



**Fraunhofer** Institut  
Informations- und  
Datenverarbeitung

## **White paper**

### **Entwicklungstrends von MES-Systemen**

Karlsruhe, im Frühjahr 2009

## 1. Einleitung

Manufacturing Execution Systeme entwickeln sich zu Informations-Drehscheiben in der Fabrik. Sie unterstützen die in der VDI 5600 [1] definierten MES-Aufgaben und bilden die Schnittstelle zwischen der Fertigungsebene mit der Automatisierungstechnik und der Unternehmensleitebene mit ERP-Systemen. Sämtliche IT-Unterstützung, die für den reibungslosen Ablauf der Produktion erforderlich sind, wird auf der Fertigungsleitebene mit den Manufacturing Execution Systemen abgewickelt (Bild 1).

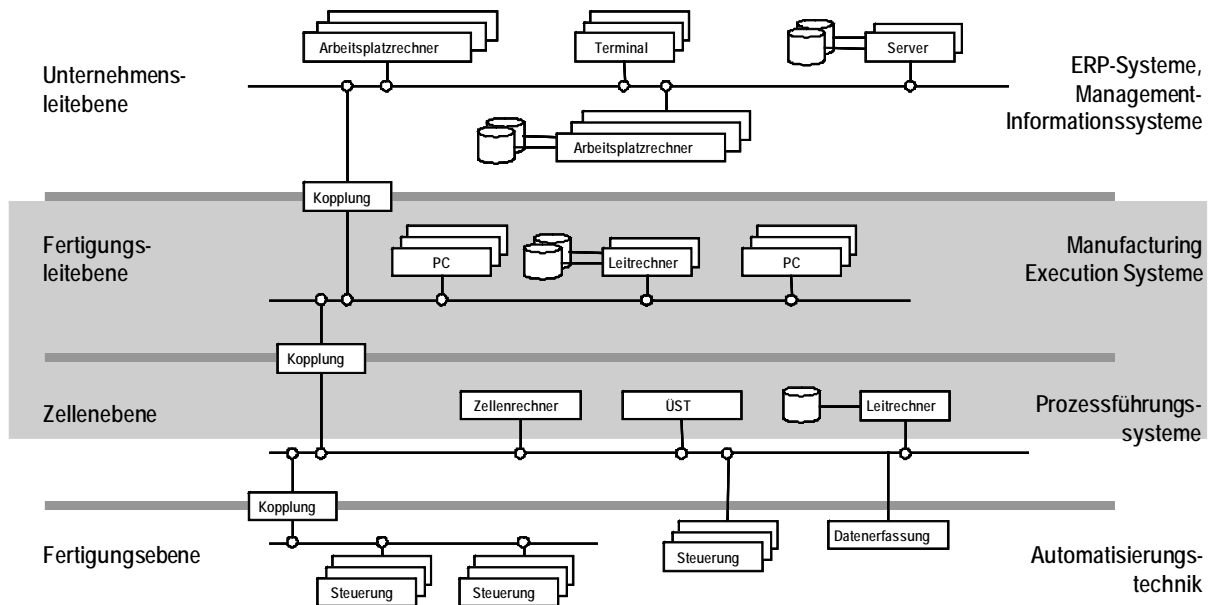


Bild 1: Einordnung von MES-Systemen (Quelle: [1, 2])

Aufgrund neuer Anforderungen an die Produktion, der Entwicklungen auf dem MES-Markt und aktueller Entwicklungsarbeiten lassen sich hypothesenartig sechs Trends ausmachen, die für MES-Systeme von morgen relevant sind. MES-Anwender und – Hersteller sollten sich bereits heute auf diese Trends einstellen.

1. MES-Systeme werden zukünftig voll an Systeme der Digitalen Fabrik angekoppelt sein. Ziel ist unter anderem die permanente Planungsbereitschaft, d.h. sobald sich Änderungen in der Produktion ergeben, werden diese in sämtlichen beteiligten Systemen nachgeführt.
2. MES-Systeme werden zukünftig durch mitlaufende Simulatoren unterstützt; der Simulator fungiert dabei quasi als Frontend zum Anwender im Sinne einer Realzeit-Simulation, so daß der Nutzer unmittelbar und effektiv auf unvorhergesehene Ereignisse in der Produktion reagieren kann.
3. MES-Systeme der Zukunft werden mit der unterlagerten Fertigungsebene vertikal integriert sein, und zwar so, daß Standard ‚plug-and-work‘-Mechanismen diese Integration unterstützen.
4. Auf der MES-Ebene werden einzelne MES-Komponenten auch unterschiedlicher Hersteller horizontal integriert sein, und zwar durch Instrumente wie Ontologien, einen Service-orientierten Aufbau und durchgängiges Datenmanagement.

