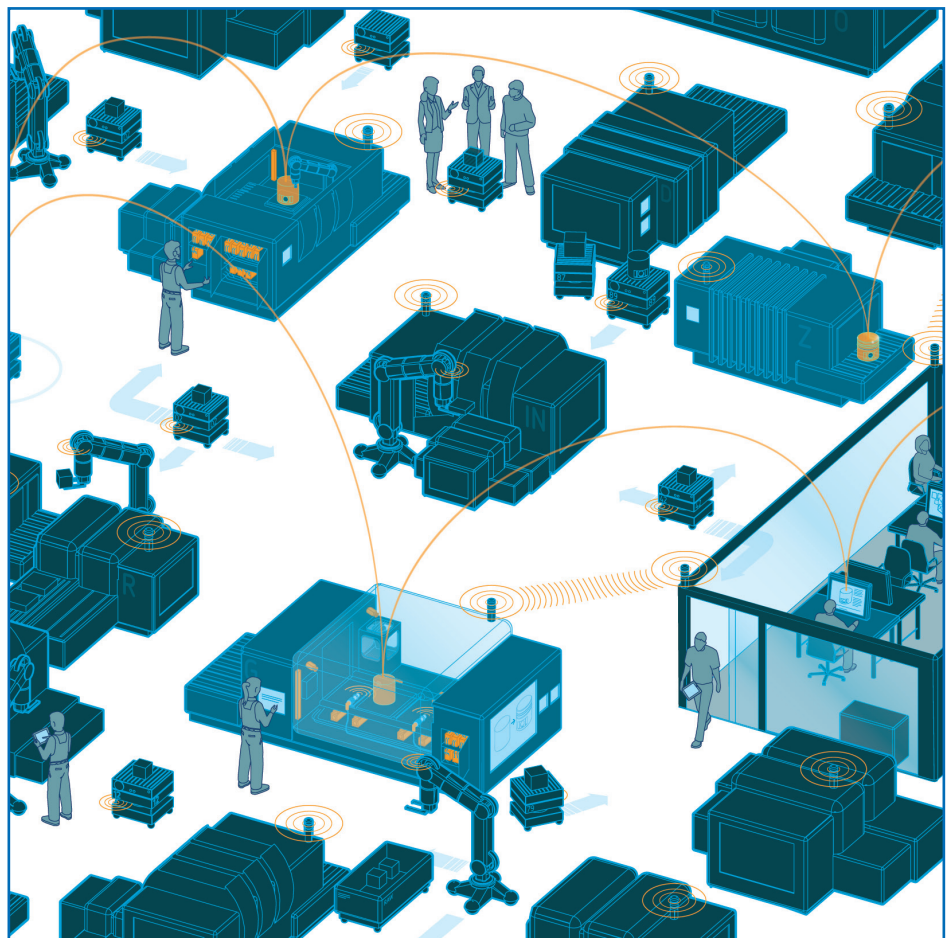


Positionspapier

Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement

Aufgabenstellungen und künftige Anforderungen





Die Elektroindustrie

Impressum

Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.

Fachverband Automation

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Verantwortlich:

Felix Seibl, Carolin Theobald

Telefon: +49 69 6302-451

Fax: +49 69 6302-319

E-Mail: seibl@zvei.org

www.zvei.org















April 2017

Trotz größtmöglicher Sorgfalt übernimmt der ZVEI keine Haftung für den Inhalt. Alle Rechte, insbesondere die zur Speicherung, Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, sind vorbehalten.

