

## **Informationstechnik in der Fabrik der Zukunft**

Aktuelle Rahmenbedingungen, Stand der Technik und Forschungsbedarf

Karlsruhe, im Juli 2011

**Inhalt**

<b>1 Einführung .....</b>	<b>3</b>
1.1 Informationstechnik in Produktionsunternehmen .....	3
1.2 Architekturmodell der betrieblichen Informationstechnik.....	4
<b>2 Ausgewählte Komponenten des Informationsmodells für die Fabrik der Zukunft .....</b>	<b>6</b>
2.1 Basisfunktionalitäten in der Produktion .....	6
2.1.1 MES-Funktionen .....	6
2.1.2 Selbstidentifikation, -beschreibung und -konfiguration sowie plug- and-work-Mechanismen und Funktionen zum Änderungsmanagement .....	8
2.1.3 Visualisierung, Leitwarten und Leitstände.....	11
2.1.4 Simulationen und virtuelle Inbetriebnahmen .....	12
2.1.5 Maschinen- und anlagennahes Condition Monitoring und Data Mining .....	13
2.2 Methoden und Standards .....	15
2.2.1 Kommunikationsstandards.....	15
2.2.2 Beschreibungsstandards für semantische Interoperabilität .....	16
2.2.3 Mechatronische Bibliotheken .....	16
2.3 ‚Domänen‘-unabhängige Schlüsseltechnologien.....	16
<b>3 Forschungsbedarf und Umsetzung in Science-to-business- Kooperationen .....</b>	<b>17</b>
<b>4 Literatur.....</b>	<b>18</b>

# 1 Einführung

## 1.1 Informationstechnik in Produktionsunternehmen

Informationstechnik ist eine der Schlüsseltechnologien in der Fabrik der Zukunft – im Sinne einer sog. ‚enabling technology‘.

In den grundlegenden Geschäftsprozessen eines produzierenden Unternehmens liegt die Produktion am Schnittpunkt der Prozesse „von der Produktidee zur Produktion“ und „von der Absatzplanung bis zum Service“ (Bild 1).

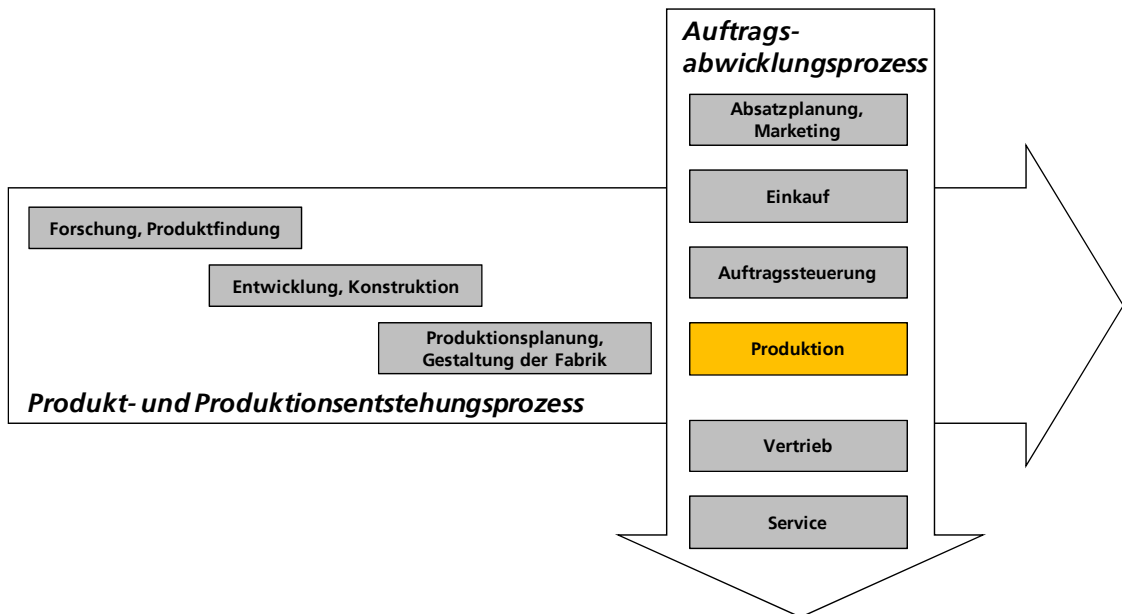


Bild 1: Die Produktion im Strahlenkreuz der Unternehmensprozesse (nach [1])

Als ‚enabling technology‘ ist die Informationstechnik für die Produktion ein Werkzeug, kein Selbstzweck. Sie muss die bekannten Ziele [2] unterstützen, z.B.

- 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 IT.

Diese Ziele sind auch als Restriktionen bei der Gestaltung von IT-Architekturen und – Systemen in Produktionsunternehmen zu verstehen. Aus diesen Restriktionen erklärt sich u.a., warum viele moderne Technologien, die sich im Konsumgütermarkt längst durchgesetzt haben, in der Produktion erst langsam Einzug halten, z.B. die Nutzung von ‚smart phones‘ oder 3D-Visualisierungen.

Neben dem bekannten Dreiklang aus Qualität, Zeit und Kosten ergeben sich neue Erfolgsfaktoren für die zukünftige Produktion [3], z.B. aufgrund von

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

Aufgrund ihrer Position am Schnittpunkt der o.g. Unternehmensprozesse ergeben sich außerdem Forderungen nach IT-Unterstützung über den kompletten Lebenszyklus von Produkt und Produktion sowie an die Integration der Produktions-IT in die Gesamt-IT-Architektur eines Unternehmens.

## 1.2 Architekturmodell der betrieblichen Informationstechnik

In der Vergangenheit haben sich verschiedene Ebenenmodelle der Architektur von Informationstechnik in produzierenden Unternehmen entwickelt; eine der bekanntesten ist die Automatisierungspyramide (Bild 2) [4]. Ihr Aufbau resultierte ehemals aus der Menge und dem Bedarf der anfallenden Informationen, sowie deren Zeitanforderungen auf den verschiedenen Ebenen, z.B. prozessorientierte Informationsverarbeitung in Echtzeit auf der Fertigungsebene, Batch-orientierte oder benutzerorientierte Informationsverarbeitung auf der Unternehmensleitebene. Aufgrund der zunehmenden Durchdringung mit Informationstechnik auf allen Hierarchieebenen der Fabrik kristallisiert sich heute heraus, dass die Informationsströme über alle Ebenen der Fabrik zunehmen und sich damit die Notwendigkeit eines neuen ‚Referenzmodells der industriellen Informationsarchitektur‘ [5] ergibt, das die drei Dimensionen vertikaler und horizontaler Integration sowie die Integration über den Lebenszyklus von Produktionsanlagen abbilden muss.

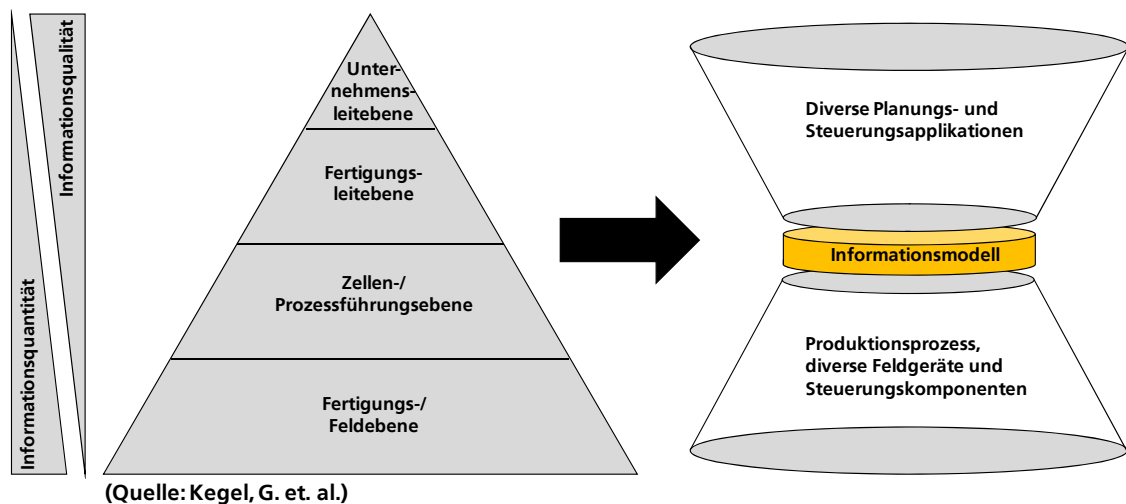


Bild 2: Veränderung der Informationsarchitektur in Produktionsunternehmen (siehe [6]).

