

# *SmartFactory*<sup>KL</sup> Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen

Whitepaper SF-1.1: 04/2016

---

*smartFactory*<sup>KL</sup><sup>®</sup>

# Inhaltsverzeichnis

## Abstract

Dieses Whitepaper beschreibt eine Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen in der diskreten, lose verketteten Fließfertigung. Die Systemarchitektur dient als ein Lösungsmuster für die Konzeption moderner Produktionsanlagen, die sich durch mechatronische Wandelbarkeit, individualisierte Massenproduktion und inner- sowie überbetriebliche Vernetzung auszeichnen. Ergänzt wird die Systemarchitektur durch einen Satz herstellerübergreifender Spezifikationen zu mechanischen, elektromechanischen und informationstechnischen Aspekten, die am Beispiel der Pilotanlage der **SmartFactory<sup>KL</sup>** entwickelt, angewendet und demonstriert wurden. Die Systemarchitektur wird abschließend in das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Plattform Industrie 4.0 eingeordnet.

## Keywords

Mechatronische Wandelbarkeit, Individualisierte Massenproduktion, Inner- und überbetriebliche Vernetzung

## Autoren

Dr. Dominic Gorecky (Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V)  
Stephan Weyer (Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V)

## Co-Autoren

Dr. Markus Köster (Weidmüller Interface GmbH & Co. KG)  
Dr. Siegfried Florek (IBM Deutschland GmbH)  
Dr. Detlef Richter (TÜV Süd AG)  
Dr. Pedro Reboredo (Bosch Rexroth AG)  
Dr. Thomas Paral (TE Connectivity Ltd.)  
Eugen Schibli (Mettler-Toledo AG)  
Thilo Espenberger (Festo Didactic SE)

<b>1. Einführung</b>	<b>4</b>
<b>2. Anforderungen an die Systemarchitektur</b>	<b>6</b>
<b>3. Konzeption der Systemarchitektur</b>	<b>9</b>
3.1. Produkt .....	10
3.2. Produktionsschicht .....	10
3.3. Versorgungsschicht .....	11
3.4. Integrationsschicht .....	12
3.5. IT- Systemschicht .....	13
<b>4. Instanziierung der Systemarchitektur</b>	<b>14</b>
4.1. Produkt.....	14
4.2. Produktionsschicht .....	15
4.3. Versorgungsschicht .....	18
4.4. Integrationsschicht .....	20
4.5. IT-Systemschicht .....	22
<b>5. Einordnung der Systemarchitektur in RAMI 4.0</b>	<b>23</b>
5.1. RAMI 4.0 Hierarchiestufen.....	23
5.2. RAMI 4.0 Schichten .....	24
5.3. RAMI 4.0 Verwaltungsschale .....	25
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>26</b>
6.1. Zusammenfassung .....	26
6.2. Ausblick.....	26

# 1. Einführung

Der Begriff Industrie 4.0 steht als Synonym für die Produktion von Morgen, die sich durch Digitalisierung der Arbeitsprozesse, zunehmende innerbetriebliche und überbetriebliche Vernetzung und Modularisierung intelligenter Maschinen, Produkte und Betriebsmittel auszeichnet.

Industrie 4.0 versteht sich damit als technologische Antwort auf aktuelle und sich abzeichnende global-wirtschaftliche Veränderungen, wie z.B. verkürzte Produktlebenszyklen und zunehmend kundenorientierte Wertschöpfung. Insbesondere die diskrete Fertigung steht einer stärkeren Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten und Produktvarianten gegenüber. Der Trend zu kleineren, variationsreichen Losgrößen führt klassische Produktionskonzepte rasch an die wirtschaftlichen und technologischen Grenzen. Besonders Konsumgüter stehen unter immensem Innovations- und Kostendruck, besitzen sie doch eine verhältnismäßig kurze Nutzungsdauer und müssen in vielen Varianten jederzeit verfügbar sein.

In der industriellen Praxis finden sich einige Beispiele, in denen Produkte individuell und auf Kundenzuruf gefertigt werden. Adidas<sup>1</sup> und Nike<sup>2</sup> betreiben Pilotprojekte, die die wirtschaftliche Herstellung von Sportschuhen mit personalisiertem Design anstreben. Auch innerhalb der Lebensmittelbranche erlauben es Anbieter wie z.B. myMüsli<sup>3</sup> kundenindividuelle Produktvarianten über das Internet in Auftrag zu geben. Die Automobilindustrie offeriert dem Kunden bereits heute umfangreiche Ausstattungsvarianten und Konfigurationsmöglichkeiten. Bei Airbus<sup>4</sup> werden Ersatzteile heute bereits nach Bedarf erzeugt. Die entsprechenden Bauteilinformationen sind über das weltweite Netzwerk jederzeit digital verfügbar und werden unmittelbar vor Ort mittels 3D-Drucker erzeugt, um so Lieferzeiten und Lagerkosten zu reduzieren. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend hin zur flexiblen und kundenindividuellen Produktion noch weiter verstärken wird. Wettbewerbsvorteil hat zukünftig der Hersteller, der bedarfsorientiert für den Kunden produziert.

Die genannten Beispiele erlangen die Kundenindividualität allerdings nicht oder nur im begrenzten Maße durch den Einsatz flexibler Produktionskonzepte. Die genannten Beispielprodukte lassen sich dadurch charakterisieren, dass sie entweder auch in der Massenfertigung viele manuelle Arbeitsschritte enthalten (wie z.B. in der Schuhe- und Textilfertigung), dass nur wenige Prozessschritte zur Individualisierung erforderlich sind (wie z.B. beim Abfüllprozess zur Herstellung von Müsli) oder dass die individualisierte Massenproduktion lediglich durch starre und hochkomplexe

Produktionsanlagen erzielt werden kann (wie z.B. in der Automobilproduktion).

Um angemessen auf die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen zu reagieren, werden neuartige Produktionskonzepte benötigt, die die folgenden drei Zielkriterien gleichermaßen erfüllen:

**1. Mechatronische Wandelbarkeit:** Produktionsanlagen sind im Sinne der Minimierung von Stillstandzeiten und Kostenersparnis beim Umrüsten wandlungsfähig und modular aufgebaut; lassen sich schnell und aufwandsarm in Betrieb nehmen und an neue Produktionsanforderungen adaptieren.

**2. Individualisierte Massenproduktion:** Produktionsanlagen beherrschen die wirtschaftliche Fertigung individualisierter Produkte und breitgefächerter Produktvarianten – sprich kleinere Losgrößen – zu Konditionen der Massenproduktion.

**3. Inner- und überbetriebliche Vernetzung:** Kommunikationsfähige Produkte und Produktionsanlagen lassen sich schnell und aufwandsarm an IT-Systeme anbinden und ermöglichen somit transparente Einblicke und Eingriffsmöglichkeiten in die laufenden Produktionsprozesse – Fehlfunktionen lassen sich vorhersagen, Prozesse lassen sich optimieren.