5. MES-Systeme der Zukunft sind skalierbar bis hin zur Unterstützung dezentral selbstorganisierender Produktion. Betriebsdatenerfassung wird durch automatische Erfassung, z.B. durch RFID-Systeme, abgelöst.
6. Durch rollen- und aufgabenspezifische Versorgung der Anwender mit Informationen, die diese benötigen, um exakt ihre Aufgabe im Prozess zu erfüllen, sind MES-Systeme zukünftig stärker als heute humanorientiert.

## **2. Beispiele für die genannten Trends**

### **2.1 Volle Kopplung an die digitale Fabrik**

Werkzeuge der ‚Digitalen Fabrik‘ werden heute hauptsächlich zur Planung von Produktionssystemen eingesetzt [3]; den operativen Betrieb hingegen unterstützen Manufacturing Execution Systeme. Zwischen beiden Systemwelten stehen heute noch hohe Mauern, d.h. daß Daten zwischen ihnen noch nicht in dem Maß ausgetauscht werden, wie es wirtschaftlich sinnvoll wäre.

Durch das absehbare Zusammenwachsen von Planung und Betrieb ergibt sich ein Bedarf an Standardisierung, z.B. von Schnittstellen zwischen den Systemwelten. Das Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB) mit seinem Geschäftsfeld ‚Leitsysteme‘ arbeitet daran, Daten aus der Digitalen Fabrik für Manufacturing Execution Systeme nutzbar zu machen. Dazu zählt beispielsweise, daß Daten, die zur Projektierung von MES-Systemen erforderlich sind, in einem neutralen Austauschformat aus Werkzeugen der Digitalen Fabrik ausgelesen und der MES-Projektierung zur Verfügung gestellt werden. In der Digitalen Fabrik werden Anlagenstruktur, Anlagenparameter, Fertigungsabläufe und Anordnung von Anlagen gehalten. Das Engineering von MES-Systemen erfordert ebenfalls Angaben über Strukturen von Produktionsanlagen und deren Parameter, Fertigungsabläufe sowie SPS-Programme und –Variable. Zukünftig werden die in den Werkzeugen der ‚Digitalen Fabrik‘ abgelegten Informationen genutzt, um Produktionsanlagen und überlagerte IT-Systeme zu parametrieren, virtuell in Betrieb zu nehmen und virtuell zu betreiben. Die entsprechenden operativen IT-Systeme sollen möglichst schon zur Inbetriebnahme der geänderten oder neuen Produktionsanlagen voll verfügbar sein (siehe Bild 2).

Der ‚Digitale Fabrikbetrieb‘ wird so Realität. Definiert ist er bereits, und zwar in einem neuen Fachausschuss des VDI, der aktuell das zweite Blatt der VDI-Richtlinie 4499 [4] zur Digitalen Fabrik erarbeitet: „Digitaler Fabrikbetrieb bezeichnet die Nutzung von Methoden, Modellen und Werkzeugen der Digitalen Fabrik, die bei der Inbetriebnahme, dem Anlauf und der Durchführung realer Produktionsprozesse eingesetzt werden. Ziele sind die Absicherung und Verkürzung des Anlaufs sowie die kontinuierliche Verbesserung des laufenden Betriebs.

Dazu werden der strukturelle Aufbau und das zeitliche und dynamische Verhalten einzelner Produktionsanlagen und komplexer Produktionssysteme einschließlich der Informations- und Steuerungstechnik realitätsnah abgebildet. Virtuelle und reale Komponenten können dabei miteinander gekoppelt sein.

