalyse muss Echtzeitanforderungen genügen.

Im Zusammenhang mit diesen Fragestellungen werden in verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten, zum Beispiel im Spitzencluster Intelligente Technische Systeme Ostwestfalen-Lippe (Projekt itsowl-EE-Energieeffizienz in intelligenten technischen Systemen, Projekt itsowl-IASI-Intelligente Antriebs- und Steuerungstechnik für die energieeffiziente Intralogistik)

**BILD 1:** Trendradar für Produkte, Produktion und produktionsnahe IKT  
(Quelle: Fraunhofer-interne Recherchen)



oder im Projekt Anubis im Programm Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) verschiedene für technische Systeme angepasste Konzepte erarbeitet, sodass mit Hilfe neuer Data-Mining-Verfahren konkrete Aufgabenstellungen folgender Art beantwortet werden können:

- 1 | Besteht Optimierungspotenzial in der Produktion, zum Beispiel bezüglich Durchsatz oder Ressourcenverbrauch?
- 2 | Liegen Fehler oder Verschleiß in der Anlage vor?
- 3 | Wann muss die Anlage gewartet werden (condition monitoring)?

Aus Sicht der dazu verwendeten Lösungsansätze und Algorithmen kann hierzu zwischen heuristischen Verfahren und modellbasierten Verfahren unterschieden werden: Bei heuristischen Verfahren [20, 21] wird mittels einer Klassifikationsfunktion direkt von Symptomen auf die Fehlerursache geschlossen. Klassifikationsfunktionen werden dabei zum Beispiel mittels Entscheidungsbäumen oder neuronalen Netzen modelliert.

Diese Methoden haben den Nachteil, dass vorab alle Symptome und Ursachen sowie deren Zusammenhang bekannt sein müssen. Angewendet werden diese Verfahren daher zumeist bei abgeschlossenen, nicht zu komplexen Anlagen oder Systemen. Beispiele für die Anwendung dieser heuristischen Verfahren finden sich in [22-24].

Für komplexere Systeme wird dagegen oft die modellbasierte Diagnose verwendet. Die Verwendung modellbasierter Verfahren zur Diagnose wurde in den letzten Jahren immer populärer. Beispielsweise behan-

delten beim International Workshop on Principles of Diagnosis 2009 etwa 70 % aller Beiträge einen modellbasierten Ansatz zur Diagnose technischer Systeme.

Generell verwenden modellbasierte Ansätze, wie sie in [25-27] beschrieben sind, ein Modell des Systems, um während des Systembetriebs

- 1 | durch einen Vergleich zwischen Messungen am System und der Modellvorhersage (Simulation des Modells) Symptome zu generieren und
- 2 | um den Zusammenhang zwischen Symptom und Ursache zu ermitteln.

Modellbasierte Ansätze haben den Vorteil, dass Symptome und Fehlerursachen nicht bei der Implementierung des Diagnosealgorithmus bekannt sein müssen und das Diagnosesystem damit auf unerwartete Fehler reagieren kann. Modellbasierte Diagnose wird daher oft für komplexe, stark vernetzte Systeme eingesetzt, in denen Fehler viele und räumlich verteilte Symptome hervorrufen können. Modellbasierte Ansätze wurden zum Beispiel in [28, 29] auf die Verfahrenstechnik angewendet. Weitere Anwendungsbeispiele aus dem industriellen Umfeld finden sich in [30-32], wo ein Modell einer Flaschenabfüllanlage für deren Diagnose erfolgreich eingesetzt wird. Andere Ansätze für die Automation basieren auf Agentensystemen [33].

Neue Ansätze versuchen, das Modell nicht mehr manuell von Experten erstellen zu lassen, sondern es automatisch aus Beobachtungen abzuleiten, das heißt, es wird vom Computer ein Modell des Normalverhaltens des Systems aus den Daten abstrahiert. Dies geschieht, beispielsweise um Anomalien zu erkennen, oder um das Verhalten des Systems prognostizieren zu können

[40, 43, 44]. Aktuell werden solche Verhaltensmodelle zum Beispiel in Form von Modellen der Signalkorrelation [32] oder in Form von hybriden Zustandsautomaten mit zeitlichen Einschränkungen [40, 43] gelernt. Andere Ansätze setzen nicht auf das Lernen auf Basis von Daten, sondern verwenden existierende Simulationsmodelle [31] oder eine Kombination von existierenden Struktur- und Verhaltensmodellen [28].

## 2.2 Von der Datenbank zur Auswertung

Für die produzierende Industrie entsteht Big Data unter anderem dadurch, dass die relevanten Prozessgrößen und Produkteigenschaften inline, das heißt mit der Geschwindigkeit des laufenden Prozesses, über die Sensorik erfasst und zur Maschinen- und Anlagenüberwachung sowie zur Prozessoptimierung verwendet werden. Dies setzt voraus, dass Sensoren eingesetzt werden, die für den Prozess und das Produkt geeignet sind und zur Datenauswertung untereinander vernetzt werden. Mit Hilfe intelligenter Big-Data-Analyseverfahren des maschinellen Lernens und Data-Minings, angewandt auf aufgezeichnete Prozessdaten, können dann konkrete Fragestellungen folgender Art leicht beantwortet werden:

- 1 | Wie ist der aktuelle Anlagenzustand?
- 2 | Liegen Fehler oder Verschleiß in der Anlage vor?
- 3 | Ist der Ressourcenverbrauch (beispielsweise Energie)

In der Praxis existieren auf der bisherigen Enterprise-Resource-Planning-Ebene (ERP) Bestrebungen, direkt auf Online-Daten aus Fertigungsprozessen zuzugreifen, diese zu verarbeiten und daraus geschäftsrelevante Information zu generieren [36]. In-Memory-Datenbanken leisten dieser Entwicklung insofern Vorschub, als dass sie die geforderte Geschwindigkeit zur Verarbeitung großer Datenmengen bieten.

Tatsächlich liegt die Herausforderung jedoch in der Frage, wie große Datenmengen mit Datenelementen unterschiedlichster Strukturierungsform (Sensordaten, Dokumente, Texte, Modelle, Simulationsergebnisse) und Entstehungsart (synchron, asynchron) in der geforderten Zeit, gegebenenfalls in Echtzeit, analysiert und für den Benutzer leicht verständlich aufbereitet werden können (Big-Data-Problem).