Die Systemarchitektur der **SmartFactory<sup>KL</sup>** beschreibt den konzeptionellen Aufbau von wandlungsfähigen Industrie 4.0-Produktionsanlagen, die alle zuvor formulierten Zielkriterien erfüllen. Bevor die Systemarchitektur in Kapitel 3 detailliert vorgestellt wird, werden in Kapitel 2 zunächst die an sie gestellten Anforderungen hergeleitet. Vervollständigt wird die Systemarchitektur in Kapitel 4 durch einen Satz herstellerübergreifender Spezifikationen, die anhand der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage entwickelt und angewendet wurden. Die Spezifikationen dienen als Orientierungshilfe für die Auslegung und Konzeption ähnlicher Industrie 4.0-Produktionsanlagen. Abschließend erfolgt in Kapitel 5 die Einordnung der Systemarchitektur in das *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)* der *Plattform Industrie 4.0*.

<sup>1</sup> <http://www.adidas.de/personalisieren>

<sup>2</sup> [http://www.nike.com/de/de\\_de/c/nikeid](http://www.nike.com/de/de_de/c/nikeid)

<sup>3</sup> <http://www.mymuesli.com/>

<sup>4</sup> [http://www.deutschlandfunk.de/aufakt-der-cebit-drohnen-sicherheit-und-das-internet-der.766.de.html?dram:article\\_id=348350](http://www.deutschlandfunk.de/aufakt-der-cebit-drohnen-sicherheit-und-das-internet-der.766.de.html?dram:article_id=348350)

## 2. Anforderungen an die Systemarchitektur

Die zuvor formulierten Zielkriterien „Mechatronische Wandelbarkeit“, „Individualisierte Massenproduktion“ und „Inner- und überbetriebliche Vernetzung“ werden nachfolgend in Anforderungen an die allgemeingültige Systemarchitektur überführt und konkretisiert. Dank der Allgemeingültigkeit lässt sich die Systemarchitektur auf die Neuplanung ähnlicher Produktionsanlagen übertragen.

### Zielkriterium Z1 „Mechatronische Wandelbarkeit“

Produktionsanlagen sind modular aufgebaut und lassen sich schnell und aufwandsarm in Betrieb nehmen und an neue Produktionsanforderungen adaptieren.

#### Anforderung A1.1 „Modulare Prozessbausteine“

Die Systemarchitektur muss es ermöglichen, dass sich individuelle Produktionsprozesse mit minimalem Aufwand aus standardisierten Prozessbausteinen aufbauen lassen. Dies impliziert auch, dass neue Prozessbausteine mit minimalem Engineering-Aufwand in bestehende Produktionsprozesse eingebunden werden können. Jeder Prozessbaustein kapselt dedizierte Produktionsfunktionalitäten und wird in einem Produktionsmodul instanziiert. Produktionsmodule können einzeln oder im Verbund mit anderen Produktionsmodulen betrieben werden. Dazu ist eine lose Verkettung einzelner Produktionsmodule nach dem „Plug-and-Play“-Paradigma einzuplanen (vgl. Abbildung 1). Die Anordnung der Produktionsmodule wird auch Topologie genannt. Da da sie mitunter stark variieren kann, ist ein Mechanismus vorzusehen, der es ermöglicht, die aktuelle Topologie der Produktionsanlage automatisch zu erkennen und auszuwerten.

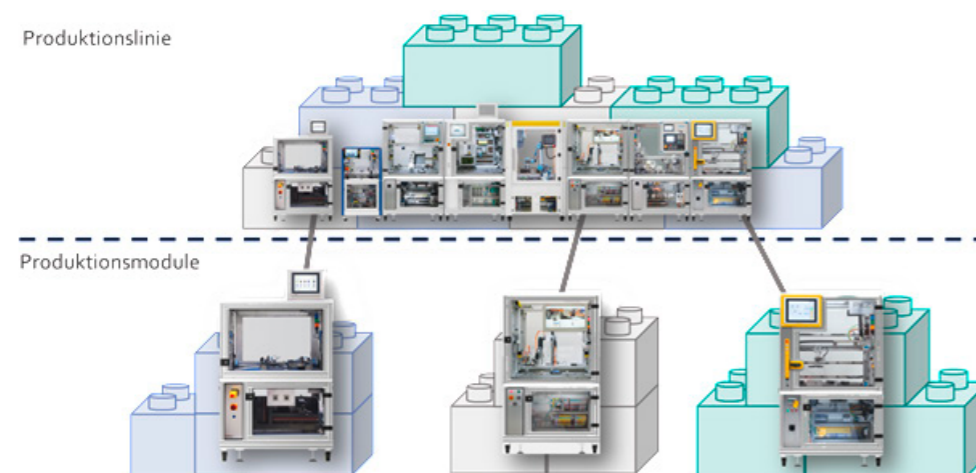


Abbildung 1:  
Die Systemarchitektur ermöglicht die flexible Verkettung individueller Produktionsmodule per Plug-and-Play im Sinne des Zielkriteriums „Mechatronische Wandelbarkeit“

#### Anforderung A1.2 „Modulare Versorgungsinfrastruktur“

Damit Produktionsmodule universell und mit minimalem Konfigurationsaufwand zu einem Produktionsprozess kombiniert werden können, muss die Systemarchitektur eine flexible Versorgungsinfrastruktur vorsehen, welche wesentliche Versorgungs- und Managementfunktionen für die Produktionsmodule übernimmt. Dazu gehören die Energieversorgung, das Datenrouting und die übergreifende Steuerung der Sicherheitsfunktionen.

Die Versorgungsinfrastruktur selbst muss wiederum modular aufgebaut sein, um die gewonnene Flexibilität im Aufbau einer Produktionsanlage nicht wieder durch eine komplexe oder starre Infrastrukturplanung einzubüßen.

### Zielkriterium Z2 „Individualisierte Massenproduktion“:

Produktionsanlagen beherrschen die wirtschaftliche Fertigung individualisierter Produkte und breitgefächerter Produktvarianten.

#### Anforderung A2.1 „Ganzheitliche Produktverfolgung“:

Die Systemarchitektur muss eine Lösung vorsehen, welche es erlaubt, zu fertigende Produkte jederzeit eindeutig zu identifizieren und innerhalb des Produktionsprozesses zu verfolgen. Die Lösung muss es den Produktionsmodulen ermöglichen, die dem Produkt zugeordneten Produktionsparameter individuell zu erfassen und abzuarbeiten.