Auf Basis eines durchgängigen Datenmanagements nutzt der Digitale Fabrikbetrieb die Ergebnisse der Produktionsplanung in der Digitalen Fabrik und stellt seinerseits Daten für operative Systeme bereit. Bei der Nutzung im laufenden Betrieb werden die Modelle an die Realität angepasst.“

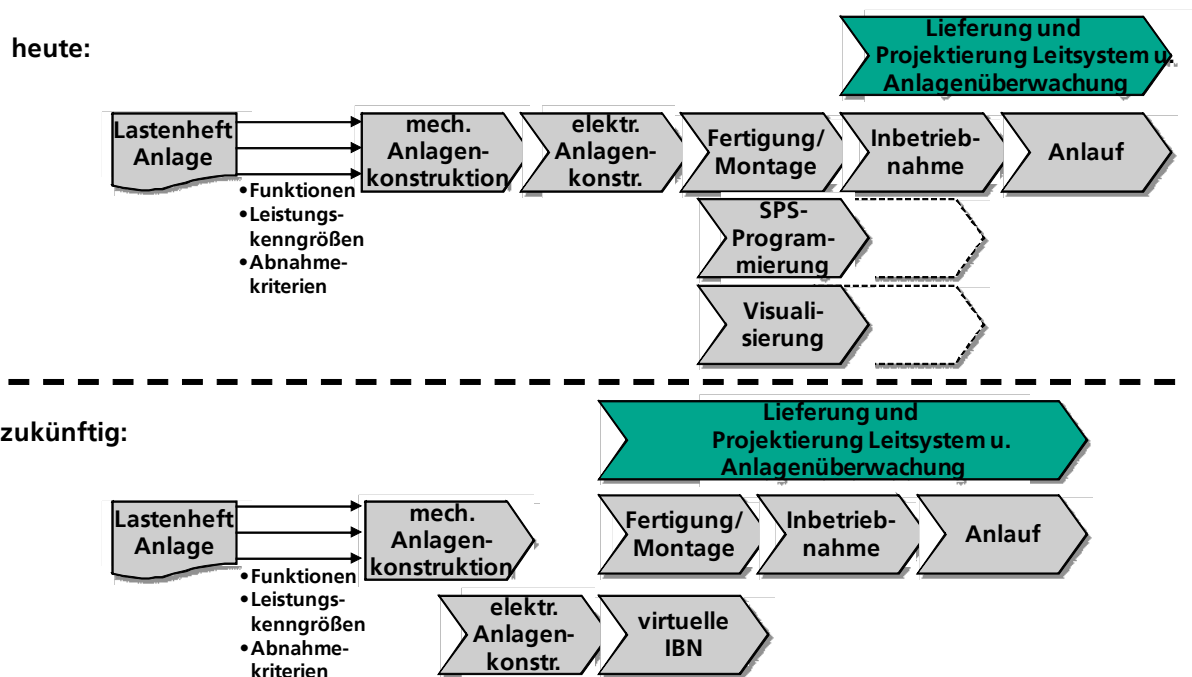


Bild 2: MES der Zukunft: frühzeitige Kopplung von Planung und Betrieb [5]

## 2.2 Simulation als Frontend im Sinne einer mitlaufenden Realzeit-Simulation

Im Zuge eines Projekts in der Automobilindustrie wurde bereits ein mitlaufender Simulator für ein Produktionsleitsystem entwickelt [6]. Sobald an einer Produktionsanlage eine Störung auftritt, prognostiziert der Simulator die zu erwartende Ausbringung und die Pufferstände in den kommenden Schichten. Für den Anwender ergibt sich der unmittelbare Nutzen dadurch, daß Auswirkungen von Störungen in komplexen Produktionssystemen sofort transparent werden; dem Anwender bleibt damit ein größerer Spielraum, um Gegenmaßnahmen einzuleiten und diese mit Hilfe des Simulators zu testen. In Bild 3 ist die Benutzeroberfläche des sog. Produktionsassistenten dargestellt. Er nutzt die Oberfläche des Laufzeitsystems und ist über Softwareagenten direkt mit dem Laufzeitsystem verbunden.