Ein weiterer Anwendungsfall von Big Data ist die gezielte Suche, Harmonisierung und Auswertung von verteilten Daten in der Fabrik, zum Beispiel unterstützt durch eine Kombination semantischer Technologien mit leistungsfähigen Suchmaschinen aus der Welt des Internets. Dazu folgendes Szenario: In einer automatisierten Produktion sei eine komplexe Teilanlage gestört. Ein Instandhaltungsmitarbeiter soll die Anlage möglichst schnell wieder produktionsbereit machen. Dazu benötigt er Daten über

- den Anlagenzustand vor dem Ausfall; diese Daten sind in einem Anlagenüberwachungssystem abgelegt,

- Log-Dateien über die letzten Anlagenbedienungen, aus denen sich eventuell Rückschlüsse über eine Fehlerursache ziehen lassen,
- Instandhaltungsdaten über die letzten Wartungsarbeiten an der betroffenen Anlage,
- Qualitätsinformation über Produkte, die eventuell durch die Störung betroffen sein könnten,
- Ersatzteilmateriale, zum Beispiel 3D-Geometrien, 2D-Zeichnungen und -Schnitte, Explosionsdarstellungen, Stücklisten, um die Wartung korrekt und effizient ausführen zu können.

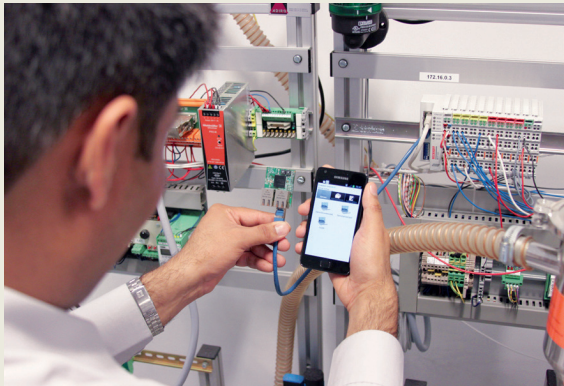
In den heute üblichen IKT-Architekturen würde das verknüpfte Suchen all dieser Information in den einzelnen Datenquellen erheblichen Aufwand bedeuten, mit den Konsequenzen Zeitverlust, entsprechend längerem Stillstand der Anlage und somit Produktionsausfällen.

## 2.3 Vom Signal zur App

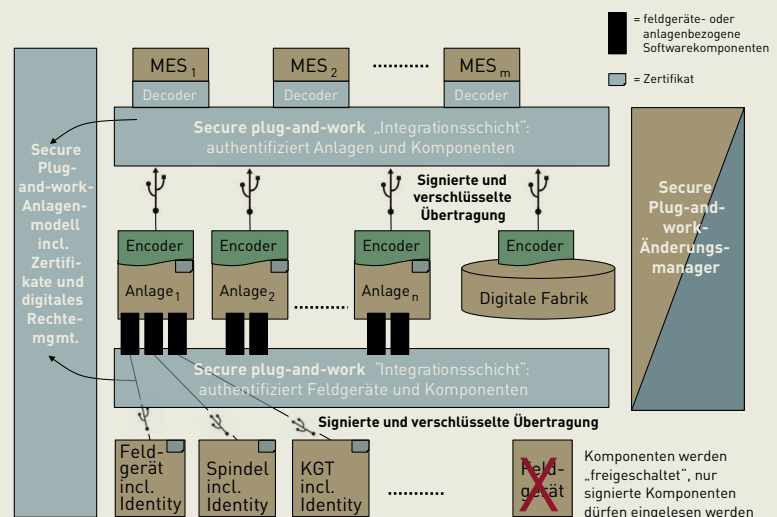
Die bisher eher monolithisch anmutenden Leit- und Manufacturing-Execution-Systeme (MES) wandeln sich hin zu serviceorientierten Architekturen. Neue Anbieter produktionsnaher IKT-Systeme am Markt entwickeln ihre Werkzeuge direkt nach dem Paradigma der Serviceorientierung. Dabei lassen sich die folgenden Architekturkomponenten unterscheiden:

- Apps: Applikationen mit eigener Benutzeroberfläche, aber keiner oder nur sehr eingeschränkter eigener Datenhaltung, die auf einem mobilen Endgerät genutzt werden können. Beispiele für produktionsnahe Apps sind KPI-Apps zur Visualisierung von Kennzahlen wie Verfügbarkeit oder OEE- und Gantt-Chart-Apps zur Visualisierung von Auftragsreihenfolgen als Ergebnis einer Fertigungsfeinplanung.
- Leittechnik- und MES-Services: Unter einem Service verstehen die Autoren des Beitrags eine Einheit mit einer konkreten Funktion und eindeutigen Ein- und Ausgangsparametern [41]. Einzelne Funktionen können als Services bereitgestellt werden oder Services fassen mehrere Funktionen zusammen.
- Manufacturing Service Bus: Über diesen Bus kommunizieren die Services untereinander. Dieser Service Bus ist eine der Kernkomponenten der zukünftigen serviceorientierten Architektur und dient als Integrationsebene, um das Zusammenspiel der Services zu realisieren. Auch in den heutigen Leitsystemen und MES existieren diese Komponenten schon, allerdings zugeschnitten auf den jeweiligen Hersteller. Heute gibt es keinen Service Bus, mit dem sich Leit- und MES-Services unterschiedlicher Softwareanbieter ohne manuelle Programmierereingriffe verbinden können.
- Integrations-Services: Diese Services werden zwingend benötigt, um die Verbindung zwischen Leittechnik- und MES-Service und den Maschinen, Anlagen und anderen Einrichtungen der Fabrik zu

**BILD 2:** Mit OPC UA ist eine durchgängige Kommunikation vom Sensor bis ins Internet möglich.



**BILD 3:** Komponenten und Softwaremodule zum vertrauenswürdigen Plug-and-work von der Feld- bis zur MES-Ebene



schaffen. Eine Kommunikation auf Basis von OPC UA mit semantischem Mapping zur automatischen Anbindung von Maschinensteuerung an MES-Services ist ein Beispiel für einen solchen Integrations-service [42].

Erklärtes Ziel der Serviceorientierung kann es nur sein, Services unterschiedlicher Anbieter zu kombinieren, so dass Anwender zu einer Best-of-breed-Lösung kommen.