Inhalt

1	Motivation und Zielsetzung	5
2	Industrie 4.0	5
2.1	Die 4. industrielle Revolution	5
2.2	Plattform I4.0: benannte Ziele	7
3	Vom MES zum digitalisierten Betriebsmanagement	8
3.1	Manufacturing Execution Systems	8
3.2	Betriebsmanagement nach IEC/EN 62264	9
3.3	Absehbare Entwicklungen von MES unter Industrie 4.0	9
3.3.1	Durchgängigkeit und Anreicherung von Daten	10
3.3.2	Überwindung organisatorischer Strukturen	10
3.3.3	Neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle	11
3.3.4	MES, MOM und Big Data	11
3.3.5	Typische Prozessumgebungen für MES und MOM	12
3.3.5.1	Zentrale Aufgaben	12
3.3.5.2	Dezentrale Aufgaben	12
3.3.5.3	Koordinierung von Aufgaben	13
3.3.5.4	Dynamisches Ausführungsmanagement	14
3.3.6	Produktionsmanagement	15
3.3.7	Lager- und Bestandsmanagement	15
3.3.8	Instandhaltungsmanagement	16
3.3.9	Qualitätsmanagement	16
4	Einordnung in das RAMI4.0	17
4.1	Einordnung des Betriebsmanagements in das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)	17
4.2	Industrie 4.0-Komponenten und ihre Verwaltungsschalen	18
4.3	Kollaboratives Betriebsmanagement mit Industrie 4.0-Komponenten	18
4.4	Entwicklung von Teilmodellen für Industrie-4.0-Betriebsmanagement-Komponenten	19
5	Zusammenfassung	21
6	Literaturverzeichnis	22

**Diese Broschüre wurde von der ZVEI-Arbeitsgruppe „Manufacturing Execution Systems“
im Fachverband Automation erstellt. Es wirkten mit:**

Dr. Marcus Adams	madams@psi.de	
Dr. Thomas Bangemann	thomas.bangemann@ifak.eu	
Jörg Behnsch	joerg.behnsch@weidmueller.de	
Christina Bienek	christina.bienek@itac.de	
Ernst Blank	ernst.blank@siemens.com	
Johann Hofmann	j.hofmann@reinhausen.com	
Uwe Küppers	ukueppers@ra.rockwell.com	
Ralf Montino	ralf.montino@elmos.com	
Torsten Winkler	torsten.winkler@honeywell.com	
Felix Seibl	seibl@zvei.org	
Carolin Theobald	theobald@zvei.org	
Max Weinmann	max.weinmann@emerson.com	
Artur Wirt	artur.wirt@boschrexroth.de	
Prof. Martin Wollschlaeger	martin.wollschlaeger@inf.tu-dresden.de	

1 Motivation und Zielsetzung

Industrie 4.0 ist in aller Munde, und doch erscheint es notwendig, zu Beginn dieses Positionspapiers die Kernpunkte zur Standortbestimmung und Rolle von Manufacturing Execution Systems (MES) im Industrie-4.0-Kontext darzulegen.

Die deutsche Normungs-Roadmap „Industrie 4.0“ beschreibt als das grundlegende Ziel von Industrie 4.0 die „Nutzbarmachung der in den Informations- und Kommunikationstechnologien erreichten und in der nahen Zukunft zu erwartenden Fortschritte für die produktionstechnischen Unternehmen“ [1].

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht handelt es sich dabei um eine „neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten“ [1]. Als technologische Anforderung, um diese Stufe erreichen zu können, wird „die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen“ genannt sowie die „Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optima-

len Wertschöpfungsfluss abzuleiten“ [1]. Wichtig hierbei ist die „Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen“ zu „unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken“ [1].

Leider wird Industrie 4.0 in der Darstellung oft auf das anschauliche Beispiel der „Digitalen Fabrik“ verkürzt und als angeblicher Kernpunkt von Industrie 4.0 werden die Selbstorganisation der Produktion und die Kommunikation zwischen Werkstück und Maschine hervorgehoben.

Damit in Zusammenhang steht dann oft auch die Frage nach der Rolle von MES in dieser vielfach zitierten Selbstorganisation. Wird MES dadurch überflüssig? Oder ist MES vielmehr ein zentrales Element, diese neue Stufe der Organisation und Steuerung der Wertschöpfungskette zu erreichen? Und wenn ja, wie muss sich MES verändern, um diese Rolle zu erfüllen? Die Arbeitsgemeinschaft MES des ZVEI hat sich mit diesen Fragen auseinandergesetzt und legt die erarbeiteten Positionen, aber auch Fragen in diesem Papier dar.