## Produktionsassistent...

- ▶ ...ist Zusatz-Funktionalität im Leitsystem
- ▶ ...simuliert die Ausbringung / Pufferstände in den kommenden Schichten
- ▶ ...ist schon heute über Agententechnologie eingebunden

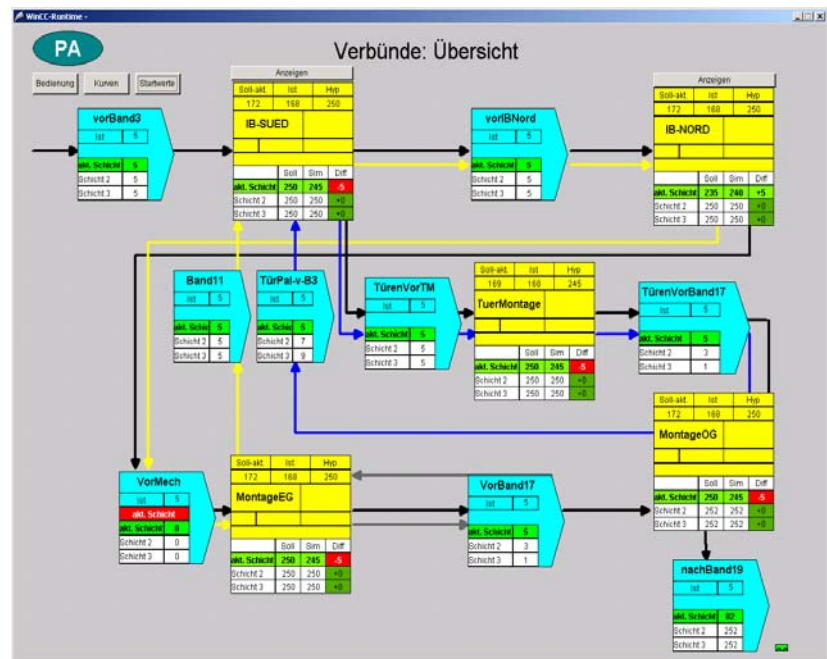


Bild 3: Simulation als Frontend von MES-Systemen am Beispiel des ‚Produktionsassistenten‘

## 2.3 Vertikale Integration mit der Fertigungsebene

Produktionssysteme werden laufend angepasst, weil sich Änderungen an den Produkten ergeben, Kapazitäten aufgrund schwankender Bedarfe neu justiert werden müssen oder rationellere Fertigungstechnologien eingesetzt werden. In der Praxis führen Änderungen an Produktionsanlagen nicht nur zum räumlichen ‚Verschieben‘ von Anlagen innerhalb eines Werkes, sondern vor allem zu Anpassungen an der steuernden Software von Maschinen und Anlagen, z.B. speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPSen), sowie an der Informationstechnik, die den unmittelbaren Anlagensteuerungen überlagert ist. CIRP, die führende internationale Organisation produktionstechnischer Wissenschaftler, bezeichnet diese Fähigkeit zur permanenten Änderung als zukünftigen strategischen Wettbewerbsvorteil von Fabriken und Produktionssystemen [7]. Unter „plug-and-work“ wird im folgenden die automatische Erkennung von Anlagen im übergeordneten MES-System verstanden.

Das Fraunhofer IITB arbeitet konkret an standardisierbaren Methoden, Softwarekomponenten und Anwendungen, mittels derer Produktionsanlagen einfach, schnell und sicher in ein Produktionssystem integriert werden können, bzw. Änderungen an Anlagen und deren Steuerungen automatisch in der überlagerten IT propagiert werden [8] (siehe Bild 4).

Dazu werden existierende Standards genutzt, und zwar zur Beschreibung der statischen Eigenschaften von Produktionsanlagen, z.B. CAEX (Computer Aided Engineering Exchange) und OPC-UA für dynamische Komponenten. CAEX wird in der Prozeßindustrie eingesetzt, um den Aufbau und die Struktur verfahrenstechnischer Anlagen zu beschreiben, OPC-UA dagegen für steuerungsrelevante Variable, deren Werte sich während der Produktion dynamisch verändern.