Das bisherige Verständnis von Leittechnik ist stark von der Vorstellung mehrerer Hierarchieebenen geprägt: von der Feldebene über die Anlagen-, Betriebs- und Produktionsleitebene bis hin zur Unternehmensleitebene (DIN IEC 60050-351:2009). Jede dieser Ebenen zeichnet sich durch funktionale und informationsbezogene Eigenschaften aus, die sich in unterschiedlichen IKT-Schnittstellen, Datenformaten und Meta-Datenmodellen niederschlagen. Nicht-funktionale Eigenschaften, zum Beispiel Echtzeitfähigkeit, Antwortzeitverhalten, Verlässlichkeit, technische Ausfallsicherheit (safety) und IKT-Sicherheit (security), aber ebenso die adäquaten Benutzerschnittstellen bestimmen weitgehend die jeweils passende IKT-Architektur. Während IKT-Standards, zum Beispiel Feldbussysteme, das Problem der horizontalen Interoperabilität von IKT-Komponenten und Systemen innerhalb einer Ebene vermindern konnten, blieb die vertikale Interoperabilität, das heißt der reibungslose Austausch von Daten und Information über Ebenengrenzen hinweg beziehungsweise der ebenenübergreifende Aufruf von Ebenenfunktionen, bislang zumeist unberück-

sichtigt. Dieser vertikale Austausch der Daten zwischen ERP-, MES- und Feldebene, siehe [34, 35], zwischen MES- und ERP-Ebene [37] sowie zwischen MES und steuerungsnahen Leitfunktionen [38] ist aber unumgänglich.

Industriestandards für Middleware in der Automatisierung (VDI/VDE 2657), zum Beispiel OPC UA (IEC 62541), helfen diese Lücke zu schließen. OPC UA ist ein Beispiel eines herstellerunabhängigen Kommunikationsstandards, der sich zur durchgängigen Vernetzung aller Produktionsebenen einsetzen lässt. Durch das integrierte komplexe Informationsmodell besteht die Möglichkeit, verschiedene Sachverhalte semantisch zu beschreiben oder auch weitere bestehende Standards mit Companion-Spezifikationen einzubinden. Ein Beispiel der Kombination von AutomationML mit OPC UA wird in [45] beschrieben.

Unter den Schlagwörtern Internet der Dinge und Internet der Dienste und Nutzung der entsprechenden Technologien ergeben sich nun neue Möglichkeiten, die einen grundlegenden Wandel im Verständnis der Leittechnik und deren ebenenübergreifender Kommunikation mit sich führen können. Diese Technologien bedeuten die konsequente Durchdringung aller Ebenen der Leittechnik mit Internet-Technologien und dazugehörigen Standards, unter anderem der Internet Engineering Task Force (IETF, <http://www.ietf.org/>), des World Wide Web Consortiums (W3C, <http://www.w3.org/>) und der Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS, <https://www.oasis-open.org/>). Dies umfasst einerseits die eingesetzten Kommuni-



kationstechnologien, zum Beispiel TCP/IP, bis auf die Ebene der einzelnen Sensoren und Aktoren, was durch die Standardisierung von IPv6 und weltweit eindeutige Bezeichner für Ressourcen, wie Uniform Resource Identifier (URI) des WWW, ermöglicht wurde. Andererseits bedeutet dies aber auch die konsequente Anwendung von Datenbeschreibungssprachen, wie die Extensible Markup Language (XML) mit ihren zahlreichen Profilen und Erweiterungen, zum Beispiel AutomationML, zur Beschreibung der Eigenschaften und Fähigkeiten von Produktionsanlagen [46] und den zugehörigen Planungsdaten. Liegen in XML oder XML-basierten Beschreibungssprachen entsprechende zeitdiskrete Abbildungen der Situation in der Produktion vor, kann beispielsweise die Web Ontology Language (OWL) zur formalen Beschreibung von Zusammenhängen oder Sachverhalten genutzt werden. Diese zusätzliche Semantik kann in Ontologien hinterlegt sein. Dadurch kann auf ontologische Konzepte von Systemen aus der Leittechnik referenziert werden (semantische Annotation), um die Bedeutung von Datenelementen und existierende Restriktionen oder Relationen zu spezifizieren.

In der Kombination dieser Internet-Technologien ergibt sich so die Definition von generischen IKT-Plattformen, die den Zugriff auf leittechnische Information ermöglichen, vermitteln und absichern, vom Sensor bis hin zum mobilen Endgerät. Leittechnik-Funktionalitäten werden dann als Dienste angeboten [47].

Durch diese technologiegetriebene Entwicklung ergeben sich folgende neue Möglichkeiten:

- **Übergreifende Leittechnik:** Bislang fachlich unterschiedliche und technisch getrennte Anwendungen, zum Beispiel aus der Produktions-, Gebäude- und Energieleittechnik, können mit einheitlichen Technologien basierend auf Leittechnik-Spezifikationen mit Hilfe verständlicher, grafischer Beschreibungsmittel [48, 49] leichter zusammengeführt werden. Dies ermöglicht beispielsweise die Steuerung der Produktionsanlagen und der Gebäudetechnik auf der Grundlage eines einheitlichen Arbeitszeitmodells, oder die Berücksichtigung von Energiepreissignalen als Optimierungskriterium der Fertigungsfeinplanung. Voraussetzung für eine solche Umsetzung in der Praxis mit vertretbarem Aufwand sind vorliegende elektronische Beschreibungen der Produktionssituation, beispielsweise in AutomationML [50] als XML-basierter Beschreibungssprache, sowie formal spezifizierte Rahmenbedingungen, zum Beispiel in OWL-Ontologien [51-53], um die bisher durch die Anwendungen getrennten Datenbestände zusammenzuführen und die vordefinierten Reaktionen der Anwendungen übergreifend zu planen.
- **Vereinheitlichung der Benutzerschnittstelle:** Aus dem Büro- und Privatbereich gewohnte Benutzerführungsparadigmen und Werkzeuge, wie Webbrowser oder mobile Endgeräte, lassen sich ein-

facher auf allen leittechnischen Ebenen einsetzen, was die Akzeptanz erhöht und den Schulungsaufwand verringert. Zudem können Innovationen in der Mensch-Maschine-Schnittstelle, zum Beispiel gestenbasierte oder blickgesteuerte Interaktion, leichter integriert werden (vergleiche Abschnitt 2.5).