2 Industrie 4.0

2.1 Die 4. industrielle Revolution

„Wir stehen am Rande einer technischen Revolution“, sagt Klaus Schwabe, Gründer des Weltwirtschaftsforums in Davos, „die unsere Art zu leben, zu arbeiten und miteinander umzugehen grundlegend verändern wird. In ihrem Ausmaß, ihrer Reichweite und ihrer Komplexität wird es sich bei dieser Transformation um eine noch nie erlebte Erfahrung handeln. Wir wissen noch nicht, wie sie sich genau entfalten wird, aber eines ist klar: Die Antwort darauf ist allumfassend und konzentriert, alle Stakeholder des globalen Gemeinwesens, vom öffentlichen über den privaten Sektor bis hin zur akademischen Welt und der Zivilgesellschaft sind einbezogen.“ [2]

Technologisch ist die 4. industrielle Revolution, an deren Beginn wir heute stehen, zwar aus der durch Mikroelektronik geprägten 3. hervorgegangen, jedoch hat sich die Entwicklung z. B. bei Speichermedien, Prozessoren, Datenübertragung und Display-Technologien dermaßen beschleunigt, dass dies im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie zu neuen Anwendungen und Dienstleistungen führt.

Diese Entwicklung stellt damit die Basis für einen qualitativen Umschlag dar, der die Wirkung einer neuen, technischen, gesellschaftlichen und nicht nur industriellen Revolution entfalten wird. Ihr Kern ist die Digitalisierung, die Erfassung, Speicherung und Analyse von Daten in Verbindung mit Individuen, Objekten und Systemen gesellschaftlicher, physischer oder biologischer Art zum Zweck ihrer Beeinflussung, Steuerung und Optimierung hinsichtlich eines gewünschten Ziels.

Industrie 4.0 hat das Ziel, dieses gewaltige Potenzial an Neuerungen für die industrielle Produktion und insbesondere die deutsche Industrie nutzbar zu machen.

„... der Einzug des Internets der Dinge und Dienste in die Fabrik (läutet) eine 4. Industrielle Revolution ein. Unternehmen werden zukünftig ihre Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel als **Cyber-Physical Systems (CPS)** weltweit vernetzen. Diese umfassen in der Produktion intelligente Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel, die eigenständig Informationen austauschen, Aktionen auslösen und sich gegenseitig selbstständig steuern. So lassen

sich industrielle Prozesse in der Produktion, dem Engineering, der Materialverwendung sowie des Lieferketten- und Lebenszyklusmanagements grundlegend verbessern. In den neu entstehenden **Smart Factory** herrscht eine völlig neue Produktionslogik: Die intelligenten Produkte sind eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar und kennen ihre Historie, ihren aktuellen Zustand sowie alternative Wege zum Zielzustand. Die eingebetteten Produktionssysteme sind vertikal mit betriebswirtschaftlichen Prozessen innerhalb von Fabriken und Unternehmen vernetzt und horizontal zu verteilten, in Echtzeit steuerbaren Wertschöpfungsnetzwerken verknüpft – von der Bestellung bis zur Ausgangslogistik. Gleichzeitig ermöglichen und erfordern sie ein durchgängiges Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.“ [3]

Die physische und die virtuelle Welt wachsen zusammen, wodurch Geschäftsbeziehungen und Wertschöpfungsketten der Unternehmen verändert werden. Diese digitale Transformation in der Geschäftswelt führt zu Veränderungen, die mit Chancen und Risiken verbunden sind. Weitreichende Herausforderungen wie neue Geschäftsmodelle und flexible Unternehmensprozesse werden mit der Digitalisierung einhergehen. Die digitale Transformation gilt dabei als Schlüssel zum Erfolg, um der steigenden Komplexität durch verkürzte Lieferzeiten und Individualisierung des Produkts zu begegnen. Die Optimierung von Produktionsprozessen wird durch künstliche

Intelligenz sowie durch selbstlernende Systeme kontinuierlich ausgebaut. Diese selbstlernenden Systeme benötigen wiederum die Unterstützung von MOM-Systemen.