#### Anforderung A2.2 „Größtmögliche Produkt- und Variantenvielfalt“:

Die im Produktionsmodul abgebildeten Prozesse sind derart zu gestalten, dass durch Parametrisierung eine größtmögliche Produkt- und Variantenvielfalt abgearbeitet werden kann.

### Zielkriterium Z3 „Inner- und überbetriebliche Vernetzung“:

Informationen zur Produktionsanlage und den zu fertigenden Produkten sollen durchgängig digital und in Echtzeit vorliegen, um die Entscheidungs- und Optimierungsprozesse sowohl innerhalb des produzierenden Unternehmens als auch zwischen den Unternehmen zu vereinfachen.

#### Anforderung A3.1 „Integrierende Schnittstelle“:

Die Systemarchitektur muss eine offene Schnittstelle zur losen Kopplung zwischen den IT-Systemen und der Produktionsanlage vorsehen. Die Informationsschnittstelle muss dabei eine integrierende Funktion übernehmen und alle

## 3. Konzeption der Systemarchitektur

relevanten Informationen und Einstellparameter aus der Produktionsanlage in einem einheitlichen Repräsentationsschema logisch zusammenfassen. Den angebotenen IT-Systemen muss – unter Wahrung bestimmter Lese- und Schreibrechte – Zugriff auf die Informationen und Einstellparameter der Produktionsanlage gewährt werden. Insbesondere soll durch eine integrierende Schnittstelle vermieden werden, dass *n:m* unterschiedlich aufgebaute Schnittstellen zwischen den Produktionsmodulen (Informationsanbieter) und den IT-Systemen (Informationsnutzer) entstehen.

### Anforderung A3.2 „Modulare IT-Systeme“:

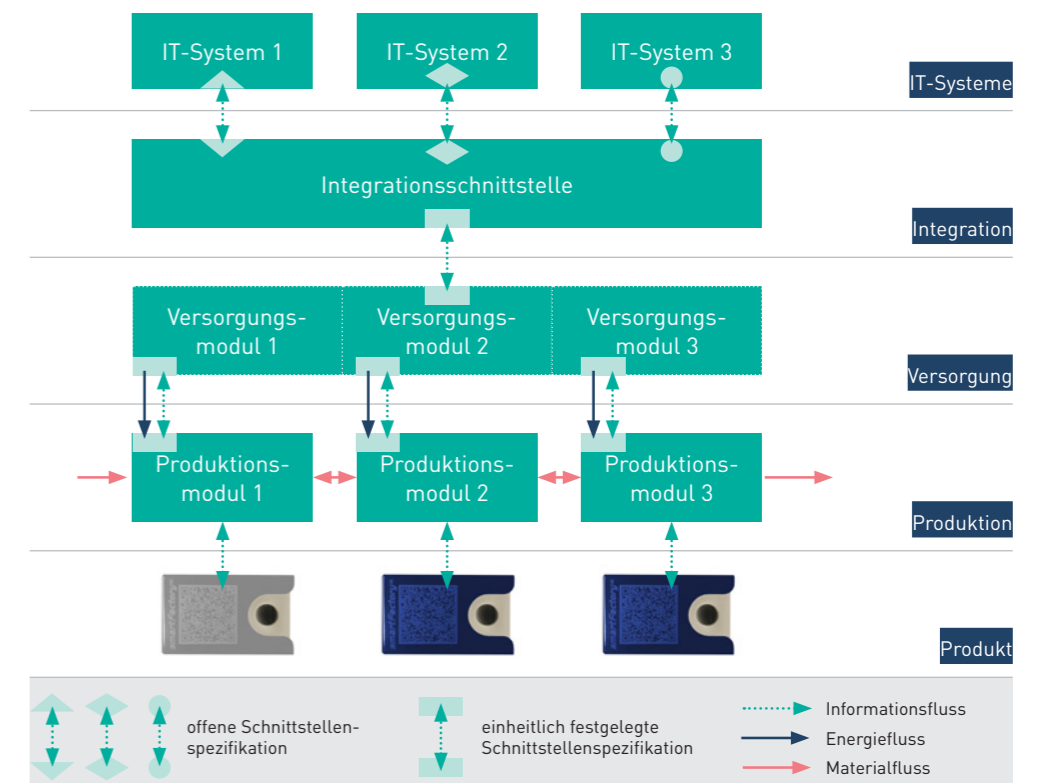
Die Systemarchitektur muss die flexible Einbindung von IT-Systemen zur Planung, Steuerung und Optimierung der Produktionsanlage vorsehen. Neue IT-Systeme müssen mit möglichst geringem Aufwand an die vorgesehene Schnittstelle angebunden werden können. Dazu ist eine Kapselung der IT-Systeme in modulare Funktionsbausteine einzuplanen, die einfach eingebunden und ausgetauscht werden können.

Unter Berücksichtigung der Anforderungen an zukünftige Produktionskonzepte wird nachfolgend eine allgemeingültige Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen beschrieben, die eine Dekomposition der Produktionsanlage in fünf konzeptionelle Komponenten vorsieht (vgl. Abbildung 2):

1. **Produkt**
2. **Produktionsschicht**
3. **Versorgungsschicht**
4. **Integrationsschicht**
5. **IT-Systemschicht**

Jede Komponente wird im Sinne eines *Separation of Concerns*<sup>5</sup>-Ansatzes durch dedizierte Aufgaben, Funktionen, Eigenschaften und Zuständigkeiten voneinander separiert, wodurch die globalen Abhängigkeiten komponentenspezifischer Elemente reduziert werden. Die einzelnen Komponenten der Systemarchitektur werden nachfolgend zunächst konzeptionell vorgestellt, bevor ein konkretes Implementierungsbeispiel anhand der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage beschrieben wird (vgl. Kapitel 4).

Abbildung 2:  
 Systemarchitektur der  
**SmartFactory<sup>KL</sup>** für  
 Industrie 4.0-  
 Produktionsanlagen.



<sup>5</sup> Konzept aus der Informatik, bei dem verschiedene Elemente der Aufgabe möglichst in verschiedenen Elementen der Lösung repräsentiert werden.

### 3.1. Produkt

Ziel der Systemarchitektur ist die wirtschaftliche Herstellung des individuellen Produktes zu Konditionen der Massenproduktion. Das zu fertigende *Produkt* ist Ausgangspunkt für die Konzeption des Produktionsprozesses. Die Komplexität und Varianten des Produktes implizieren unmittelbar die Anzahl und Auslegung der Produktionsmodule als Teil der Produktionsschicht.

#### Spezifikation des Produktes

Gemäß Anforderung A2.1 wird das Produkt mit einem digitalen Produktgedächtnis ausgestattet, welches es erlaubt, den Produktionsprozess zu verfolgen und aktiv zu steuern. Das digitale Produktgedächtnis besteht aus einem Mechanismus zur automatischen Identifikation (kurz: Auto-ID) und einem referenzierten Informationsmodell zur Speicherung relevanter Produktionsparameter.