## 2.4 Vom Feldbus zum ERP-System

Grundlage vieler der zuvor beschriebenen Funktionen ist die durchgängige Kommunikationsinfrastruktur. So muss die Information zwischen der Sensor- und ERP-Ebene möglichst ohne Transitsysteme, die projiziert werden müssen, in der notwendigen Qualität zur Verfügung stehen. Hierzu werden auf der physikalischen Ebene neben den etablierten Feldbussystemen zunehmend Kommunikationssysteme eingesetzt, die ihren Ursprung in der Bürokommunikation haben, wie Ethernet, WLAN, Bluetooth, NFC. Da automatisierte technische Prozesse hohe Anforderungen an den zuverlässigen Betrieb haben, sind anwendungsbezogene Dienstgüteparameter, wie das Zeitverhalten, Safety, Security und Verfügbarkeit zu garantieren. Darum wurden die Systeme aus der Bürokommunikation angepasst und führten zum Beispiel zu verschiedenen Ausprägungen eines echtzeitfähigen Ethernets. Um die Vorteile der vielfältigen physikalischen Kommunikationstechniken nutzen zu können, gleichzeitig die zuvor beschriebene Durchgängigkeit zu realisieren, ist eine gemeinsame Protokollebene notwendig. Das könnte künftig das Internet-Protokoll (IP) sein. Insbesondere IPv6 verfügt über einen hinreichend großen Adressraum, sodass selbst einzelne Sensoren mit einer global eindeutigen IP-Adresse versehen werden können.

Nach der IP-Konnektivität ist der nächste Schritt die Abstraktion von den physikalischen Kommunikationssystemen und der Übergang zu einer dienstorientierten Architektur. Eine vielversprechende Technologie hierfür ist wiederum OPC UA. Es ließ sich nachweisen, dass OPC UA eine derart hohe Skalierungsfähigkeit hat, dass es selbst auf einfachsten ressourcenbeschränkten eingebetteten Systemen eingesetzt werden kann [54, 55]. Echtzeit-Ethernetsysteme erlauben beispielsweise die gleichzeitige Nutzung von IP-Kommunikation, die für OPC UA verwendet wird. Damit lässt sich ein durchgängiger Informationsfluss vom Sensor bis in das ERP-System und das Internet bei gleichzeitig lokaler Realisierung hochdynamischer Steuerungs- oder Regelungsvorgänge realisieren (siehe Bild 2).

Im Kontext der Industrie 4.0 wird auch die Maschine-zu-Maschine-(M2M)-Kommunikation unter Nutzung des Internets eine zunehmende Bedeutung bekommen (Internet der Dinge). Die Herausforderung besteht in der adaptiven Nutzung der Übertragungsstrecke, die durch das Mobilfunknetz und das Internet gebildet wird. In [56] wurden in umfangreichen Messungen an existierenden Mobilfunktechnologien (2G/3G/4G) signifikante Verbindungsabbrüche nachgewiesen, die eine Nutzung für Anwendungen mit hohen

Zuverlässigkeitsanforderungen stark einschränken. Hier ist künftig eine engere Abstimmung der Dienstgüteparameter der jeweiligen Anwendung mit den Möglichkeiten des Providers notwendig.

## 2.5 Von Tastatur und Maus zur intuitiven Interaktion

Als Herausforderung aus den behandelten Entwicklungen tritt für die Informatik die einfache und natürliche, kurzum Mensch-zentrierte, Interaktion mit cyber-physischen Systemen in der Fabrik in den Vordergrund. Diese Interaktion umfasst

- direkte Schnittstellen, über die ein Mensch Rechner unmittelbar instruiert und
- indirekte Schnittstellen, über die ein Rechner die Aktivitäten von und die Interaktion zwischen Men-

schen beobachtet und von diesen lernt, um sie zu unterstützen.

Der Kontext menschlicher Aktivitäten wird hierbei berücksichtigt. Dazu bedarf es wahrnehmender Systeme, die menschliche Aktionen und Interaktionen erfassen und interpretieren können. Der visuelle Kanal bietet eine hohe Fülle und Dichte an Information zur Erschließung der sichtbaren Umgebung. Die visuelle Perzeption des menschlichen Handelns durch die Maschine beschäftigt sich mit dem Sehen und Verstehen dessen, wer was wo und wann tut und mit wem er auf welche Weise interagiert. Verstehen Computer Benutzerabsichten und Handlungskontexte, können sie Menschen in ihrer Arbeit unterstützen. Dieses Verständnis ist essenziell, um solche Systeme beispielsweise im Umgang mit industriellen oder humanoiden Robotern erfolgreich einsetzen zu können oder eine