Beispielsweise ist in Bezug auf die Befähigung von produktionsnahen IT-Systemen zur durchgängigen Kommunikation in den drei genannten Dimensionen ihre systematische Verknüpfung mit Systemen der Digitalen Fabrik (Dimension Lebenszyklus) und der Automatisierungstechnik auf der Feldebene (Dimension vertikale Integration) erforderlich, und

zwar zwingend unter Nutzung ebenenübergreifender Syntax und Semantik. Auch andere Autoren fordern diese Durchgängigkeit, z.B. beim Engineering von Manufacturing Execution Systemen [7].

Bislang ist das in Bild 2 angedeutete Informationsmodell nicht durchgängig beschrieben. Im folgenden machen wir den Versuch, einige Komponenten dieses Modells beispielhaft zu erläutern. Benötigt werden dafür unterschiedliche Bausteine, die in Bild 3 in den folgenden drei Blöcken zusammengefasst sind:

- Basisfunktionalitäten in der Produktion,
- Methoden und Standards,
- ‚Domänen‘-unabhängige Schlüsseltechnologien.

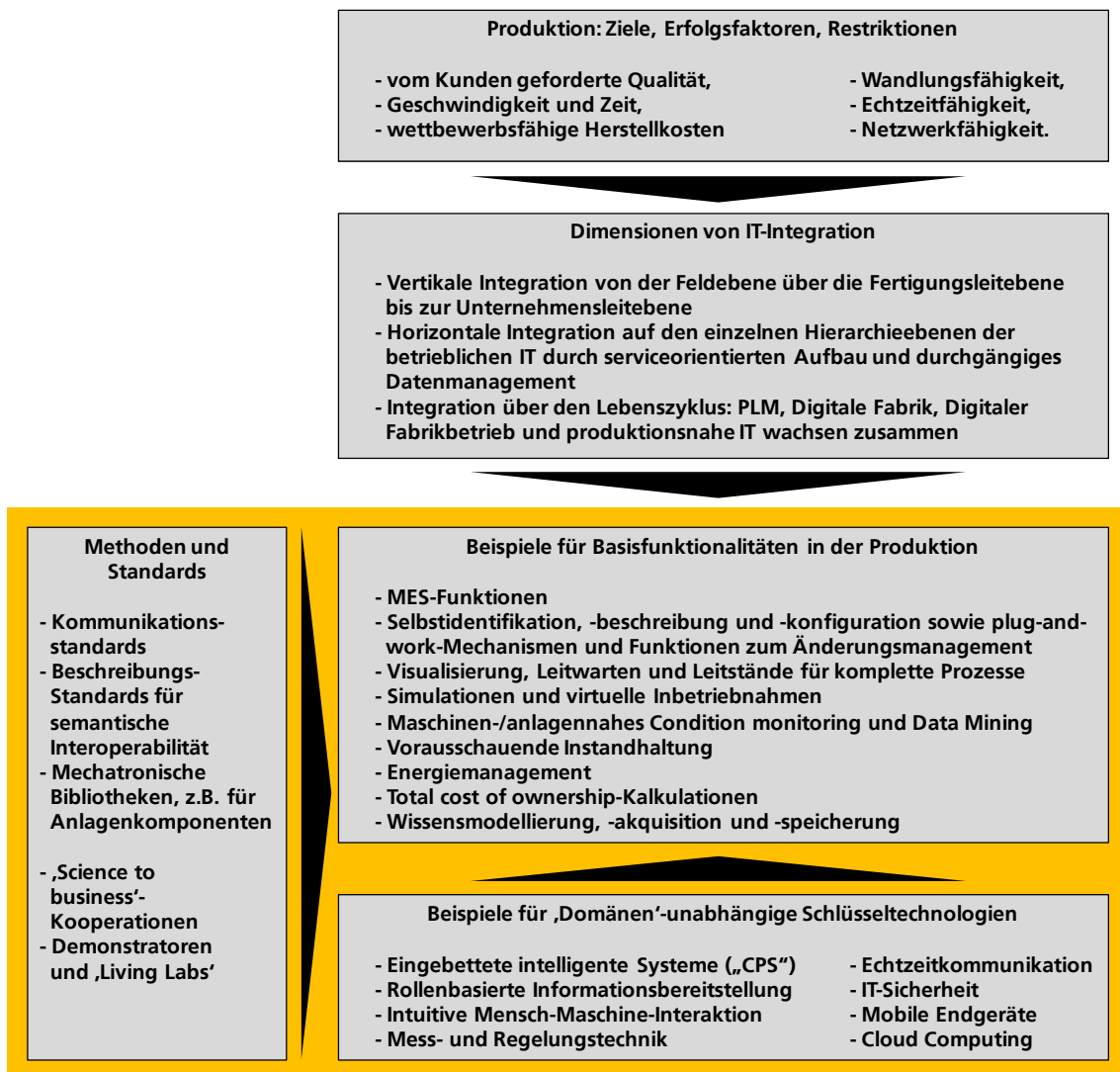


Bild 3: Mögliche Komponenten des Informationsmodells

## **2 Ausgewählte Komponenten des Informationsmodells für die Fabrik der Zukunft**

### **2.1 Basisfunktionalitäten in der Produktion**

#### **2.1.1 MES-Funktionen**

##### **Aktueller Stand**

Im Jahr 2007 veröffentlichte der VDI die Richtlinie 5600 zu ‚Manufacturing Execution Systems‘ [8], im folgenden kurz als MES bezeichnet. Die dort beschriebenen MES-Aufgaben und die Bedeutung von MES für Unternehmensprozesse sind naturgemäß allgemein gehalten. Zur vertikalen, horizontalen und Integration über den Lebenszyklus ist in diesem Werk keine Aussage gemacht.

Im Nachgang zur VDI 5600 haben weitere Arbeitsgruppen des VDI Richtlinienblätter zur VDI 5600 erarbeitet, und zwar

- zur Entwicklung von Kennzahlen, mit denen die Wirtschaftlichkeit einer Investition in MES ermittelt werden kann (VDI 5600, Blatt 2),
- zur Standardisierung einer Schnittstelle zwischen Anlagensteuerungen und MES (VDI 5600, Blatt 3),
- zum Zusammenhang zwischen Unternehmensstrategien und MES (VDI 5600, Blatt 4).

Darüber hinaus existieren diverse Standardisierungs- und Normungsaktivitäten im Umfeld der fertigungsnahen Informationstechnik:

- MESA: Manufacturing Enterprise Solution Association, die im Jahr 2000 eine eigene, pragmatisch orientierte Definition von MES-Funktionalitäten vorgelegt hat [9],
- NAMUR: die Interessengemeinschaft ‚Automatisierungstechnik der Prozessindustrie‘ hat im Jahr 2003 eine auf die chemische Industrie ausgerichtete Empfehlung zu MES erarbeitet [10],
- ISA: Die International Society of Automation hat mit der ‚ISA-95‘ einen internationalen Standard zur Integration von Unternehmens- und Steuerungssystemen entwickelt. Unter Nutzung diverser UML- und Datenmodellen sollen MES-Anwender und -Anbieter Informationen zwischen unterschiedlichen Systemen austauschen können [11].
- VDMA: Im Oktober 2009 veröffentlichte der VDMA mit der Technischen Regel VDMA 66412-1 ein Werk über Kennzahlen, die mit MES-Systemen berechnet werden können [12].
- ZVEI: Eine MES-Arbeitsgruppe des ZVEI spiegelt die verfügbaren MES-Lösungen an der VDI 5600 sowie der ISA-95 und beschreibt anhand charakteristischer Einsatzfelder aus verschiedenen Branchen der produzierenden Industrie den MES-

Einsatz und dessen Nutzen. Auch der MES-Einsatz in der Großserienfertigung ist dort kurz erwähnt [13].