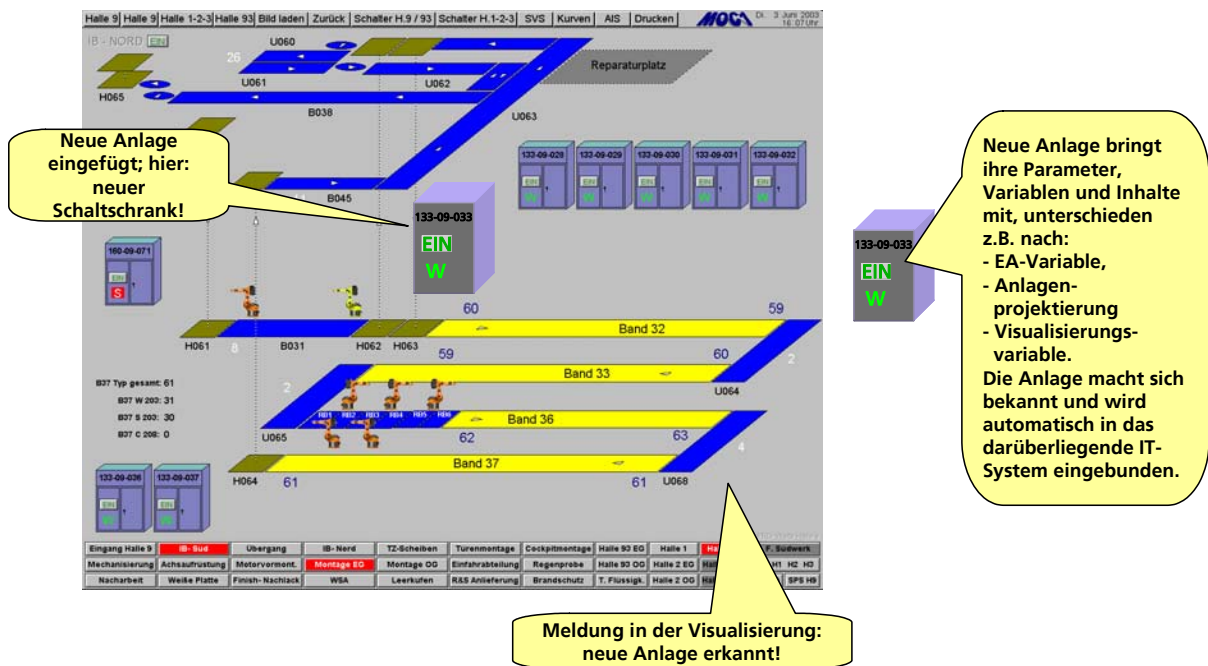


Bild 4: Plug-and-work von Produktionsanlagen am Beispiel der Visualisierung einer Anlagenüberwachung

Dabei liefern Anlagen und ihre Steuerungen Dateien, die ihre Fähigkeiten beschreiben, in CAEX nach IEC-PAS-62424 [9]. Über Transformationen werden die Dateien in projektierungs- und visualisierungsrelevante Anteile aufgeteilt und daraus entweder Prozessführungsbilder automatisch erzeugt oder die Daten in eine Datenbank eingelesen, aus der jeweils EA- und Anlagenprojektierung für das Prozessabbild des Laufzeitsystem generiert werden [10].

## 2.4 Horizontale Integration durch service-orientierten Aufbau und durchgängiges Datenmanagement

Aufgrund der arbeitsteiligen Organisation und der Charakteristik der variantenreichen Serienproduktion existieren beispielsweise in der Automobil-Industrie für die verschiedenen MES-Aufgaben eigenständige IT-Systeme. Diese Systeme arbeiten heute meist ohne Datenaustausch und Verbindung zu anderen MES-Komponenten. Ziel der Automobil-Hersteller ist es, die Einzelsysteme in den kommenden Jahren miteinander zu verbinden, um damit Synergiepotentiale auszuschöpfen (Bild 5). Damit wird es möglich, Entscheidungen, die auf der Werkstattebene getroffen werden, transparent und durchgängig zu unterstützen, z.B. im Fall einer Maschinen-/Anlagenstörung die Auswirkungen auf Just-in-sequence-Teile zu verdeutlichen.

Haupttreiber für neue, integrierte Software-Lösungen ist die steigende Anzahl neuer Fahrzeugmodelle und die kürzeren Entwicklungs-, Anlauf- und Lebenszyklen. IT-Systeme leben meist länger als die Produkte und müssen darum flexibler werden.