## REFERENZEN

- [1] Abele, E., Reinhart, G. (Hrsg.): Zukunft der Produktion. Hanser-Verlag 2011
- [2] Bischoff, J., Barthel, H., Eisele, M.: Automobilbau mit Zukunft. LOG\_X Verlag 2007
- [3] Sauer, O., Jasperneite, J.: Informationstechnik in der Fabrik der Zukunft. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Zwf 2011[12], S. 955-962, 2011
- [4] Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie. acatech 4.0. April 2013
- [5] Wahlster, W., Raffler, H.: Forschen für die Internet-Gesellschaft: Trends, Technologien, Anwendungen. Trends und Handlungsempfehlungen 2008 des Feldafinger Kreises, 2008
- [6] Schabacker, M.: Inhalte und Auswertung der Initiative. Pressekonferenz Halbzeit der Initiative ENGINEERING produktiv!, 22. April 2008
- [7] European Commission. MANUFUTURE – a vision for 2020, Assuring the future of manufacturing in Europe, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2004 – 20 pp. ISBN 92-894-8322-9
- [8] MANUFUTURE Germany: Management Summary. Strategic Research Agenda MANUFUTURE Germany, 2006
- [9] ElMaraghy, W.H.: Manufacturing Complexity Management. 3rd International Conference on Changeable, Agile and Virtual Production (CARV 2009), Munich, Germany, October, 2009
- [10] Wiendahl, H.-P. et al.: Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation. Annals of the CIRP, Vol 56/2/2007, S. 783-809
- [11] Geisberger E., Broy, M. (Hrsg.): agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Acatech Studie. Springer-Verlag: 2012
- [12] Reisgen, U., Buchholz, G., Beckers, M., Willms, K.: Bausteine der modellbasierten Selbstoptimierung beim automatisierten MSG-Schweißen. Wirtschaftliche Fertigung durch fúgetechnische Automatisierung, Roboter, 2011. In: DVS-Berichte, Band 279 (2011), S. 40-46 Düsseldorf: DVS-Verlag 2011
- [13] Jasperneite, J., Niggemann, O.: Intelligente Assistenzsysteme zur Beherrschung der Systemkomplexität in der Automation. atp edition - Automatisierungstechnische Praxis 9/2012, Oldenbourg Verlag, München, Sep 2012
- [14] Faltinski, et.al.: Detecting Anomalous Energy Consumptions in Distributed Manufacturing Systems (in press). In: IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics INDIN, Beijing, China, 2012
- [15] Gilani, S., Windmann, S., Pethig, F., Kroll, B., Niggemann, O.: The Importance of Model-Learning for the Analysis of the Energy Consumption of Production Plant. In: 18th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2013
- [16] Niggemann, O. et al.: Learning Behavior Models for Hybrid Timed Systems. In: Twenty-Sixth Conference on Artificial Intelligence (AAAI-12). Toronto, Ontario, Canada, 2012, S. 1083-1090
- [17] Vodencarevic, A., Kleine Büning, H., Niggemann, O., Maier, A.: Identifying Behavior Models for Process Plants. In: Proc. of the 16th IEEE International Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'2011. Toulouse, France, September 2011, S. 937-944
- [18] Maier, A., Tack, T., Niggemann, O.: Visual Anomaly Detection in Production Plants. In: (To be published) 9th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO), Rome, Italy, Jul 2012
- [19] Tack, T., Maier, A., Niggemann, O.: Visuelle Anomalie-Erkennung in Produktionsanlagen. In: VDI Kongress AUTOMATION. Baden Baden, Juni 2013
- [20] Pfeifer, T., Richter, M.M. (Hrsg.): Diagnose von technischen Systemen, Grundlagen, Methoden und Perspektiven der Fehlerdiagnose. Deutscher Universitaets-Verlag, 1993
- [21] Bach, R., Niggemann, O., Winterling, P., Zeller, V.: Die Zuverlaessigkeit der Q-Faktor-Messung bei beliebigen Signalstoerungen. In: ITG Fachtagung Photonische Netze, 2003
- [22] Zhan, Y., Zeng, X., Liu, M.: Fault diagnosis of marine main engine shaft using support vector machines. pages 1 –5, apr. 2008

sichtgestützte Assistenz in sicherheitskritischen Arbeitsumgebungen anzubieten.

- Grundlegende Perzeptionskomponenten sind die
- Personenlokalisierung sowie Personenidentifikation,
  - Erfassung der Körperhaltung einschließlich Gesten sowie das
  - Nachvollziehen der visuellen Aufmerksamkeit von Personen.

Die durch die Sensorauswertung gewonnene Information wird dazu genutzt, die maschinelle Umgebung aufmerksam gegenüber den menschlichen Handlungen und Absichten zu machen, um den Personen dann bei ihrer Zusammenarbeit sowie bei der Interaktion mit dem assistierenden System selbst zu assistieren. Basierend auf Tracking- und Identifikationsergebnissen kann eine solche aufmerksame Umgebung damit personali-

sierte Arbeitsplätze genau dort anzuzeigen, wo sich die jeweiligen Benutzer befinden. Durch das Wissen, wer sich wo aufhält, ist es darüber hinaus möglich, den entsprechenden Benutzern gezielt Nachrichten an ihren aktuellen Positionen zu übermitteln, zum Beispiel an einem nahegelegenen Display.

Die vollständige Erfassung der Körperhaltung erlaubt es, Zeige- und Handgesten zu erkennen, die direkt zur Interaktion mit den angezeigten Arbeitsplätzen beziehungsweise mit den dort zu bearbeitenden Objekten genutzt werden können, zum Beispiel beim display-übergreifenden Arbeiten. Auch manuelle Montagetätigkeiten werden damit für ein System verständlich, ebenso wie eine natürliche, gestenbasierte Interaktion mit Robotern und Maschinen, beispielsweise [66, 67].

Vervollständigt wird dieses Wissen über die Beobachtung der Aufmerksamkeitszuwendung der jewei-

- [23] Z. Jiajia, P. Hongbin, H. Huixian, and L. Shasha. Electric power transformer fault diagnosis using ols based radial basis function neural network. pages 1 –4, apr. 2008
- [24] H. Li, B. Yin, N. Li, and J. Guo. Research of fault diagnosis method of analog circuit based on improved support vector machines. volume 1, pages 494 –497, may. 2010
- [25] Struss, P.: Fundamentals of Model-Based Diagnosis of Dynamic Systems. In Proceedings of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Nagoya, Japan, 1997
- [26] Frey, C.: Diagnosis and monitoring of complex industrial processes based on self-organizing maps and watershed transformations. In IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 2008
- [27] Isermann, R.: Model-based fault detection and diagnosis - status and applications. In 16th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, St. Petersburg, Russia, 2004
- [28] Christiansen, L., Fay, A., Opgenoorth, B., Neidig, J.: Improved Diagnosis by Combining Structural and Process Knowledge. IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, 16, 2011, pp. 1-8
- [29] Dvorak, D.: Process monitoring and diagnosis. IEEE Expert, 1991
- [30] Struss, P., Ertl, B.: Diagnosis of bottling plants - first success and challenges. In: 20th International Workshop on Principles of Diagnosis, 2006
- [31] Behrens, M., Provan, G., Boubekeur, M., Mady, A.: Model-Driven Diagnostics Generation for Industrial Automation. Industrial Informatics, 2009. INDIN 2009. 7th IEEE International Conference on, 2009, pp. 708 –714
- [32] Ferracuti, F., Giantomassi, A., Longhi, S.: Multi-Scale PCA based fault diagnosis on a paper mill plant. IEEE ETFA 2011
- [33] Zaied, R., Abhary, K.: A Design of an Intelligent Maintenance Integrated System into Manufacturing Systems. IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009, pp. 1-6
- [34] Bildmayer, R.: Logistischer Leitstand. In: GI Jahrestagung (2), 2007, S. 353-361
- [35] Bratukhin, A., Sauter, Th.: Bridging the gap between centralized and distributed manufacturing execution planning. In: Proceedings of: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 13.-16. September 2010, Bilbao, Spanien, 2010
- [36] Grund, M.: Hyrise: A main memory hybrid database storage engine. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Potsdam, 2012
- [37] Kletti, J.: MES-Futurologie – Die europäische Antwort auf die Globalisierung. MES Wissen Kompakt 2010, S. 10-12, 2010
- [38] Münnemann, A.: Die Schnittstelle PLS/MES – Erfahrungen und Herausforderungen. In: VDI-Berichte 2092, AUTOMATION 2010, ohne Seiten
- [39] Frey, C.: Monitoring of complex industrial processes based on self-organizing maps and watershed transformations. In: IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2012: Athens, Greece, 19-21 March, 2012 New York, NY: IEEE, 2012
- [40] Oliver Niggemann, Benno Stein, Asmir Vodencarevic, Alexander Maier, and Hans Kleine Büning. Learning behavior models for hybrid timed systems. In Twenty-Sixth Conference on Artificial Intelligence (AAAI-12), pages 1083–1090, Toronto, Ontario, Canada, 2012
- [41] Bauernhansl, Th. (Hrsg.): Virtual Fort Knox. Abschlussbericht, Stuttgart: Juni 2013
- [42] Enste, U., Mahnke, W.: OPC Unified Architecture - Die nächste Stufe der Interoperabilität. at – Automatisierungstechnik 59 (2011) 7
- [43] Faltinski, S. et.al.: Detecting anomalous energy consumptions in distributed manufacturing systems. In: 9th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2012, S. 358 – 363
- [44] Chandola, K, Banerjee, L., Kumar, M.: Anomaly Detection for Discrete Sequences: A Survey. In: IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 24 (2012), S. 823–839
- [45] Schleipen, M.: Adaptivität und semantische Interoperabilität für Manufacturing Execution Systeme (MES)“, Karlsruher Schriften zur Anthropomatik, 2012
- [46] Pfrommer, J., Schleipen, M., Beyerer, J.: Fähigkeiten adaptiver Produktionsanlagen. atp edition 55 (11), Ausgabe 11/2013, Seite 42-49