- Zusätzlich hat das Institut für Wirtschaftsinformatik der Universität St. Gallen im Jahr 2009 eine Studie unter einigen deutschen Automobilherstellern durchgeführt mit dem Ziel, eine MES-Referenzarchitektur zu entwickeln [14].

Bis auf das Blatt 3 der VDI 5600 [15] (s.o.) machen diese Standards keine Aussagen zur vertikalen, horizontalen und Integration über den Lebenszyklus von MES und ihre Rolle für die Informationstechnik der Fabrik der Zukunft. Das Blatt 3 fokussiert sich auf die vertikale Integration zwischen Anlagensteuerungen und MES: „MES-Systeme sind zwingend auf die Kopplung mit den Maschinen und Anlagen in der Fertigung und Montage angewiesen. Ohne diese Kopplung sind die MES-spezifischen Aufgaben nicht oder nur unzureichend auszuführen. Aufgrund der Heterogenität des Maschinenparks in der produzierenden Industrie ist diese Kopplung zwischen Maschinen und MES-Systemen in nahezu jedem Anwendungsfall unterschiedlich und darum für MES-Lieferanten, Systemintegratoren oder Anlagenbetreiber mit manuellem Aufwand verbunden. Dabei reicht es nicht aus, lediglich Daten zu kommunizieren und den Kommunikationskanal zu beschreiben. Die Motivation dieses Blattes liegt darin, den o.g. Anwendergruppen eine Möglichkeit an die Hand zu geben, die auszutauschenden Dateninhalte zwischen Maschinen und MES zu standardisieren und damit den manuellen Aufwand zur Definition der auszutauschenden Daten zu reduzieren.“

### **Forschungsbedarf aus Sicht des IOSB**

MES-Anbieter sollten ihre Systeme in Richtung der angrenzenden IT-Systeme, z.B. Digitale Fabrik-Tools, Tools der Automatisierungsebene, für die Fabrik der Zukunft erweitern. MES spielen eine weitergehende Rolle als lediglich Funktionalitäten zum Fertigungsmanagement zur Verfügung zu stellen. Als Informationsdrehscheibe in der Fabrik müssen MES über folgende neue Funktionen verfügen:

- Online-Kopplung an die Digitale Fabrik, Datenübernahme und permanenter Abgleich mit den Planungsdaten, um in Echtzeit auf Änderungen reagieren zu können,
- Online-Kopplung an die Automatisierungsebene, um die durchgängige vertikale Integration zu erzielen; dafür sind beispielsweise gemeinsame Modelle von Anlagen auf Basis mechatronischer Bibliotheken erforderlich,
- Konsistenter Datenaustausch mit anderen Anwendungen auf der MES-Ebene, z.B. Logistikanwendungen, im Sinne einer durchgängigen horizontalen Integration,
- Übergreifende Auswertungen von MES-Datenbeständen mit Hilfe von Data Mining -Verfahren, um die Produktion im Sinne eines selbstoptimierenden Systems zu realisieren [16, S. 65], z.B. indem das MES Zusammenhänge zwischen Qualitätsdaten und Prozessparametern verfolgt und ggfs. Prozessparameter regelt.

- Suche von zusammenhängenden Daten in unterschiedlichen, meist proprietären, MES- oder Fabrik-Datenbeständen, so dass beispielsweise Informationen zu einem Sachverhalt verknüpft werden können.

### **2.1.2 Selbstidentifikation, -beschreibung und -konfiguration sowie plug-and-work-Mechanismen und Funktionen zum Änderungsmanagement**

#### **Zukunftsszenario**

Tim Baumeister ist Produktionsleiter in einem großen Industrieunternehmen. Dort werden alle Produktionsanlagen seit längerem mindestens so lange genutzt, bis sie buchhalterisch abgeschrieben sind. Tim Baumeister erinnert sich noch an die Zeit, als für ein neues Produkt eine komplette Halle "ausgeräumt" wurde, die neuen Anlagen für eine neue Produktgeneration eingerichtet und so der Produktionsanlauf bis zur letzten Minute termin- und qualitätsanforderungskonform optimiert wurde. Dass heute ältere Anlagen problemlos wiederverwendet werden, verdankt das Unternehmen einer von Tims innovativen Ideen: er hatte vor einigen Jahren den Einfall, dass die Materialien der Produkte Informationen über ihren Fertigungs- und Montageprozess enthalten, mit dem die Anlagen "gefüttert" werden können, so dass sie sich selbst für ein neues Produkt oder bei einer Produktänderung konfigurieren können. Seitdem können die Anlagen für ein umfangreicheres Produktspektrum genutzt werden.

Das "Wissen" der Anlagen über ihren Zustand und ihr Fertigungsvermögen nutzt Tims Unternehmen auch für seine produktionsnahen IT-Systeme: Neue Anlagen oder Anlagenkomponenten verfügen über eine universelle Schnittstelle, über die sie ihre Gerätebeschreibung an die angeschlossenen IT-Systeme übermitteln, die sich daraufhin selbst konfigurieren. Der "Änderungsmanager" der Schnittstelle informiert die IT-Systeme, auch wenn bestehende Anlagen für die Fertigung neuer Produkte angepasst werden: Wenn neue Produkte über eine bestehende Anlage laufen, informiert die Anlagensteuerung die überlagerten IT-Systeme über Änderungen an den laufenden Programmen.

Als junger Ingenieur hatte Tim noch selbst die Steuerungen konfigurieren müssen und die daraus exportierten Konfigurationsdateien in ein überlagertes Monitoring-System eingeben.

#### **Aktueller Stand**

Die strategische Forschungsagenda 'MANUFUTURE' [17] propagiert die Vision der flexiblen, adaptiven Produktion. Ein dabei adressiertes Thema ist die automatische Erkennung von Änderungen in der Fabrik, deren Verwaltung und Umsetzung. Zur wandlungsfähigen Software in der Fabrik der Zukunft sind allerdings weitere Mechanismen erforderlich, um die im folgenden beschriebenen Fälle durchgängig abzubilden:

- In den beteiligten Planungssystemen (Mechanik, Elektrik, SPS-Programmierung) werden Änderungen eingefügt, die möglichst automatisch und konsistent in die Feld- und MES-Ebene weiter geleitet werden müssen.
- Ein neues vernetzbares Feldgerät, z.B. ein Antrieb, mit einer neuen Firmware-Version wird in das Produktionssystem eingebracht. Das neue Gerät muss automatisch Netz-



werkkonnektivität erhalten und in sämtlichen angeschlossenen Teilsystemen bekannt gemacht werden. Die beteiligten Systeme müssen entsprechend aktualisiert werden.

- Ein unkonfiguriertes Feldgerät wird in das Produktionssystem eingebracht, z.B. in dem Fall, dass es aufgrund eines Fehlers des alten Geräts schnell ausgetauscht werden muss. Das Feldgerät muss nun aufgrund der in den Softwarekomponenten befindlichen Informationen individualisiert und parametrisiert werden.
- Eine Produktionsanlage wird umgebaut oder modifiziert, weil eine neue Produktvariante gefertigt werden soll. Die Steuerungs-/Software-relevanten Änderungen sind zu detektieren und automatisch an alle beteiligten Systeme zu propagieren.
- Nach Umbau einer Anlage sollen Softwarekomponenten zur Prozesssteuerung unter Einhaltung bestimmter Kriterien, z.B. Ausbringung, Verfügbarkeit, zwischen den dezentralen Steuerungen verschiebbar sein.
- Eine (neue) MES-Funktionalität wird eingefügt oder geändert, z.B. die Visualisierung eines bis dahin nicht benötigten Sachverhaltes. Die Visualisierung soll automatisch erstellt werden, der Zugriff auf die benötigten Informationen aus der Feldebene soll ebenfalls automatisch erfolgen.