Allerdings ist mit den heute im Betrieb eingesetzten Software-Technologien eine wirkliche Integration vorhandener Systeme kaum machbar. Heute erfolgt die Integration meist über große Datenbanken, die ein gemeinsames Datenmodell erfordern. Speziell diejenigen Anwendungen, die Echtzeit-Datenverarbeitung erfordern, lassen sich damit aufgrund der mangelnden Performanz nicht integrieren. Die Integrationsansätze über

ein gemeinsames Datenmodell und eine Datenbank sind zu unflexibel gegenüber Änderungen oder Erweiterungen. Spätestens, wenn eine neue Anwendung eingefügt werden soll, stößt die Lösung über ein gemeinsames Datenmodell an seine Grenzen. Andererseits ist es nicht absehbar, dass es einen Lieferanten oder ein Systemhaus geben wird, das sämtliche MES-Komponenten eines Fahrzeugwerkes integriert aus einer Hand anbieten kann. Darum müssen für die Integration der MES-Komponenten zu einer durchgängigen Datenverarbeitung andere technische Lösungen gefunden werden. Softwaresysteme müssen zukünftig Mechanismen bereitstellen, die Wissen auf semantischem Niveau über die zu kommunizierenden Inhalte haben. In ProVis.Agent, dem agentenbasierten Leitsystem des IITB, ist die Struktur der zu übertragenden Informationen in einer Ontologie definiert. Außerdem enthält die Ontologie eine semantische Interpretation der syntaktischen Definitionen. Damit ist für zwei beliebige Softwaresysteme, die auf Basis der gleichen Ontologie kommunizieren, die Bedeutung der Kommunikationsinhalte eindeutig festgelegt. Dieses Konzept ermöglicht die Integration mit Fremdsystemen auf der MES-Ebene [11].

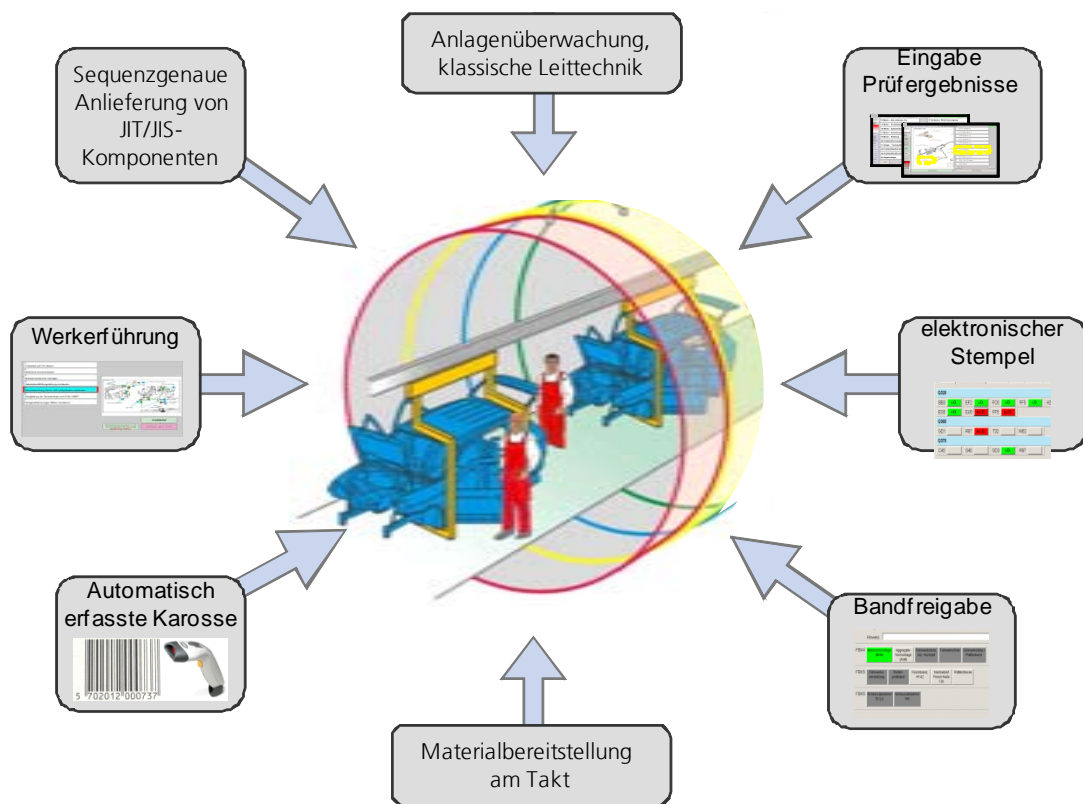


Bild 5: Kopplung produktionsnaher Anwendungen am Beispiel der Automobilindustrie [12]

Aktuell arbeitet das Fraunhofer IITB daran, an einem konkreten Beispiel in einem Automobilwerk eine Integration von Produktionsleitsystemen und Sequenzplanungssystemen zu schaffen.