ligen Person, die dem System mitteilt, worauf sie sich konzentriert, worauf sie achtet und mit wem oder was sie interagieren möchte. Nicht nur Assistenzsysteme profitieren hiervon, weil sie damit nachvollziehen können, ob der Benutzer zum Beispiel angezeigte Meldungen oder Information bereits wahrgenommen hat; ebenso Sicherheitssysteme können davon Gebrauch machen, indem sie beobachten und reagieren können, wann Notfallmechanismen ausgelöst werden müssen, zum Beispiel weil der Benutzer sich unaufmerksam im Umgang mit einer Maschine verhält.

Aktuelle konkrete Einsatzfälle in der Fertigung sind die gestenbasierte Interaktion in der Qualitätssicherung [57], die sichere Interaktion von Menschen und Industrierobotern ohne Sicherheitskäfige oder manuelle Montagearbeitsplätze, die Montageabläufe lernen und die Mitarbeiter darin unterstützen, die Werkstücke korrekt zu fügen und die richtigen Teile zu greifen.

## 2.6 Von der digitalen Fabrik ins Laufzeitsystem

Aktuelle Entwicklungen deuten darauf hin, dass sich der Prozess der Planung und Inbetriebnahme einer Fabrik, ihrer Maschinen und Anlagen und deren Komponenten in Zukunft grundlegend verändern wird: Anlagen werden aus mechatronischen Komponenten zusammengebaut, die durch (3D-)Geometrie, Kinematik und Logik, das heißt Teilen von Steuerungsprogrammen, gebildet werden [58, 59]. Diese intelligenten Komponenten *kennen* ihre Fähigkeiten und *wissen*, in welche Anlagen sie eingebaut werden können. Gegebenenfalls ändern sie Konfigurationseinstellungen selbständig, um sich an die Fertigungsaufgabe und an die Anlage, in die sie eingebaut werden, anpassen zu können. Aktuelle Entwicklungen bei selbstkonfigurierenden Werkzeugmaschinen sind in [60, 61] beschrieben. Die dort erarbeiteten Ergebnisse befinden sich jedoch noch im

- [47] Schlütter, M., Epple, U., Edelmann, T.: Dienstesysteme für die Leittechnik — Ein Einblick. In: VDI-Berichte 2067, Automation 2009: Fit for Efficiency, Kurzfassung: S. 21-24, Langfassung auf beiliegender CD. Düsseldorf, VDI Verlag, 2009
- [48] Ricken, M., Vogel-Heuser, B.: Engineering von Manufacturing Execution Systems. In: SPS/IPC Drives Kongress, Nürnberg, 24.-26.11.2009
- [49] Ricken, M., Vogel-Heuser, B.: Modeling of Manufacturing Execution Systems: an interdisciplinary challenge. In: Proceedings of: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 13.-16. September 2010, Bilbao, Spanien, 2010
- [50] Drath, R., Lüder, A., Peschke, J., Hundt, L.: AutomationML - the glue for seamless automation engineering. In: International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), S. 616-623, 2008
- [51] Brecher, Ch. (Hrsg.): Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Springer-Verlag, 2011
- [52] ISO/TS 15926-8:2011 Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities—Part 8: Web Ontology Language (OWL) implementation, 2011
- [53] Rezk, M., Nutt, W.: Combining Production Systems and Ontologies. RR 2011, S. 287-293, 2011
- [54] Imtiaz, J., Jasperneite, J.: Scalability of OPC-UA down to the Chip Level Enables „Internet of Things“. In: 11th International IEEE Conference on Industrial Informatics 2013 Bochum, Germany, Jul 2013
- [55] its-OWL Spitzenclusterprojekt Intelligente Vernetzung, [http://www.its-owl.de/technologiecluster/projekte/QP\\_Intelligente\\_Vernetzung.php](http://www.its-owl.de/technologiecluster/projekte/QP_Intelligente_Vernetzung.php), abgerufen am 28.7.2013
- [56] Shrestha, G. M., Jasperneite, J.: Performance Evaluation of Cellular Communication Systems for M2M Communication in Smart Grid Applications. In: Computer Networks - CN2012. Szczyrk, POLAND, Jun 2012
- [57] Schick, A., Sauer, O.: Gestenbasierte Qualitätskontrolle - Intuitive Mensch-Maschine-Interaktion in der Industrie. wt online, zur Veröffentlichung eingereicht
- [58] Prinz, J., et.al: Beschreibung mechatronischer Objekte durch Merkmale. atp edition 7-8/2011, S. 62-69
- [59] Wascher, F., Kayser, K.-H., Würslin, R.: Softwareunterstützte mechatronische Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau. In: Tagungsband zum 8. Fachwissenschaftliches Kolloquium für Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung an Fachhochschulen, Göppingen 2011, Seite 121-131
- [60] Mauderer, M.: Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen am Beispiel von starren Fertigungslinien. iwv Forschungsbericht Nr. 250, München: Herbert Utz-Verlag, 2011
- [61] Kircher, Ch.: Selbstadaptierende NC-Steuerung für rekonfigurierbare Werkzeugmaschinen. Berichte aus dem Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart, Nr. 185, Heimsheim: Jost-Jetter-Verlag, 2011
- [62] Diedrich, Ch., Lüder, A., Hundt, L.: Bedeutung der Interoperabilität bei Entwurf und Nutzung von automatisierten Produktionssystemen. at - Automatisierungstechnik 59 (2011) 7, S. 426-438
- [63] John, D., Jasperneite, J.: Interoperabilität auf Feldebene. at - Automatisierungstechnik 59 (2011) 7, S. 406-411
- [64] Sauer, O.: Automated engineering of Manufacturing Execution Systems - a contribution to "adaptivity" in manufacturing companies. In: Bernard, A.: Proceedings of DET2008, 5th International Conference on Digital Enterprise Technology, Nantes, France, 22-24 October 2008, pp. 181-191. Paris: Éditions Publibook, 2010
- [65] Fraunhofer-Gesellschaft: Internet der Dienste. weiter.vorn Fraunhofer-Magazin 1.12 Beilage THESEUS. [http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/publikationen/Magazin/2012/1-2012\\_THESEUS/THESEUS.pdf](http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/publikationen/Magazin/2012/1-2012_THESEUS/THESEUS.pdf). Letzter Aufruf: 24.07.2013
- [66] Dose, S., Dillmann, R.: Eine intuitive Mensch-Maschine-Schnittstelle für die automatisierte Kleinserienmontage. In: VDI-Bericht 2171, VDI-Verlag, Düsseldorf 2012, S. 271-274
- [67] J. Krüger, T. K. Lien, A. Verl: Cooperation of human and machines in assembly lines. In: CIRP Annals Manufacturing Technology. 58 (2009), No. 2, p. 628-646