#### Elektromechanische Spezifikationen:

- Mechanismus zum Lese- und Schreibzugriff auf das digitale Produktgedächtnis

#### Informationstechnische Spezifikationen:

- Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnisses

### 3.2. Produktionsschicht

Die Produktionsschicht übernimmt die eigentliche wertschöpfende Tätigkeit zur Herstellung des individuellen Produktes nach einem vorgegebenen Produktionsprozess. Der Produktionsprozess wird durch die Verkettung unterschiedlicher Produktionsmodule zusammengestellt.

#### Spezifikation der Produktionsmodule

Jedes Produktionsmodul übernimmt die Ausführung eines spezifischen Fertigungs-, Montage-, Prüf- oder Handhabungsprozesses. Gemäß Anforderung A2.2 ist der abgebildete Prozess möglichst universell und parametrisierbar zu gestalten, um das Produktionsmodul für vielfältige Produkte und Produktvarianten einsetzen zu können.

Obwohl sich die abgebildeten Prozesse in den spezifischen Produktionsmodulen mitunter erheblich unterscheiden, stellen übergreifende Spezifikationen die interoperable Kombinationsfähigkeit der Produktionsmodule sicher. Somit wird die Anforderung A1.1 an eine reibungslose und aufwandsarme Verkettung

der Produktionsmodule nach dem "Plug-and-Play"-Paradigma erfüllt. Um die aktuelle Anordnung der Produktionsmodule jederzeit zu verfolgen, wird eine automatische Topologie-Erkennung vorgesehen, die analog zum digitalen Produktgedächtnis auf Auto-ID-Technologien und einem einheitlichen Informationsmodell basiert.

#### Mechanische Spezifikationen:

- Grundaufbau
- Transportsystem

#### Elektromechanische Spezifikationen:

- Mechanismus zum Lese- und Schreibzugriff auf das digitale Produktgedächtnis
- Mechanismus zum Erkennen der Anlagentopologie
- Anschluss an die Versorgungsinfrastruktur

#### Informationstechnische Spezifikationen:

- Informationsmodell des Produktionsmodules
- Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnisses

#### Vereinheitlichtes Bedienkonzept:

- Betriebsarten
- Modulverhalten

### 3.3. Versorgungsschicht

Die Versorgungsschicht sorgt für die Betriebs- und Funktionsbereitschaft der zuvor beschriebenen Produktionsmodule. Die Versorgungsinfrastruktur wird durch Verkettung von Versorgungsmodulen flexibel zusammengestellt.

#### Spezifikation der Versorgungsmodule

Damit Produktionsmodule universell und mit minimalem Konfigurationsaufwand zu einem Produktionsprozess kombiniert werden können, ist gemäß Anforderung A1.2 eine flexible Infrastruktur notwendig, welche wesentliche Versorgungs- und Managementfunktionen für die Produktionsmodule übernimmt, dazu gehören die Energieversorgung und -erfassung, das Datenrouting sowie Sicherheitsfunktionen. Die Versorgungsinfrastruktur muss gemäß Anforderung A1.3 modular aufgebaut sein, um die gewonnene Flexibilität im Aufbau einer Produktionsanlage nicht wieder durch eine komplexe oder starre Infrastrukturplanung einzubüßen.

**Elektromechanische Spezifikationen:**

- Anschluss an die Produktionsmodule

**3.4. Integrationsschicht**

Die Integrationsschicht hat den Informationsaustausch zwischen Produkt, Produktions- und Infrastrukturschicht einerseits und der IT-Systemschicht andererseits zur Aufgabe. Sie wird durch eine Integrationsschnittstelle implementiert.

**Spezifikation der Integrationsschnittstelle**

Die Integrationsschnittstelle übernimmt im Sinne von Anforderung A3.1 eine integrierende Funktion und fasst alle relevanten Informationen und Einstellparameter der Produktionsanlage in einem einheitlichen Repräsentationsschema logisch zusammen. Die an der Integrationsschnittstelle angebotenen IT-Systeme erhalten über Kommunikationsprotokolle Lese- und Schreibzugriff auf die im Repräsentationsschema abgebildeten Informationen und Einstellparameter.

Das grundlegende Zusammenspiel zwischen den Produktionsmodulen (Informationsanbieter) und den IT-Systemen (Informationsnutzer) wird nach dem Grundprinzip einer serviceorientierten Architektur eindeutig und sicher geregelt: Ein Dienstanbieter publiziert den von ihm bereitgestellten Dienst (z.B. Statusinformation eines Produktionsmoduls), mögliche Dienstanbieter (z.B. ERP-System) abonnieren für sie relevante Dienste (z.B. Statusabfragen). Bei der Nutzung des Dienstes interagieren Dienstanbieter und Dienstnutzer entsprechend einer Vereinbarung (Servicekontrakt), welche beispielsweise Häufigkeit, Antwortzeit, Nutzungskosten, Berechtigungen und Umfang der gelieferten Informationen festlegt. Nicht vereinbarte oder unzulässige Dienste (z.B. häufiger als vereinbart) werden nicht bearbeitet.

**Informationstechnische Spezifikationen:**

- Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnisses
- Informationsmodell des Produktionsmoduls
- Kommunikationsprotokolle zum Lese-/ Schreibzugriff aus der Produktionsschicht
- Kommunikationsprotokolle zum Lese-/ Schreibzugriff aus der IT-Systemschicht

**3.5. IT- Systemschicht**

Die IT- Systemschicht umfasst alle Funktionalitäten zur computergestützten Produktionsplanung, -steuerung und -optimierung. Die IT-System-Schnittstelle stellt die Verbindung zur Integrationsschicht her.

**Spezifikation der IT-System-Schnittstelle**

Die IT-Systeme müssen mit möglichst geringem Aufwand an die Integrationsschnittstelle angebunden werden. Dazu ist wie gemäß Anforderung 3.2 gefordert, eine Kapselung der IT-Systeme in modularen Softwarebausteinen vorgesehen. Die Kommunikation zwischen den gekapselten IT-Systemen und der Integrationsschnittstelle beruht auf einheitlichen Informationsmodellen. Der Informationsaustausch kann über verschiedene Kommunikationsprotokolle implementiert werden (gemäß der Schnittstellenspezifikation der jeweiligen IT-Systeme).