Beispiel für ein Projekt zur Selbstkonfiguration ist das BMBF-Forschungsprojekt ProduFlexil [18]. Ziel von ProduFlexil war es, die flexible Anbindung von Anlagenmodulen durch Adaptivität und Selbstkonfiguration der Anlagensoftware zu unterstützen. Die Ergebnisse von ProduFlexil nutzt das IOSB in einem aktuellen Eigenforschungsprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft; hier wurde eine patentierte Methode entwickelt, Produktionsanlagen automatisch anhand einer USB-ähnlichen Schnittstelle mit einem überlagerten Leitsystem zu verbinden [19, 20]. In einer Weiterführung des Projekts können nun Daten aus der Planungsphase der Produktion automatisch übernommen und mit Hilfe von Änderungsmanagern über den Lebenszyklus der Produktion teilweise aktualisiert werden [21].

Im Projekt IDA hat das IOSB die (teil-)automatisierte Bereitstellung von sichtenbasierten Prozessführungsbildern aus bereits vorhandenen Informationen entwickelt: vor der Nutzung eines Leitsystems im realen Betrieb muss dieses projektiert werden. Der Projektierer erhält seine Informationen - wie Hallenlayout oder Signallisten - aus den verschiedenen Planungsphasen und verarbeitet diese größtenteils manuell. Das Projekt IDA hat das Ziel, den Engineeringprozess effizienter zu gestalten und die Prozesse während des darauffolgenden Betriebs zu vereinfachen und zu verbessern [22].

Das IOSB hat hier umfangreiche Vorarbeiten geleistet, die in [23] beschrieben sind. Sie müssen nun auf eine breitere Basis gestellt und in die Industrie transferiert werden.

### **Neue Herausforderung: Wiederverwendung von Produkten, Anlagen und IT-Systemen**

Für einen kompletten Karosseriebau investieren Automobilhersteller zwischen 250 und 350 Mio. Euro. Aktuell verlagert beispielsweise die Daimler AG rd. 80% der Produktionsanlagen dieses Gewerks vom Werk „Sindelfingen“ (C-, E- und S-Klasse) ins neue ungarische Werk Kecskemét. Dort werden die Anlagen so umgebaut, dass die Nachfolgetypen der A- und B-Klasse gefertigt werden können. Die Anlagen werden zwar wiederverwen-

det, müssen sich aber mit einer neuen IT-Infrastruktur ‚unterhalten‘. Obwohl neue IT-Systeme eingesetzt werden, macht die Anbindung von Altanlagen erhebliche Schwierigkeiten. Für die neue C-Klasse, die schwerpunktmäßig in den Werken Bremen und East London (Südafrika) gefertigt wird, werden die bestehenden Produktionsanlagen der Werke umgebaut. Auch für diese Baureihe wurden bereits Altanlagen der vorhergehenden Baureihe so genutzt, dass inzwischen teilweise 10-15 Jahre alte Anlagen verwendet werden. Mechanisch ist dies kein Problem, bezogen auf die Steuerungssoftware und die überlagerte IT-Technik sehr wohl. Einige der Anlagen nutzen Steuerungen, mit denen sich heute kein Instandhalter mehr auskennt oder deren Softwarelieferant bereits vom Markt verschwunden ist.

**Forschungsbedarf aus Sicht des IOSB**

Ausgehend von den neuen Herausforderungen und den geleisteten Arbeiten gehen die Vorstellungen des IOSB in folgende Richtung:

Produkte, Produktionsanlagen und –prozesse, deren Steuerungen und überlagerte Anwendungen sind heute mit IT durchzogen - allerdings entwickeln sie sich unabhängig voneinander (siehe Bild 4) - insofern benötigt die produzierende Industrie für morgen und übermorgen Methoden, Werkzeuge und Softwarekomponenten zur Synchronisierung dieser drei essentiellen Bereiche von Produktionsunternehmen und der sie unterstützenden IT-Systeme PLM, Digitale Fabrik und MES.

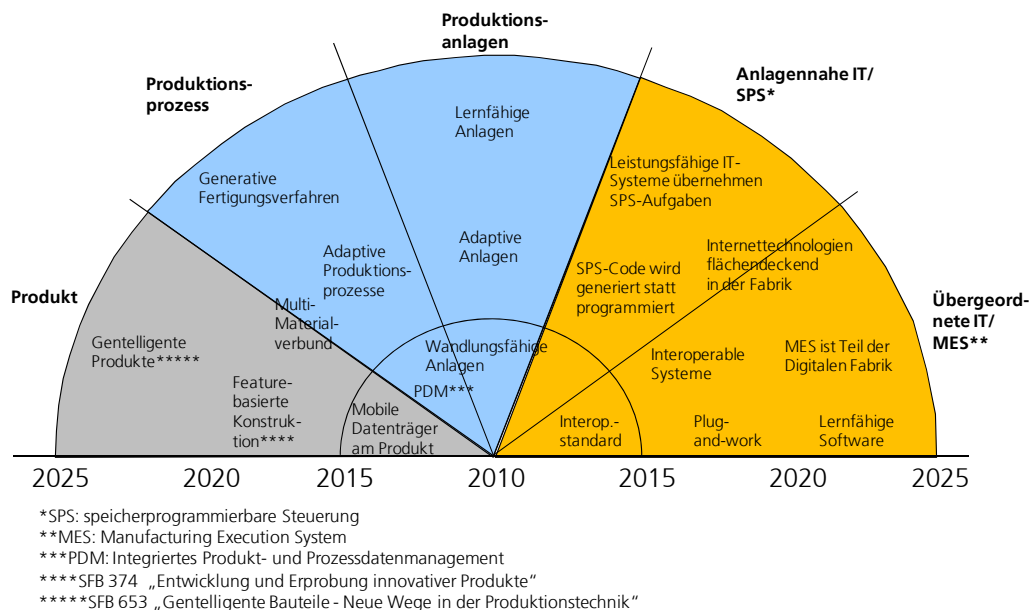


Bild 4: Trendradar für Produkte, Produktion und produktionsnahe Informationstechnik

So werden bereits heute im Rahmen des SFB 653 »Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus« an der Universität Hannover Methoden und Werkzeuge entwickelt, um Produkten die Weitergabe von Informationen über sich selbst bzw. ihre Fertigungsprozesse an Produktionsanlagen zu ermöglichen. Basierend auf den bauteilinhärenten Informationen sollen Fertigungs- und Montageprozesse geplant und überwacht werden und die Produktion in Echtzeit geplant und gesteuert werden [24].

Das Forschungsprojekt »Fabriklebenszyklusmanagement« im Rahmen des Innovationsclusters »Digitale Produktion« am Fraunhofer IPA bzw. IFF der Universität Stuttgart erforscht die Grundlagen zum Lebenszyklusmanagement von Fabriken. Ziel ist es die Harmonisierung der Repräsentation interdisziplinärer Modelle entlang der Wertschöpfungskette und den Lebensphasen zu erreichen. Diese wurden in einem offenen informationstechnischen Modell für ein Fabriklebenszyklusmanagement (das sogenannte integrierte Fabrikmodell) im GEMLab des Fraunhofer IPA realisiert [25]. Das integrierte Fabrikmodell ist ein modulares und skalierbares Informationsmodell zur übergreifenden Verwaltung und Integration domänenspezifischer Partialmodelle. Es dient als Grundlage der Kopplung fachspezifischer Partialmodelle.

Erste Modelle zum Lebenszyklus-Management in der Automation sind bekannt [26], es fehlen aber heute noch Mechanismen, nach denen Austausch- oder neue Geräte automatisch und ohne Engineering-Aufwand in eine Anlage eingefügt werden können.