Stadium der Grundlagenforschung. Die Integration von Feldgeräten in Automatisierungssysteme über Plug-and-work wird unter anderem in [62, 63] beschrieben. Eine Selbstkonfiguration (Plug-and-work) von Anlagen und Automation verkürzt Inbetriebnahme- und Umbauphasen von Anlagen signifikant. Aufwendige manuelle Engineering-Schritte entfallen, zum Beispiel ein Umschreiben von Software. Aktuell arbeiten die Autoren im Rahmen eines Projekts daran, durchgängige und sichere Plug-and-work-Technologien, basierend auf existierenden Standards von der Feldebene bis zum MES zu entwickeln (siehe Bild 3).

Dabei ist es das Ziel, auf existierenden Standards basierende Methoden und Werkzeuge sowie Konzepte für Informations- und Softwarearchitekturen zu erarbeiten, die eine durchgängige, konsistente und gesicherte Datenverarbeitung bei Änderungen in einer der

beteiligten Hierarchieebenen der Fertigung an die anderen Teilnehmer der Fabrik ermöglichen, zum Beispiel Feldgeräte, Maschinen und Anlagen, IT-Systeme. Dazu werden Eigenschaften und Fähigkeiten direkt auf den Komponenten gespeichert. Parallel zur physischen Integration stehen sie damit über eine Schnittstelle direkt in der Steuerung zur Verfügung. Die Komponentenhersteller ermitteln vorab die hierzu benötigte Information und hinterlegen sie auf den Bauteilen. Durch die physische und informelle Integration wird eine Zeitersparnis von rund 20% bei Erstinbetriebnahme, Instandhaltungstätigkeiten und Änderungen der Produktion möglich. Noch höhere Potenziale erwarten die Autoren, wenn sich die Konfigurationsaufwendungen für überlagerte produktionsnahe IT-Systeme (MES) reduzieren lassen. Grund für diese bereits anhand von Demonstratoren nachgewiesene Abschät-

## AUTOREN

Dipl.-Ing. **CHRISTIAN FREY** (geb. 1968) leitet die Forschungsgruppe Multi-Sensorsysteme im Fraunhofer IOSB. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Entwicklung von datengetriebenen lernfähigen Methoden für die Überwachung von komplexen industriellen Produktionsprozessen.

**Fraunhofer IOSB,  
Fraunhofer Straße 1, D-76131 Karlsruhe,  
E-Mail: christian.frey@iosb.fraunhofer.de**

Dr.-Ing. **MICHAEL HEIZMANN** (geb. 1971) leitet die Abteilung Mess-, Regelungs- und Diagnosesysteme (MRD) im Fraunhofer IOSB. Sein derzeitiges Forschungsinteresse liegt in den Bereichen Mess-, Regelungs- und Automatisierungstechnik, darin besonders automatische Sichtprüfung und Bildverarbeitung sowie Bild- und Informationsfusion.

**Fraunhofer IOSB,  
Fraunhofer Straße 1, D-76131 Karlsruhe,  
E-Mail: michael.heizmann@iosb.fraunhofer.de**

Prof. Dr.-Ing. **JÜRGEN JASPERNEITE** (geb. 1964) leitet in Personalunion das Fraunhofer IOSB-INA in Lemgo und das Institut für industrielle Informationstechnik (inIT) der Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Sein derzeitiges Forschungsinteresse liegt im Bereich IKT-basierter Automatisierungstechnologien.

**Fraunhofer-Anwendungszentrum  
Industrial Automation (IOSB-INA),  
Langenbruch 6, D-32657 Lemgo,  
Tel. +49 (0) 5261 70 25 72,  
E-Mail: juergen.jasperneite@iosb-ina.fraunhofer.de**

Prof. Dr. rer.nat. **OLIVER NIGGEMANN** (geb. 1971) ist stellvertretender Leiter des Fraunhofer IOSB-INA und Professor an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Seit 2008 ist er Vorstandsmitglied des Instituts für industrielle Informationstechnik (inIT). Sein derzeitiges Forschungsinteresse liegt im Bereich der intelligenten Automationssysteme.

**Fraunhofer-Anwendungszentrum Industrial Automation (IOSB-INA),  
Langenbruch 6, D-32657 Lemgo,  
Tel. +49 (0) 5261 702 59 90,  
E-Mail: oliver.niggemann@iosb-ina.fraunhofer.de**

Dr.-Ing. **OLAF SAUER** (geb. 1963) studierte an der Universität Karlsruhe Wirtschaftsingenieurwesen. Nach beruflichen Stationen in Industrie und Beratung arbeitet er seit 2004 am Fraunhofer IOSB. Er ist Lehrbeauftragter am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Vorsitzender des Fachbereichs Informationstechnik des VDI sowie Mitglied des Vorstandes der Wirtschaftsstiftung Südwest.