**Informationstechnische Spezifikationen:**

- Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnisses
- Informationsmodell des Produktionsmoduls
- Kommunikationsprotokolle zum Lese-/ Schreibzugriff

## 4. Instanziierung der Systemarchitektur

Im Jahr 2014 hat die **SmartFactory<sup>KL</sup>** eine weltweit einzigartige Industrie 4.0-Pilotanlage zur diskreten, lose verketteten Fließfertigung konzipiert und aufgebaut, welche alle zuvor formulierten Zielkriterien erfüllt (vgl. Abbildung 3). Bei der Entwicklung der Pilotanlage waren mehr als 16 Unternehmen aus der Informations- und Automatisierungstechnik beteiligt. Der Gemeinschaftsaktivität liegt das Verständnis zugrunde, dass die Potentiale von Industrie 4.0 nur durch herstellerübergreifende Spezifikationen bzw. Standards gehoben werden können. So bedarf es ähnlich, wie bei der Entwicklung des World Wide Web, allgemeingültiger Protokolle und Informationsmodelle, um Produktionsanlagen miteinander zu vernetzen und die darin ablaufenden Prozesse für den Menschen verständlich und zugänglich zu machen.

Im Folgenden wird die zuvor vorgestellte Systemarchitektur am Beispiel der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage angewendet und um detaillierte Spezifikationen angereichert.



Abbildung 3:  
Die **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage für Industrie 4.0 erfüllt die drei Zielkriterien: „Mechatronische Wandelbarkeit“, „Individualisierte Massenproduktion“ und „Inner- und überbetriebliche Vernetzung“.

Bildquelle:  
© C. Arnoldi

### 4.1. Produkt

Bei dem zu fertigenden Produkt handelt es sich um ein personalisiertes Visitenkartenetui. Wie in Abbildung 4 gezeigt, besteht das Produkt aus bis zu vier Bauteilen (Bodenplatte, Haltefeder, Deckel und Inlay) und lässt sich vielfältig individualisieren. Kundenindividuell anpassbar sind u.a. die Gravur der Plexiglas-Bodenplatte, sowie die Farbe und Laser-Gravur des Metalldeckels.



Abbildung 4:  
Personalisiertes Visitenkartenetui (links) als Produkt der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage mit einzelnen Bauteilen: Bodenplatte, Haltefeder, Inlay und Deckel (rechts).

### Spezifikation des Produktes

#### Elektromechanische Spezifikationen:

**Mechanismus zum Lese- und Schreibzugriff auf das digitale Produktgedächtnis:**

#### RFID-Tag (13,56 Mhz)

- Der RFID-Tag ist fest im Masterbauteil des Produktes (Bodenplatte) integriert.
- Die kundenindividuellen Produktparameter werden bei Auftragseingang im digitalen Produktgedächtnis hinterlegt.

#### Informationstechnische Spezifikationen:

**Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnis**

#### „SF-Informationsmodell für Produkte – v1.0“

- Informationen u.a. zu Auftragsnummer, Auftragsdatum, Fertigungsstatus, Priorität, Fertigungsschritte, Verbrauchte Energie pro Modul, Dauer der Bearbeitungsschritte, Deckelfarbe, Kundendaten für QR-Code (Laser-Gravur) und Gravur-Boden

### 4.2. Produktionsschicht

Zur Herstellung des individuellen Visitenkartenetuis werden bedarfsorientiert bis zu acht verschiedene Produktionsmodule zu einem Produktionsprozess verkettet. Zur Verfügung stehen ein Palettenspeicher-Modul, ein Gravier-Modul, ein Laser-Modul, ein Kommissionier-Modul, ein Handhabungs-Modul zum Einlegen der Haltefeder, ein Füge-Modul zum Verpressen des Deckels, ein Modul zur optischen Qualitätskontrolle, ein Wäge-Modul und ein Ersatz-Modul zur Überbrückung einzelner Prozessschritte.

Abbildung 5:  
Der Produktionsprozess für die Herstellung des Visitenkartenetuis besteht derzeit aus bis zu acht verschiedenen Produktionsmodulen.





Spezifikation der Produktionsmodule

Mechanische Spezifikationen:

Grundaufbau

„SF-Grundaufbau – v1.0“

- Modulmaße (m): L1,20 x B0,80 x H<1,90

Transportsystem

„SF-Transportsystem – v1.0“

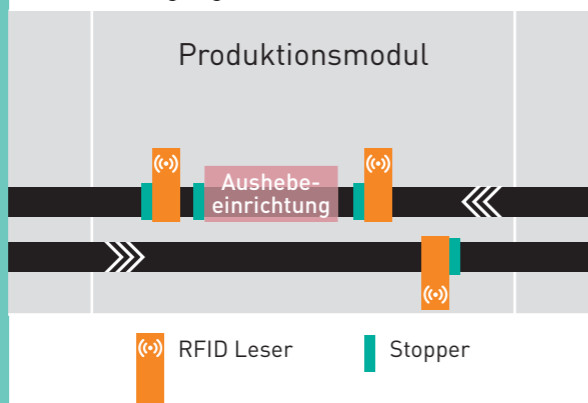
- Modulares Transportsystem mit zwei umlaufenden Förderbändern, Schleusenvorrichtung und definierten Übergabepunkten für die Produkte:
  - » Geöffnete Schleuse: Weiterreichen des Produkts
  - » Geschlossene Schleuse: Umlenkung von Vorlauf- auf Rücklaufband

Elektromechanische Spezifikationen:

Mechanismus zum Auslesen des digitalen Produktgedächtnis

„SF-Produktverfolgung – v1.0“

- Basiert auf RFID (13,56 Mhz)
- Beim Einlaufen des Produktes in ein Produktionsmodul werden alle Produktparameter auf dem digitalen Produktgedächtnis ausgelesen
- Vor dem Verlassen des Moduls wird das digitale Produktgedächtnis u.a. hinsichtlich des Fertigungsstatus aktualisiert

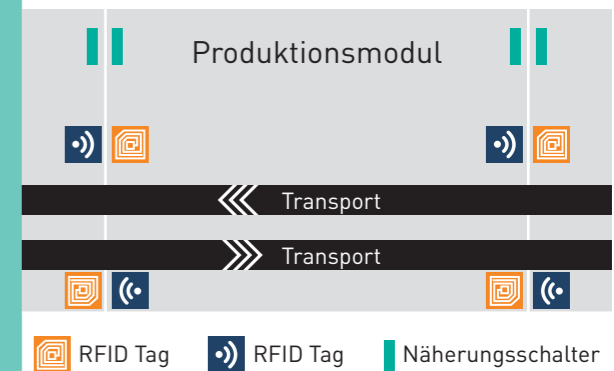


Elektromechanische Spezifikationen:

Mechanismus zum Erkennen der Anlagentopologie

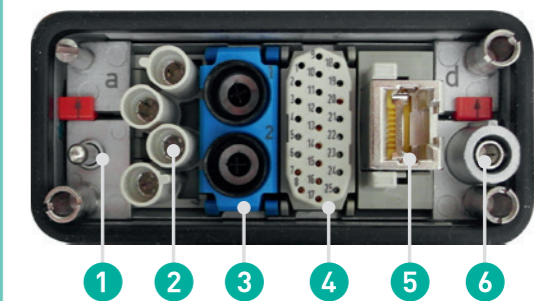
„SF-Topologie-Erkennung – v1.0“

- Baugruppe aus einem RFID-Leser, RFID-Tag sowie zwei Näherungsschaltern zur Erkennung und eindeutigen Identifizierung des benachbarten Produktionsmoduls



Anschluss an die Versorgungsinfrastruktur

„SF-Modularbuchse – v1.0“



- 1 Schutzleiter
- 2 400V Drehstrom
- 3 Druckluft
- 4 Sicherheitsfunktion & 24V Gleichspannung
- 5 Industrial Ethernet
- 6 Schutzleiter

**Informationstechnische Spezifikationen:**

<b>Informationsmodell des Produktionsmoduls</b>	<b>„SF-Informationsmodell für Produktionsmodule – v1.0“</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationen u.a. zu: Eigenschaften, Produktionsstatus, Betriebszustand, Topologie (Nachbarschaftsmodule) sowie Ressourcenbedarf und -verbrauch des Produktionsmoduls.</li> </ul>
<b>Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnis</b>	<b>„SF-Informationsmodell für Produkte– v1.0“</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vgl. Spezifikation des Produktes</li> </ul>

**Vereinheitlichtes Bedienkonzept:**

<b>Betriebsarten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normal,</li> <li>• Wartung/Einrichten</li> <li>• Außerbetriebnahme</li> </ul>
<b>Modulverhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melden</li> <li>• Produktion beenden</li> <li>• Räumen</li> <li>• Transportstellung</li> <li>• Herunterfahren</li> </ul>

**4.3. Versorgungsschicht**

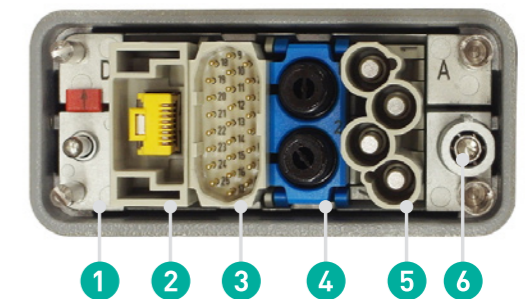
Die Versorgungsschicht ermöglicht eine standardisierte Anbindung und Versorgung der Produktionsmodule. Aktuell existieren vier herstellerspezifische aber untereinander kompatible Versorgungsmodule, die die angeschlossenen Produktionsmodule über den „SF-Modularstecker“ mit Druckluft und Drehstrom versorgen, an das Sicherheitskonzept anbinden und die Kommunikation zwischen Produktions- und Integrationsschicht mittels Ethernet ermöglichen.

**Spezifikation der Versorgungsmodule**

**Elektromechanische Spezifikationen:**

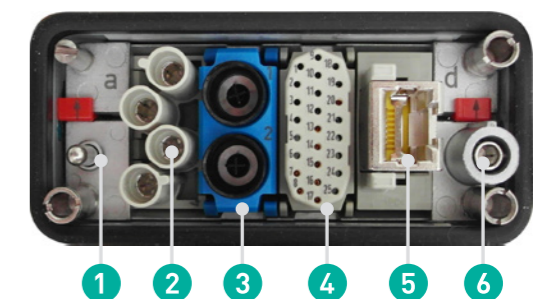
**Anschluss an die Produktionsmodule**

**„SF-Modularstecker – v1.0“**



- 1 Schutzleiter
- 2 Industrial Ethernet
- 3 Sicherheitsfunktion & 24V Gleichspannung
- 4 Druckluft
- 5 400V Drehstrom
- 6 Schutzleiter

**„SF-Modularbuchse – v1.0“**



- 1 Schutzleiter
- 2 400V Drehstrom
- 3 Druckluft
- 4 Sicherheitsfunktion & 24V Gleichspannung
- 5 Industrial Ethernet
- 6 Schutzleiter

#### 4.4. Integrationsschicht

Der Integrationsschicht obliegt die Aufgabe, die Daten der Produktionsmodule, die über die Versorgungsschicht bereitgestellt werden, zu sammeln, zu aggregieren und an die übergreifenden IT-Systeme bereitzustellen. Betriebs- und Produktdaten aus der Produktionsschicht werden über ein einheitlich festgelegtes Kommunikationsprotokoll erfasst, angereichert und strukturiert in der Integrationsschnittstelle abgelegt.

Die Informationsversorgung der höhergelegenen IT-System-Schicht folgt dem Grundprinzip einer serviceorientierten Architektur: Dabei können beliebige Informationen von der Informationsschnittstelle publiziert und von den IT-Systemen nach Bedarf abonniert werden, ohne dass zwischen den Produktionsmodulen (Informationsanbieter) und den IT-Systemen (Informationsnutzer) eine Vielzahl von individuellen 1:1-Schnittstellen implementiert werden müssen.

#### Spezifikation der Integrationsschnittstelle

Informationstechnische Spezifikationen:										
<b>Informationsmodell des Produktionsmoduls</b>	<b>„SF-Informationsmodell für Produktionsmodule – v1.0“</b> • Vgl. Spezifikation des Produktionsmoduls									
<b>Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnis</b>	<b>„SF-Informationsmodell für Produkte – v1.0“</b> • Vgl. Spezifikation des Produktes									
<b>Kommunikationsprotokolle zum Lese-/Schreibzugriff aus der Produktionsschicht</b>	<b>Kommunikationsprotokolle (im OSI-Referenzmodell):</b> • Transportschicht: Ethernet • Anwendungsschicht: OPC UA (IEC 62541)									
	Anwendungsschicht	<table border="1"> <tr><td>7</td><td>Anwendung (Application)</td></tr> <tr><td>6</td><td>Darstellung (Presentation)</td></tr> <tr><td>5</td><td>Sitzung (Session)</td></tr> </table>	7	Anwendung (Application)	6	Darstellung (Presentation)	5	Sitzung (Session)		
7	Anwendung (Application)									
6	Darstellung (Presentation)									
5	Sitzung (Session)									
	Transportschicht	<table border="1"> <tr><td>4</td><td>Transport</td></tr> <tr><td>3</td><td>Vermittlung (Network)</td></tr> <tr><td>2</td><td>Sicherung (Data Link)</td></tr> <tr><td>1</td><td>Bitübertragung</td></tr> </table>	4	Transport	3	Vermittlung (Network)	2	Sicherung (Data Link)	1	Bitübertragung
4	Transport									
3	Vermittlung (Network)									
2	Sicherung (Data Link)									
1	Bitübertragung									
<b>Kommunikationsprotokolle zum Lese-/Schreibzugriff aus der IT-Systemschicht</b>	<b>Kommunikationsprotokolle:</b> • Vielzahl von Kommunikationsprotokollen möglich, z.B.: » MQTT » RESTful-WebService » SOAP-Webservice									

OPC UA

Ethernet

#### 4.5. IT-Systemschicht

Gekapselte, heterogene Softwarebausteine der IT-Systemschicht ermöglichen die dynamische Überwachung, Steuerung, Planung, Analyse und Simulation der Produktionsanlage. In der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage sind aktuell folgende IT-Systeme implementiert: Auftragsplanung (ERP), Auftragssteuerung (MES), Anlagen-Engineering (PLM), Datenanalytik (Big Data) sowie Fernüberwachung/-wartung (vgl. Abbildung 6).