### **2.1.3 Visualisierung, Leitwarten und Leitstände**

#### **Aktueller Stand**

Visualisierung bezeichnet zunächst nichts anderes als die Benutzeroberfläche einer IT-Anwendung, z.B. eines Systems zur Fertigungssteuerung, eines Leitsystems zur Bedienung und Beobachtung von Produktionsanlagen oder eines PLM-Systems zur Verwaltung von Produkt- und Planungsdaten. Bisher unterstützen also einzelne IT-Systeme einzelne Schritte eines Unternehmensprozesses. Inzwischen und vielmehr noch in Zukunft müssen IT-Systeme vollständige Geschäftsprozesse abbilden und damit auch deren Visualisierungen mehr zeigen als einzelne Ausschnitte von Geschäftsprozessen [2, S. 145f].

Das IOSB hat auch hierzu Referenzen [27], z.B. aus einem Projekt in einem Presswerk eines Automobilherstellers (Bild 5). Dort sind verschiedene IT-Anwendungen unter einer Benutzeroberfläche zusammengefasst, so dass die Anwender die Fabrik auf einen Blick sehen können und verstehen, wie sich ihre Handlungen auf den Produktionsprozess auswirken [28]. Aktuelle weitere Anfragen aus der Industrie bestätigen die Notwendigkeit, sich von den Einzelsystemen zu lösen und in Echtzeit komplexe Informationen übersichtlich zusammenzufassen.

Auch neuartige Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion sind dabei zu berücksichtigen: statt klassischer Eingabemittel wie Maus und Tastatur sind neue Mittel wie Touch-Screens [29] oder Gestensteuerungen [30] für die Fabrik der Zukunft zur Industriereife zu entwickeln. Neue Interaktionstechniken zählen aus Sicht des IOSB zu den domänenunabhängigen Schlüsseltechnologien (siehe Abschnitt 2.3).

#### **Forschungsbedarf aus Sicht des IOSB**

Bislang erfolgt die Integration verschiedener IT-Systeme unter einer einheitlichen Oberfläche manuell als Ingenieurleistung. Offene Schnittstellen, Datenaustauschformate oder weitergehende Mechanismen semantischer Interoperabilität sind erforderlich, um die manuellen Aufwände zu reduzieren und damit übergreifenden Leitwarten zur weiteren Verbreitung zu verhelfen.

Damit nicht jeder Nutzer in einer Leitwarte mit allen Informationen der einzelnen Systeme ‚überschüttet‘ wird, müssen die Informationen rollenbasiert und verteilt bereitgestellt werden können. Jeder Nutzer erhält dann die Informationen, die er benötigt, um seine Aufgabe vollständig erfüllen zu können. Weiteren Bedarf sehen wir darin, dass jede Fachdisziplin mit der ihr zugeordneten Rolle ihre eigene Sicht erzeugen kann, die jedoch konsistent zu denjenigen der anderen Disziplinen visualisiert und verändert werden kann.



Bild 5: Leitwarte in einem Presswerk – Systemübergreifende Visualisierung des kompletten Produktionsprozesses

#### **2.1.4 Simulationen und virtuelle Inbetriebnahmen**

##### **Aktueller Stand**

Der Fokus liegt hier auf der Virtuellen Inbetriebnahme von Softwaresystemen im Sinne eines Hardware- bzw. Software-in-the-loop. Die Virtuelle Inbetriebnahme ist heute vor allem aus der vorgezogenen Inbetriebnahme von Produktionsanlagen bekannt [31].

Bei der virtuellen Inbetriebnahme von Produktionsanlagen werden wesentliche Teile der Anlage virtuell evaluiert, und zwar konkret das Zusammenwirken aus mechanischem Anlagendesign mit der Kinematik der Anlage und der Logik des Steuerungsprogramms. Dadurch verringert sich der Test- und Anpassungsaufwand während der realen Inbetriebnahme deutlich, da bereits entsprechende Tests während der virtuellen Inbetriebnahme durchgeführt und aufgedeckte Fehler korrigiert wurden. Zusätzlich wird daran gearbeitet, Informationen aus dem Digitalen Fabrikbetrieb für MES zu nutzen: Daten, die zur Projektierung operativer IT-Systeme, z.B. zur Anlagenüberwachung, erforderlich sind, können in einem neutralen Austauschformat aus verschiedenen Planungs- und Entwicklungssystemen ausgelesen und der Projektierung der überlagerten Systeme weitestgehend systemunabhängig zur Verfügung gestellt werden (siehe Bild 6). Grundsätzlich muss ein Fabrikbetrieb, der im Rechner abgebildet, verifiziert und verbessert wird, die Anforderung erfüllen, den realen Betrieb einer Fabrik so realistisch wie möglich abzubilden, vor allem bezüg-

lich seines Zeitverhaltens. Damit werden beispielsweise an den Digitalen Fabrikbetrieb Echtzeitanforderungen gestellt, wie sie im realen Betrieb auftreten [32].

Die den Anlagen überlagerte Informationstechnik kann zur Evaluierung und Verbesserung der Modelle einzelner und verketteter Anlagen schon während der virtuellen Inbetriebnahme von Anlagen genutzt werden. Aktuell wird dabei darauf abgezielt, die überlagerte Informationstechnik mit Modellen in Betrieb zu nehmen, ebenso ist es dann möglich, die Modelle mit den Informationen aus der überlagerten Informationstechnik anzureichern und zu verbessern [32].

### Forschungsbedarf aus Sicht des IOSB

Bislang sind Digitale Fabrik und Produktion weitgehend voneinander getrennt. Forschungsbedarf besteht darin, ihre Kopplung z.B. durch ein durchgängiges Datenmanagement voranzutreiben und zwar in beiden in Bild 6 skizzierten Richtungen, indem

- Daten aus der Planung in operative IT-Systeme übernommen und permanent miteinander abgeglichen werden und
- realer Produktionsdaten für neue Planungsprojekte genutzt werden, so dass die Planer nicht mit ‚Daumenwerten‘, sondern mit tatsächlichen Vorgaben arbeiten können.

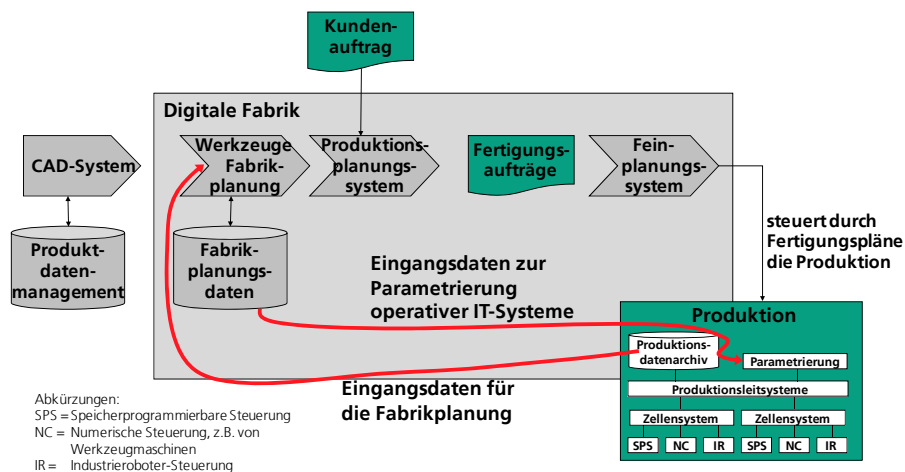


Bild 6: Kopplung Produktion und Digitale Fabrik [32]

Dazu sind offene Schnittstellen der ‚Toolhersteller‘ und Standards zum Datenaustausch erforderlich, an denen zwar bereits gearbeitet wird, deren aktive Verbreitung allerdings dringend beschleunigt werden muss. Dabei müssen Simulation und Optimierung weiter verknüpft werden [33], mit dem Ziel, mit dem Geschehen in der Produktion mitlaufende Simulatoren zu erhalten, die bei unvorhergesehenen Ereignissen die Nutzer direkt auf die Auswirkungen der Störungen hinweisen und Handlungsoptionen bewerten.