## 2.5 Skalierbarkeit bis zur dezentral selbstorganisierenden Produktion

Seit geraumer Zeit steigen in der Produktion die Anforderungen durch kleinere Losgrößen, kürzere Lieferzeiten, zunehmende Variantenvielfalt bei unveränderter Forderung

nach hoher Termintreue, niedrigen Rüstkosten und niedrigen Lagerbeständen. In einem hochgradig unbeständigen Produktionsumfeld ist es müßig, einen exakten Plan zu erstellen, da selbst die nähere Zukunft in der Werkstatt nicht vorhersehbar ist. Hier bietet sich eine dezentrale Steuerungslösung an [13]. Damit kann auf unvorhersehbare Ereignisse wie Störungen oder Eilaufträge sofort reagiert werden. Hier helfen verteilte Ansätze, bei denen rein lokale Koordinationsformen zum Einsatz kommen. Dabei werden Entscheidungen nicht länger durch eine zentrale Instanz getroffen und den Aufträgen und Ressourcen „aufgezwungen“. Stattdessen werden Werkstücke, Maschinen und Materialflußsysteme zu Akteuren, bekommen selbst Entscheidungsfreiheit und die Entscheidungsgewalt, eigene Ziele zu verfolgen, so daß eine selbstorganisierende Produktion entsteht (Bild 6). Unplanbare Ereignisse wie Störungen fügen sich fast nahtlos in die autonome Entscheidungsfindung von Aufträgen und Ressourcen ein.