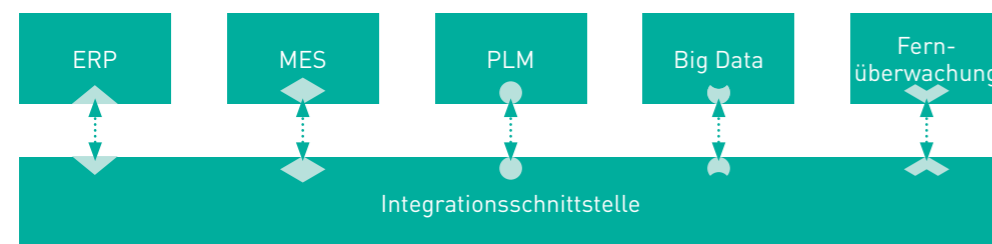


Abbildung 6:  
Kapselung und Anbindung der IT-Systeme als modulare Funktionsbausteine.

#### Spezifikation der IT-System-Schnittstelle

##### Informationstechnische Spezifikationen:

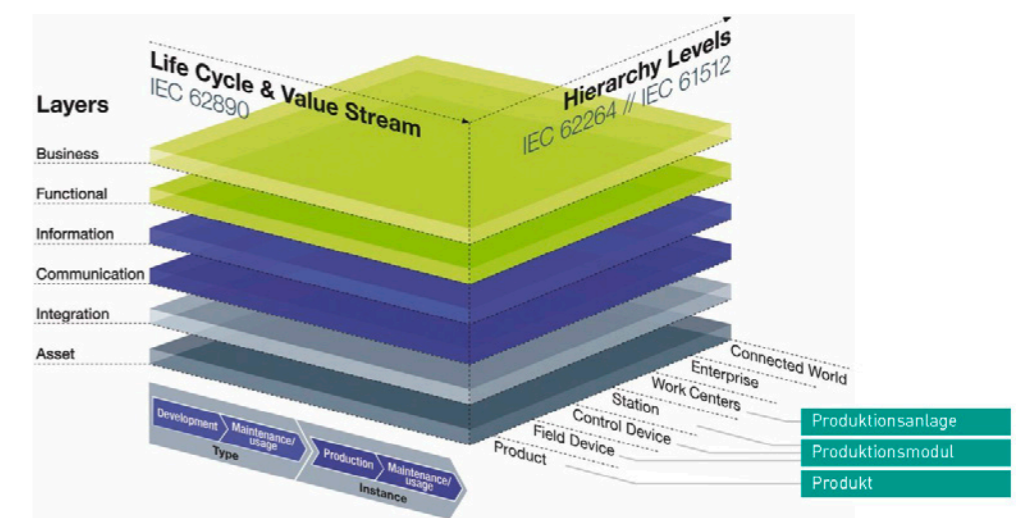
Informationsmodell des Produktionsmoduls	<b>„SF-Informationsmodell für Produktionsmodule – v1.0“</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vgl. Spezifikation des Produktionsmoduls</li> </ul>
Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnis	<b>„SF-Informationsmodell für Produkte – v1.0“</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vgl. Spezifikation des Produktes</li> </ul>
Kommunikationsprotokolle zum Lese-/Schreibzugriff	<b>Kommunikationsprotokolle</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vgl. Spezifikation der Integrationschnittstelle</li> </ul>

## 5. Einordnung der Systemarchitektur in RAMI 4.0

Die **SmartFactory<sup>KL</sup>** Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen lässt sich zweckmäßig auf die verschiedenen Dimensionen des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0)<sup>6</sup> der Plattform Industrie 4.0 abbilden (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 7:  
Das RAM I4.0 – dargestellt im dreidimensionalen Modell – und die **SmartFactory<sup>KL</sup>** Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen sind zueinander kompatibel.

Bildquelle:  
© Plattform Industrie 4.0



#### 5.1. RAMI 4.0 Hierarchiestufen

Die im RAMI 4.0 festgelegten Hierarchiestufen (Hierarchy Levels) bilden die Strukturelemente eines produzierenden Unternehmens (Enterprise) ab. Ein Unternehmen betreibt Produktionsanlagen (Work Center), welche wiederum aus einer Verkettung von Produktionsmodulen (Station) bestehen. Die Produktionsanlage wird durch das darauf gefertigte Produkt (Product) in ihrer Produktionsfähigkeit näher spezifiziert.

Aktuell werden die Elemente Steuerung (Control Device) und Feldgeräte (Field Device) in der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Systemarchitektur nicht explizit betrachtet, sondern als Teil des Produktionsmoduls zusammengefasst.

<sup>6</sup> <http://www.zvei.org/Themen/Industrie40/Seiten/Das-Referenzarchitekturmodell-RAMI-40-und-die-Industrie-40-Komponente.aspx>

### 5.2. RAMI 4.0 Schichten

RAMI 4.0 definiert 6 verschiedene Schichten (Layers), welche Fabrikgegenstände hinsichtlich physischer und informationstechnischer Aspekte unterscheiden. Die RAMI 4.0-Schichten lassen sich, wie in Tabelle 1 gezeigt, den 5 Komponenten der SmartFactory<sup>KL</sup> Systemarchitektur gegenüberstellen.