### 2.1.5 Maschinen- und anlagennahes Condition Monitoring und Data Mining

In den Datenbeständen produktionsnaher IT-Systeme aus dem Betrieb von Anlagen liegen Schätze, die noch gehoben werden können – um damit Einsparungs- oder Verbesserungspotentiale auszuschöpfen:

Mit der zunehmenden Komplexität moderner Produktionsanlagen wächst auch der Bedarf nach einer automatischen Erkennung von Anomalien, von Verschleiß und von Anlagenfehlern. Klassische Methoden hierfür sind vor allem heuristische Ansätze wie Entscheidungsbäume, Fuzzy-Ansätze oder Neuronale Netze. Diese Ansätze modellieren Regeln, die von beobachteten Symptomen auf Fehlerursachen schließen.

Um eine hohe Anlagenauslastung und kurze Wartungszeiträume zu erreichen, sollten Verschleißerscheinungen möglichst früh erkannt werden. Heutige, auf Schwellwerten basierende Verfahren, können dies oft nicht leisten. Bediener erkennen dadurch schleichende, auf zukünftige Probleme hindeutende Verhaltensveränderungen oft erst zu spät; dies führt zu hohen Wartungskosten und längeren Ausfallzeiten. Hier sind adaptive Methoden erforderlich.

Desweiteren breiten sich in den heutigen verteilten und vernetzten Anlagen Fehler aus. Ein Fehler verursacht unterschiedliche Symptome an unterschiedlichen Stellen in den Anlagen. Solche Symptom→Ursache Beziehungen sind aber für eine geschlossene Modellierung mittels heuristischer Ansätze zu umfangreich und zu komplex.

Als Ausweg bieten sich modellbasierte Ansätze an: Anstelle der direkten Modellierung der Symptom→Ursache Beziehung verwenden modellbasierte Ansätze ein Modell des Anlagen-Normalverhaltens. Durch einen Vergleich des Modells des Anlagen-Normalverhaltens mit den Beobachtungen des laufenden Systems lassen sich nun Anomalien erkennen — ohne dass eine explizite, oft sehr schwierige Modellierung der Symptom→Ursache notwendig ist. Dies ist auch in Bild 7 zu sehen: durch den Vergleich der Messungen im Betrieb mit den Vorhersagen eines Systemmodells werden Anomalien erkannt. Dies Systemmodell definiert das Normalverhalten der Anlage und kann das Systemverhalten mittels Simulation vorhersagen. Anschließend wird das Modell verwendet, um von den Anomalien auf die Ursachen zu schließen.

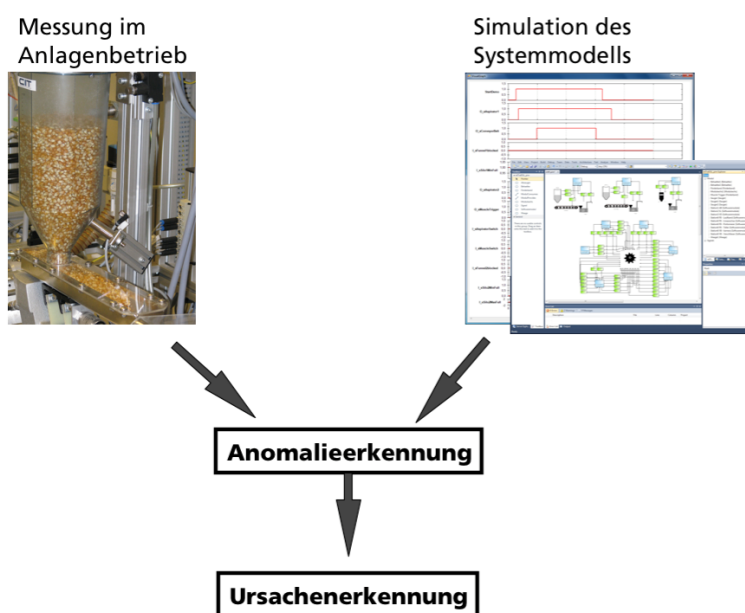


Bild 7: Erkennen von Anomalien durch Vergleich von Messung und Modell

## **Forschungsbedarf aus Sicht des IOSB**

- Modellbasierte Methoden existieren seit ca. 20 Jahren. Auffallend ist, dass aktuelle Lösungen sich entweder auf zeit- und wertkontinuierliche Systeme, wie sie für die Verfahrenstechnik typisch sind, konzentrieren oder auf zeit- und wertdiskrete Systeme, z.B. auf Systeme aus der Fertigungstechnik. Im ersten Fall kommen Modellformalismen wie selbstorganisierende Karten, Differentialgleichungen oder Zeitreihenanalyse zum Einsatz; im zweiten Fall werden oft Automaten oder Logik als Modellformalismen verwendet.

Leider lassen sich heute Produktionsanlagen weder dem ersten noch dem zweiten Fall zuordnen: Fertigungsanlagen verwenden viele kontinuierlichen Variablen, z.B. zur Energieoptimierung oder zur Verschleißerkennung. Verfahrenstechnische Systeme werden durch eine hohe Anzahl diskreter Signale gesteuert, z.B. zum Schalten von Ventilen oder Pumpen. Systeme, die sowohl kontinuierliche als auch diskrete Signale verwenden, werden als hybride Systeme bezeichnet. Hierdurch entsteht der Bedarf nach Modellformalismen, die zur Erkennung von Anomalien, von Verschleiß und von Anlagenfehlern für solche hybride Systeme geeignet sind.

- Leider ist der Ansatz der modellbasierten Diagnose in der Praxis oft nicht einsetzbar. Zum einen liegen entsprechende Modelle in der Regel nicht vor, da die Modellerstellung aufwendig bzw. eine ausreichend genaue Modellbildung oft nicht möglich ist. Hier bietet sich ein innovativer Ansatz an: Modelle werden im Normalbetrieb automatisch von der Automatisierungslösung erlernt. Hierdurch entfällt die manuelle Modellerstellung. Hierzu wird auf Ansätze aus der Künstlichen Intelligenz und der Regelungstechnik zurückgegriffen.
- Ein wichtiger, heute zumeist unbeachteter Aspekt, ist der Faktor Zeit: Anlagen weisen oft Fehler oder schlechte Arbeitspunkte auf, die sich durch ein verändertes, suboptimales Zeitverhalten äußern. Hier fehlen Modellierungsformalismen und Diagnosealgorithmen, die Zeit modellieren und als Grundlage der Diagnose verwenden.

## **2.2 Methoden und Standards**

### **2.2.1 Kommunikationsstandards**

Damit der oben vielfach geforderte durchgängige Datenaustausch funktioniert, werden Standards zur sicheren Kommunikation in der Fabrik benötigt.

Als Mitglied der OPC-Foundation setzt das IOSB auf OPC-UA als akzeptierter und in der Verbreitung befindlicher Kommunikationsstandard in Produktionsunternehmen. Die Nutzung des Funktionsumfangs von OPC UA ist skalierbar. OPC UA kann sowohl auf kleinen eingebetteten Geräten mit stark limitierten Ressourcen als auch auf sehr leistungsstarken Umgebungen wie Mainframes angewendet werden [34]. Aktuell befindet sich OPC-UA in der internationalen Standardisierung als IEC 62541.

### 2.2.2 Beschreibungsstandards für semantische Interoperabilität

Diverse Standardisierungsgremien befassen sich mit durchgängigem Datenaustausch in der Produktion, z.B. die VDI-Fachausschüsse „Digitaler Fabrikbetrieb [31]“ und „MES-Maschinenschnittstellen“ [15] oder „Durchgängiges Engineering von Leitsystemen (VDI-GMA FA 6.12)“. Mit AutomationML™ arbeitet ein industriegetriebenes Konsortium daran, für das Engineering von Produktionsanlagen einen Standard der Standards zu entwickeln, mit dem der o.g. geforderte durchgängige Datenaustausch über den Lebenszyklus unabhängig von Softwarewerkzeugen möglich ist [35].

Trotz des in [36] beschriebenen Fortschritts bezüglich semantischer Interoperabilität sind noch diverse Forschungsarbeiten zu leisten, um zu dem Informationsmodell aus Bild 2 mit der Vision der automatischen Benachrichtigung und Aktualisierung aller beteiligten Systeme bei gleichzeitig konsistenter Datenhaltung in der Fabrik der Zukunft zu kommen.