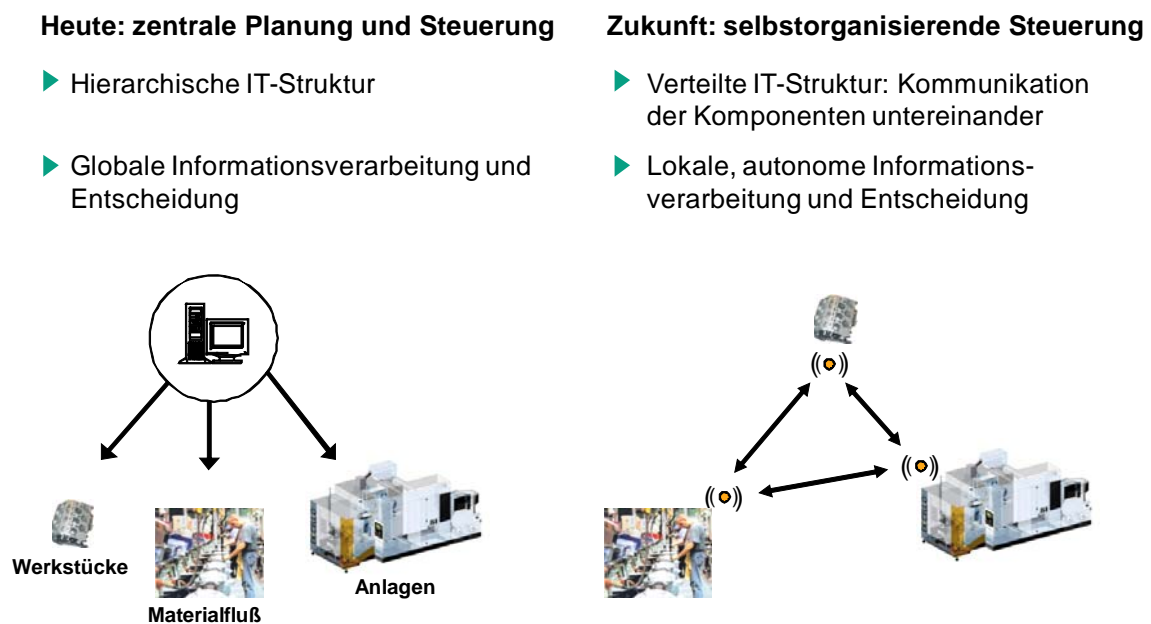


Bild 6: Prinzip der selbstorganisierenden Produktion

## 2.6 Aufgaben- und rollenspezifische Versorgung der Anwender mit Informationen

MES-Systeme der Zukunft werden Mitarbeiter mit unterschiedlichen Rollen und Interessen kontextsensitiv mit bedarfsgerechter Information unter Berücksichtigung ihrer Rolle und Authorisierung versorgt. Dies kann zentral in einer Leitwarte erfolgen (Bild 7), und zwar für unterschiedliche Rollen und Aufgaben oder dezentral über mobile Endgeräte. Smart player in Fabriken mit dezentralisierter Intelligenz assistieren Mitarbeitern und Gruppen von Mitarbeitern bei der Lösung komplexer Aufgaben, z.B. Inbetriebnahme, Störungsbeseitigung. Mittels mobiler Endgeräte, z.B. Mobiltelefon, PDA o.ä., verbinden sich Produktionsmitarbeiter, Disponenten oder Meister automatisch während ihres Aufenthaltes in der Produktion mit den Anlagen. Informationen über den Betriebszustand oder den gerade bearbeiteten Auftrag werden ihnen in geeigneter Weise aufbereitet präsentiert.





Bild 7: Leitwarte in einem Presswerk der Automobilindustrie

### 3. Fazit

Die beschriebenen Beispiele verdeutlichen, daß Manufacturing Execution Systeme zukünftig aus der Fabrik nicht mehr wegzudenken sind. Die Informationstechnik wird vielmehr zum Katalysator neuer Prozesse und Strukturen in Produktion und Logistik. Dringend benötigt werden Fachkräfte und entsprechende Studiengänge, die sowohl produktionstechnische, automatisierungstechnische und informationstechnische Inhalte vermitteln.

### 4. Literatur

- 1 VDI-Richtlinie 5600; Beuth Verlag, 2007.
- 2 Eversheim, W.; Schuh, G.: (Hrsg.): Hütte: Taschenbuch für Betriebsingenieure (Betriebshütte), Berlin: Springer 1996.
- 3 Sauer, O.: Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online, Heft 01/02, 2004, Seite 31-34.
- 4 VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1; Beuth Verlag, 2007.
- 5 Sauer, O.; Ebel, M.: Plug-and-work von Produktionsanlagen und übergeordneter Software. In: Haasis, K.; Heinzl, A.; Klumpp, D. (Hrsg.): Aktuelle Trends in der Softwareforschung, Tagungsband zum doIT-Software-Forschungstag 2007, S. 24-33.
- 6 Sutschet, G.: Störung im Griff. Ein Produktionsassistent für die Automobilfertigung. visIT 2/2001, S. 6-7.
- 7 Wiendahl, H.-P. et. al: Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation. Annals of the CIRP, Volume 56/2, 2007, pp. 783-809.
- 8 Sauer, O.; Sutschet, G.: ProVis.Agent: ein agentenorientiertes Leitsystem – erste Erfahrungen im industriellen Einsatz. VDE-Kongress 2006, Aachen: Innovations for Europe. 23.-25. Oktober 2006, Band 2: S. 297-302.
- 9 Draht, R.; Fedai, M.: CAEX - ein neutrales Datenaustauschformat für Anlagendaten - Teil 1 und 2. Automatisierungstechnische Praxis - atp Band 46 (2004) Heft 2, Seite 52-56 und Heft 3, Seite 20-27.

- 10 Sauer, O.: Digitale Fabrik und MES. IT&Production: MES Wissen Kompakt 2007, S. 18-21.
- 11 Sutschet, G.: Ontologien in der Leittechnik; visIT 2/2006, S. 8-9.
- 12 Fiebig, A.: Die Bedeutung der Leittechnik bei AUDI ausgerichtet an der Strategie 2015; in: Beyerer, J.; Sauer, O.: Tagungsband zum Karlsruher Leittechnischen Kolloquium 2006, S. 23-24.
- 13 Kresken, Th.; Baumann, M.: Selbst ist der Auftrag. ZWF Jahrg. 101 (2006) 5, S. 269-272.