**Fraunhofer IOSB,  
Fraunhofer Straße 1, D-76131 Karlsruhe,  
Tel. +49 (0) 721 609 14 77, E-Mail: olaf.sauer@iosb.fraunhofer.de**

Dr.-Ing. **MIRIAM SCHLEIPEN** (geb. 1983) arbeitet seit 2005 am Fraunhofer IOSB. Sie leitet die Gruppe Leitsysteme und Anlagenmodellierung. Ihr Hauptinteresse gilt aktuell der Adaptivität und Interoperabilität von Komponenten und Systemen in Produktion.

**Fraunhofer IOSB,  
Fraunhofer Straße 1, D-76131 Karlsruhe,  
E-Mail: miriam.schleipen@iosb.fraunhofer.de**

zung [64] ist, dass viele der Daten, die zur Konfiguration eines MES benötigt werden, in den vorgelagerten Engineering-Phasen bereits beschrieben und in eigens dafür genutzten IT-Systemen hinterlegt sind (digitale Fabrik). Dabei sind Sicherheitsmechanismen, wie Authentifizierung und Autorisierung (Rechteverwaltung), in die Architektur von CPS-Systemen von vornherein zu integrieren: Über die Werkzeuge und Entwicklungsumgebungen, die beispielsweise AutomationsML-kompatible Objekte erzeugen, ist sichergestellt, dass sensible Daten im frühestmöglichen Stadium gegen Angriffe durch Abhören und Modifikation geschützt sind. Dafür werden standardisierte Security-Mechanismen wie Verschlüsselung, Signieren von Daten sowie Authentifizieren von Datenobjekten und Steuerungskomponenten eingesetzt, damit sich nur autorisierte Komponenten in das Produktionssystem

Dr.-Ing. **THOMAS USLÄNDER** (geb. 1961) leitet die Abteilung Informationsmanagement und Leittechnik (ILT) im Fraunhofer IOSB. Sein Forschungsinteresse liegt im Bereich der Anforderungsanalyse und der Architekturkonzeption von offenen, serviceorientierten Informations-, Leit- und Testsystemen auf der Grundlage internationaler IT-Standards. Er ist Mitglied des VDI/VDE-GMA Fachausschuss 7.21 Industrie 4.0 – Begriffe, Referenzmodelle, Architekturkonzepte.

**Fraunhofer IOSB,**  
**Fraunhofer Straße 1, D-76131 Karlsruhe,**  
**E-Mail: thomas.uslaender@iosb.fraunhofer.de**

Dr.-Ing. **MICHAEL VOIT** (geb. 1979) leitet die Forschungsgruppe Perceptual User Interfaces im Fraunhofer IOSB. Die Gruppe konzentriert sich auf Maschinensehen und Situationsmodellierung, um innovative Benutzerschnittstellen und intelligente Räume zu ermöglichen.

**Fraunhofer Institut für Optronik,**  
**Systemtechnik und Bildauswertung IOSB,**  
**Fraunhofer Straße 1, D-76131 Karlsruhe,**  
**E-Mail: michael.voit@iosb.fraunhofer.de**

einklinken können. Dazu erhalten Komponenten ein Zertifikat und die Kommunikation der Konfigurationsdaten wird verschlüsselt.

## FAZIT UND FORSCHUNGSBEDARF

Neben den im Maschinenbau heute existenten Innovationskompetenzen werden in der Industrie 4.0 neue Kompetenzen in der Softwareentwicklung erforderlich, zum Beispiel das Denken in Diensten mit klar definierten technischen und organisatorischen Schnittstellen. Ziel weiterer Forschungsarbeiten muss es daher sein, Strategien und Instrumente zu entwickeln, die Hersteller von automatisierten Anlagen und Maschinen beziehungsweise Komponenten dabei unterstützen, ihre Innovationsprozesse so umzubauen, dass sie auf Software-Kompetenzen zugreifen können. Erst dann können sie – basierend auf den technischen Entwicklungen – neuartige Dienstleistungsangebote und Geschäftsmodelle im Sinne des Internets der Dienste [65] konzipieren.

Die in der Automation eingesetzten Technologien werden zunehmend durch die Möglichkeiten der Informatik und der Informations- und Kommunikationstechnologien bestimmt. Viele dieser Schlüsseltechnologien kommen aus den USA oder Asien. Für Deutschland gilt es, das Potenzial an der Schnittstelle zwischen IKT-Kompetenz und produkt- und prozessspezifischem Know-how zu heben: Ingenieure, Informatiker und Automatisierungsspezialisten müssen stärker als bisher zusammenarbeiten.

Industrie 4.0 ist ein strategisches Rahmenprogramm, um die zunehmende Informatisierung in der produzierenden Industrie zu verankern. Viele Einzeltechnologien sind schon vorhanden und müssen jetzt industrie-tauglich zusammengeführt werden – an anderen Stellen besteht noch Forschungsbedarf; wesentliche Teile davon sind bereits in den Umsetzungsempfehlungen [4] beschrieben. Gleichwohl fehlt ein nationaler Fahrplan (Roadmap), welche Fragestellungen durch welche Stakeholder in welcher Reihenfolge bearbeitet werden. Laufende, beziehungsweise anlaufende Förderprojekte müssen besser miteinander verzahnt werden, um Doppelarbeiten zu vermeiden und sicherzustellen, dass tatsächlich offene und praxisrelevante Fragen beantwortet werden. Zu definierende Kompetenzzentren würden dafür sorgen, dass sich F&E-Einrichtungen und Institute auf bestimmte Themen fokussieren, statt wie heute immer weiter zu diversifizieren. Diese Industrie 4.0-Zentren eignen sich vor allem für gemeinsame F&E-Arbeiten von Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Auch Demonstrationsanlagen wie die verteilte Demonstrationsplattform MyJoghurt, siehe <http://www.ais.mw.tum.de/de/i40-demonstrator-myjoghurt/>, bieten den Nutzen, Industrie 4.0-Technologien zu erproben und zu präsentieren.

MANUSKRIPTEINGANG  
 08.08.2013

Im Peer-Review-Verfahren begutachtet