### 2.2.3 Mechatronische Bibliotheken

Mechatronische Elemente sind die Komponenten von Produktionsanlagen; damit enthalten sie die Grundinformationen über die Geometrie, die Kinematik sowie die Logik der Anlage.

Soll die Anlage als virtuelles Modell abgebildet werden, erfordert dies das Vorhandensein elektronischer Daten über die jeweiligen Komponenten, z.B. als CAD-Zeichnung, Verdrahtungsplan, SPS-Code, Datenblätter, etc. [31]. Um eine interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Anlagenentwicklung und –inbetriebnahme zu ermöglichen, ist eine ganzheitliche, mechatronische Sicht auf Daten von Produkten, Prozessen und Ressourcen entlang des gesamten Lebenszyklus der Fertigungsanlage (Bild 8) Voraussetzung. Über das Datenmanagement werden alle relevanten Daten und Modelle zugänglich gemacht. Für die verwendeten Planungs- und Entwicklungssysteme sind Datenstandards und standardisierte Schnittstellen zu der mechatronischen Bibliothek sowie zu vor- und nachgelagerten IT-Systemen erforderlich. Eine Aufgabe des Datenmanagements ist das Änderungsmanagement, sodass mehrere Anwender parallel an einem Modell arbeiten können (Multi-User-Management). Neue Projekte werden aus Standardkomponenten und Regeln aufgebaut, die in der mechatronischen Bibliothek abgelegt sind. Der Inhalt dieser Bibliothek wächst mit jedem Projekt um neu erstellte Komponenten.

Da jede mechatronische Komponente Software-relevante Anteile in Form von eingebetteten Systemen oder Steuerungscode enthält, stellen sich auch hier Fragen der Interoperabilität und des durchgängigen Datenmanagement für den späteren Betrieb der Anlage in der Produktion.

## 2.3 ‚Domänen‘-unabhängige Schlüsseltechnologien

Damit das Informationsmodell entwickelt werden kann, werden Schlüsseltechnologien benötigt, die teilweise bereits für andere Anwendungsfelder (‘Domänen’) entwickelt wurden, die aber noch an die Spezifika der Produktion angepasst werden müssen. Die in Bild 3 aufgeführten Schlüsseltechnologien sind Beispiele dafür.



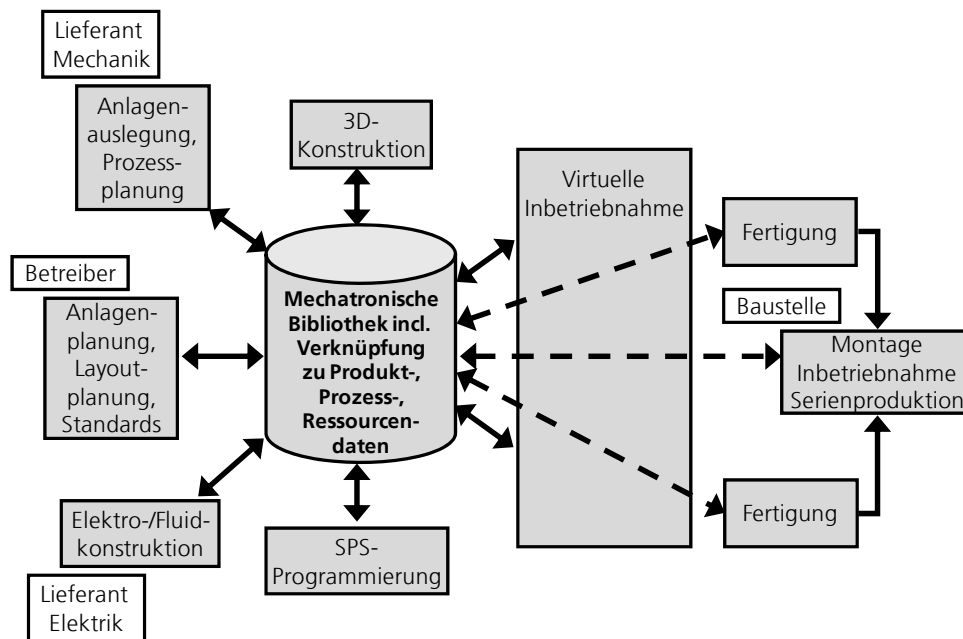


Bild 8: Mechatronische Bibliothek [VDI 4499, Blatt 2] als Basis der Beschreibung von Produktionsanlagen und deren Komponenten

### 3 Forschungsbedarf und Umsetzung in Science-to-business-Kooperationen

Informationstechnik befähigt moderne Produktionsunternehmen dazu, sich entsprechend der Marktanforderungen zu wandeln, im Netzwerk zu arbeiten und in Echtzeit Informationen auszutauschen. Die Integration vorhandener und neuer IT-Systeme spielt dabei eine immer bedeutendere Rolle, um Geschäftsprozesse durchgängig zu unterstützen. Basis dieser Integration sind Mechanismen zur Interoperabilität, die für die Fabrik der Zukunft entwickelt, erprobt und bereitgestellt werden müssen.

Die Forderung nach Interoperabilität und Wandlungsfähigkeit betrifft alle Ebenen der Fabrik – vom Sensor auf der Fertigungsebene über die Visualisierung einer Fertigung auf der Fertigungsleitebene bis zur Berechnung von Kennzahlen auf der Unternehmensleitebene. Heute existieren auf jeder Ebene diverse heterogene Softwaresysteme mit meist proprietären Schnittstellen, die bei jeder Änderung angepasst oder umprogrammiert werden müssen. Denjenigen IT-Systemen, die den operativen Betrieb einer Fabrik steuern und überwachen, sind IT-Systeme der Digitalen Fabrik vorgelagert, in denen die Planungsdaten einer Fabrik abgelegt und verwaltet werden. Änderungen werden oftmals hier eingefügt und dann manuell in die reale Welt eingebracht.

Die schnelle Anpassung produktionsnaher Informationstechnik an Änderungen, die in der Fabrikplanung oder unmittelbar in der Fabrik erfolgen, wird bislang in Forschungsprojekten nicht systematisch untersucht. Ziel weiterer Forschungsarbeiten muss es sein, Methoden und Werkzeuge sowie Konzepte für Informations- und Softwarearchitekturen zu entwickeln, die eine durchgängige und konsistente Datenweitergabe bei Änderungen in einer der beteiligten Hierarchieebenen der Fertigung an die anderen Teilnehmer der Fabrik, z.B. Feldgeräte, Anlagen, IT-Systeme, ermöglicht (Bild 9).

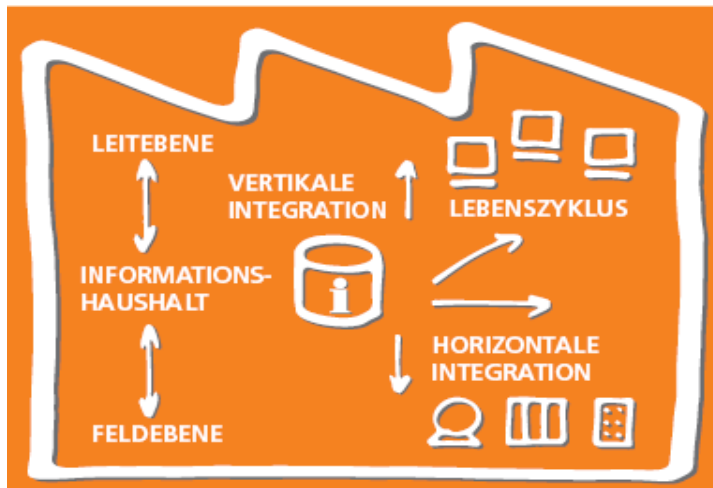


Bild 9: Der ‚verständliche‘ Informationshaushalt als intelligente Drehscheibe in der Fabrik  
Internationale Veröffentlichungen belegen, dass durchgängige, auf offenen Standards basierenden Informationstechnik eine Schlüsselrolle für die Fabrik der Zukunft spielt [37, 38].