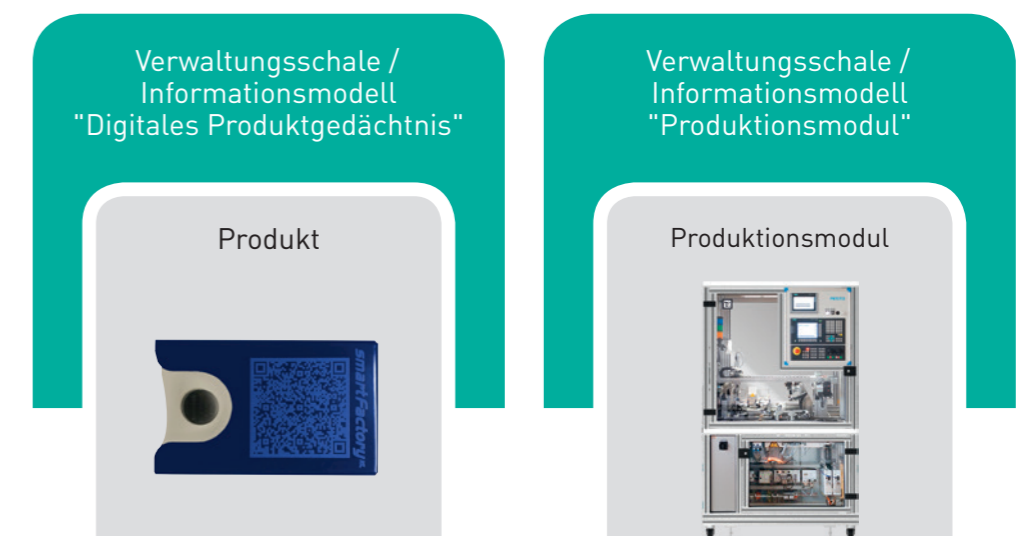
Komponenten	Layer		
	Asset	Information, Communication & Integration	Functional & Business
IT-Systemschicht	Cloudbasierte oder lokale Server-Infrastruktur	IT-System-Schnittstelle	Funktionalitäten der computer-gestützten Produktionsplanung, -steuerung und -optimierung
Integrations-schicht	Cloudbasierte oder lokale Server-Infrastruktur	Integrations-schnittstelle	Funktionalität zur logischen Datenintegration und persistenten Speicherung
Versorgungsinfrastrukturschicht	Versorgungsmodule und -kabel	(in Arbeit)	Funktionalitäten zur Energieversorgung und -monitoring, Sicherheitsfunktionen
Produktions-schicht	Produktionsmodule	Auto-ID-Konzept, Informationsmodell des Produktionsmoduls	Funktionalitäten zur Ausführung von Fertigungs-, Montage-, Prüf- und Handhabungsprozessen
Produkt	Produkt	Auto-ID-Konzept, Informationsmodell des digitalen Produktgedächtnisses	Funktionalität des Produkts

Tabelle 1:  
 Die 6 Schichten im RAMI 4.0 werden den 5 Komponenten der Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen gegenübergestellt.

### 5.3. RAMI 4.0 Verwaltungsschale

Die in der SmartFactory<sup>KL</sup> Systemarchitektur definierten Informationsmodelle finden eine Entsprechung in der Verwaltungsschale des RAMI 4.0 (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8:  
 Darstellung der Informationsmodelle im Konzept der Verwaltungsschale



## 6. Zusammenfassung und Ausblick

### 6.1. Zusammenfassung

Dieses Whitepaper beschreibt eine Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen, welche am Beispiel der Pilotanlage der **SmartFactory<sup>KL</sup>** angewendet und um herstellerübergreifende Spezifikationen konkretisiert wurde. Anspruch der Systemarchitektur ist es, praxisnahe Lösungsmuster aufzuzeigen, wie moderne Produktionsanlagen in der diskreten, lose verketteten Fließfertigung konzipiert, aufgebaut und betrieben werden können.

Die aufgezeigten Spezifikationen der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Pilotanlage dienen als Orientierungshilfe für die Auslegung und Konzeption ähnlicher Produktionsanlagen, die ebenfalls auf mechatronische Wandelbarkeit, individualisierte Massenproduktion und inner- sowie überbetriebliche Vernetzung abzielen.

Die Einordnung der Systemarchitektur in das Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Plattform Industrie 4.0 beweist die Kompatibilität und Offenheit gegenüber komplementären Ansätzen und Konzepten im Bereich von Industrie 4.0.

### 6.2. Ausblick

Die Systemarchitektur im Allgemeinen und die Spezifikationen der Pilotanlage im Konkreten werden stetig hinsichtlich der Praxistauglichkeit bewertet und innerhalb der Arbeitsgruppen<sup>7</sup> der **SmartFactory<sup>KL</sup>** weiterentwickelt.

- Von der prototypischen Realisierung in die industrielle Praxis: Obwohl im Rahmen der Pilotanlage sowohl die technische Realisierbarkeit als auch die erwarteten, technologischen Vorteile der Systemarchitektur bestätigt werden konnten, steht die Anwendung der Systemarchitektur in der breiten industriellen Praxis noch aus. Für einen erfolgreichen Transfer sind insbesondere die Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Regularien und die Verfügbarkeit von marktreiferen Lösungsbausteinen ausschlaggebend.
- Verfeinerung der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Systemarchitektur: Eine Verfeinerung der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Systemarchitektur hinsichtlich weiterer Hierarchiestufen ist ge-

plant. Hierdurch soll der modulare Aufbau von Produktionsmodulen aus intelligenten Komponenten im Sinne von Cyber-Physischen Systemen in der Systemarchitektur Betrachtung finden.

- Entwicklung weiterer Informationsmodelle:  
Aktuell befinden sich weitere Informationsmodelle in der Planung:
  - » Ein Informationsmodell für die Versorgungsmodule soll u.a. die automatische Erkennung der Versorgungstopologie ermöglichen.
  - » Ein Informationsmodell für die Produktionsanlage soll die Fähigkeiten und Eigenschaften der modularen Gesamtanlage abbilden.

<sup>7</sup> Das **SmartFactory<sup>KL</sup>** Netzwerk ist in vier Arbeitsgruppen organisiert, die die Grundlage für die praktische Umsetzung von intelligenten Produktionskonzepten schaffen. Die Arbeitsgruppen treffen sich regelmäßig, um gemeinsame Spezifikationen und Standards zu erarbeiten, die der **SmartFactory<sup>KL</sup>** Vision entsprechen. Viele Ergebnisse werden direkt in die Entwicklung und den Betrieb von Prototypen übertragen, um praktische Erfahrungen zu sammeln, die dann wiederum in die Arbeit der Arbeitsgruppen einfließen.

## **Versionshistorie**

04/2016, Version 1

## **Herausgegeben von**

**Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.**

Trippstadter Straße 122

67663 Kaiserslautern

**T** +49(0) 631 20575-3401

**F** +49(0) 631 20575-3402

Die Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. (**SmartFactory<sup>KL</sup>**) ist ein gemeinnütziger Verein des öffentlichen Rechts, eingetragen im Vereinsregister Kaiserslautern.

Vereinsregisternummer: VR 2458 Kai

## **Vorstand**

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Detlef Zühlke (Vorsitzender)

Dipl.-Phys. Andreas Huhmann

Dr. Thomas Bürger

Dr. John Herold

## **Wissenschaftlicher Koordinator**

Dr. Dominic Gorecky

**T** +49(0) 631 20575-5387

**M** [gorecky@smartfactory.de](mailto:gorecky@smartfactory.de)