Insgesamt kann die Informationstechnik für die Fabrik der Zukunft nicht mehr allein von einem Institut oder einem Unternehmen allein entwickelt werden, vor allem wenn es sich um offene statt um proprietäre Lösungen handelt. Partner aus Forschung und Industrie müssen gemeinsam Innovationen entwickeln und erproben. Um das bekannte ‚Valley of death‘ neuer Technologien [39] zu überwinden, sind Kooperationen zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Form von Science-to-business-Einrichtungen zu schaffen und die Ergebnisse in Living Labs verständlich zu präsentieren.

#### 4 Literatur

- [1] VDI 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik. Beuth-Verlag, 2008.
- [2] Abele, E.; Reinhart, G. (Hrsg.): Zukunft der Produktion. Hanser-Verlag, München 2011.
- [3] Bischoff, J.; Barthel, H.; Eisele, M.: Automobilbau mit Zukunft. LOG\_X Verlag, Stuttgart 2007.
- [4] Polke, M.: Prozessleittechnik. Oldenbourg-Verlag, München 1994.
- [5] Vogel-Heuser, B.; Kegel, G.; Bender, K.; Wucherer, K.: Global information architecture for industrial automation. atp 1-2.2009, S. 108-115.
- [6] Kegel, G.: Neue Informationsarchitektur in der industriellen Automatisierung. In: Sauer, O.; Beyerer, J. (Hrsg.): Karlsruher Leittechnisches Kolloquium 2010, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 3-15.
- [7] Ricken, M.; Vogel-Heuser, B.: Integriertes Engineering von Manufacturing Execution Systems. In: Tagungsband SPS/IPC/DRIVES, Nürnberg, 2009. S.321-330.
- [8] VDI-Richtlinie 5600, Blatt 1: Manufacturing Execution Systems – Fertigungsmanagementsysteme. Beuth-Verlag: 2007.
- [9] MESA Controls definition & MES to control data flow possibilities. Manufacturing Enterprise Solution Association (MESA), Pittsburgh 2000.
- [10] NAMUR Arbeitsblatt NA 094 MES: Funktionen und Lösungsbeispiele der Betriebsleitebene. NAMUR, 2003.
- [11] Für Details siehe <http://www.isa-95.com>.
- [12] VDMA 66412-1:2009-10: Manufacturing Execution Systems (MES) Kennzahlen. Berlin: Beuth-Verlag, 2009.

- [13] o.V.: Manufacturing Execution Systems (MES) – Branchenspezifische Anforderungen und herstellernerneutrale Beschreibung von Lösungen. Frankfurt: ZVEI, Juni 2010.
- [14] Schmidt, A.; Otto, B.; Kussmaul, A.: Integrated Manufacturing Execution – Architecture, costs and benefit. Unveröffentlichte Studie BE HSG/CC CDQ2/17, St. Gallen: 2009.
- [15] VDI 5600, Blatt 3: Fertigungsmanagementsysteme (MES): Logische Schnittstelle zur Maschinen- und Anlagensteuerung. Berlin: Beuth-Verlag 2011.
- [16] Brecher, Ch.; Kozielski, S.; Schapp, L.: Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer. In: Gausemeier, J.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Heidelberg: Springer 2011, S. 47-70.
- [17] Jovane, F.; Westkämper, E.; Williams, D.: The ManuFuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-adding-value Manufacturing. Berlin: Springer 2009.
- [18] Ebel, M.; Okon, M.; Baumann, M.: "ProduFlexil": Flexible Produktion mit SOA-Architektur und Plug-and-Work-Mechanismus. In: Tagungsband zum Stuttgarter Softwaretechnik Forum (Science meets business), S.65-74, 20.-23. November 2007.
- [19] Bär, T.; Mandel, S.; Sauer, O.; Ebel, M.: Durchgängiges Datenmanagement durch plug-and-work zur virtuellen Linienbetriebnahme. In: Sauer, O.; Sutschet, G.: Karlsruher Leittechnisches Kolloquium 2008, Fraunhofer IRB Verlag, S. 105-121.
- [20] Sauer, O.: Automated engineering of Manufacturing Execution Systems – a contribution to ‚adaptivity‘ in manufacturing companies. Proceedings of DET2008, 5th International Conference on Digital Enterprise Technology, Nantes, France, 22-24 October 2008.
- [21] Schleipen, M.; Sauer, O.; Fuskova, L.: Logical interface between MES and machine - semantic integration by means of ontologies. In Proceedings of: CIRP ICME '10 - 7th CIRP International Conference on INTELLIGENT COMPUTATION IN MANUFACTURING ENGINEERING. Innovative and Cognitive Production Technology and Systems. 23 - 25 June 2010, Capri (Gulf of Naples), Italy.
- [22] Schleipen, M.; Okon, M.; Enzmann, T.; Wei, J.: IDA – Interoperable, semantische Datenfusion zur automatisierten Bereitstellung von sichtenbasierten Prozessführungsbildern. In: VDI-Berichte 2143, CD zum GMA-Kongress 2011, Düsseldorf: VDI-Verlag 2011.
- [23] Sauer, O.; Jasperneite, J.: Wandlungsfähige Informationstechnik in der Fabrik. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb ZWF 09/2010. S. 819-824.
- [24] van Thiel, B.; Frädrich, T.; Nyhuis, P.: Maintenance driven by component status. In: Life cycle engineering in the sustainability age 2009, Proceedings of the LCE 2009, S. 472-477.
- [25] Constantinescu, C.; Eichelberger, H.; Westkämper, E.: Durchgängige und integrierte Fabrik- und Prozessplanung: Grid Engineering for Manufacturing. wt Werkstattstechnik online, 99 (2009), Nr. 3, S. 92-98.
- [26] Life-Cycle-Management für Produkte und Systeme der Automation. Ein Leitfaden des Arbeitskreises Systemaspekte im ZVEI Fachverband Automation. Frankfurt, Oktober 2010.
- [27] Steusloff, H.: Automatisierung – Informationstechnik und Mensch. In: Geisler, J.; Beyerer, J.: Mensch-Maschine-Systeme. Karlsruher Schriften zur Anthropomatik Band 3. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2010, S. 38-57.
- [28] Sauer, O.; Sutschet, G.: Die Fabrik auf einen Blick – Integration von IT-Systemen in einer neuen Leitweise. In: OEM und Lieferant, 01/2011, VEK Verlag Elisabeth Klock, S. 36-37.
- [29] Schwarz, T. et.al.: Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k)ein Platz für Innovationen? – Neue Interaktionsformen für den Leitstand der Zukunft. In: VDI-Berichte 2143, CD zum GMA-Kongress 2011, Düsseldorf: VDI-Verlag 2011.
- [30] o.V.: Intuitiv interagiert: "Smart Control Room" revolutioniert Leitstellenarbeit. In: Protector, München Band 38 (2010) Heft 7/8, Seite 20-21.
- [31] VDI 4499, Blatt 2: Digitale Fabrik - Digitaler Fabrikbetrieb. Berlin: Beuth-Verlag 2011.
- [32] Sauer, O.; Schleipen, M.; Ammermann, Ch.: Digitaler Fabrikbetrieb. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2010: S. 559-566.
- [33] März, L. et.al. (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Berlin: Springer-Verlag 2011.

- [34] Enste, U.; Mahnke, W.: OPC Unified Architecture - Die nächste Stufe der Interoperabilität. at – Automatisierungstechnik 59 (2011) 7.
- [35] Drath, R. (Hrsg.): Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML. Berlin: Springer Verlag, 2010.
- [36] Schleipen, M.; Münnemann, A.; Sauer, O.: Interoperabilität von Manufacturing Execution Systems (MES). at – Automatisierungstechnik 59 (2011) 7, S. 413-424.
- [37] IMS2020: Roadmap on sustainable manufacturing – supporting global research for IMS 2020 vision.
- [38] The CEN ORCHID Roadmap – Standardizing Information in the plant engineering supply chain.
- [39] European Commission: Key Enabling Technologies – Final report of a High-Level Expert Group. June 2011.