Es sind unter anderen die folgenden technischen Entwicklungen, die im Umfeld von Industrie 4.0 einen Innovationsschub auslösen werden:

1. Die Möglichkeit, kostengünstig physische Objekte mit Rechenleistung, Speicherkapazität, Sensorik und Kommunikationsschnittstellen zu bestücken – Smart Objects, Cyber-Physical Systems
2. Die Möglichkeit, mit diesen Objekten über weltumspannende digitale Netze zu kommunizieren – Internet der Dinge, (Industrial) Internet of Things / (I)IoT
3. Die Möglichkeit, Daten und Rechenleistung in verteilten Systemen zu speichern und zur Verfügung zu stellen – Cloud Computing
4. Die Möglichkeit, große Datenmengen zu speichern und zu analysieren – Big Data, Algorithmen
5. Die Möglichkeit, verteilte Funktionalität über Dienste aufzurufen – Service Oriented Architecture (SOA), Internet der Dienste
6. Die Möglichkeit, über digitale Kommunikationsstrukturen und -mittel mit dem Menschen zu kommunizieren – Smart Phones, Datenbrillen, soziale Netzwerke, Virtual Reality
7. Die Möglichkeit, künstliche Intelligenz zu fördern und in bestehende Produktionsprozesse miteinzubinden

Abb. 1: Soziale und ökonomische Herausforderungen



Quelle: iTAC Software

2.2 Plattform Industrie 4.0: benannte Ziele

Doch nicht nur die technische Seite sollte im Zusammenhang mit Industrie 4.0 betrachtet werden. Die Entwicklung findet in einer globalisierten Welt statt und hat zumindest in den hoch entwickelten Ländern weitere Herausforderungen zu bewältigen, wie in Abbildung 1 gezeigt.

Hinzu kommen zunehmende Ressourcen- und Energieknappheit, die eine höhere Effizienz, Produktivität und Qualität immer wichtiger erscheinen lassen.

Technisch umfasst Industrie 4.0 die Digitalisierung mit dem Ziel der komplett vernetzten Produktion. Dies erfordert insbesondere die Durchgängigkeit der Informationen entlang der Wertschöpfungsketten in alle Richtungen. In diesem Kontext sind von der Plattform Industrie 4.0 folgende acht Ziele definiert worden:

1. Standardisierung

Offene Standards für eine Referenzarchitektur ermöglichen firmenübergreifende Vernetzung und Integration über Wertschöpfungsnetzwerke

2. Beherrschung komplexer Systeme

Nutzen von Modellen zur Automatisierung von Tätigkeiten und zur Integration der digitalen und realen Welt

3. Flächendeckende Breitbandinfrastruktur für die Industrie

Sicherstellung der Anforderungen bei Industrie 4.0 an den Datenaustausch bzgl. Volumen, Qualität und Zeit

4. Sicherheit

Das Ziel ist hier die Gewährleistung der Betriebssicherheit (engl. Safety), des Datenschutzes (engl. Privacy) und der IT-Sicherheit (engl. Security)

5. Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung

Klärung der Implikationen für den Menschen und Arbeitnehmer als Planer und Entscheider in den Industrie-4.0-Szenarien

6. Aus- und Weiterbildung

Formulierung der Inhalte sowie innovativer Ansätze für die Aus- und Weiterbildung

7. Rechtliche Rahmenbedingungen

Das Ziel ist die Schaffung erforderlicher – möglichst europaweit einheitlicher – rechtlicher Rahmenbedingungen für Industrie 4.0 (Schutz digitaler Güter, Vertragsrecht bei zwischen Systemen geschlossenen Verträgen, Haftungsfragen, ...)

8. Ressourceneffizienz

Verantwortungsvoller Umgang mit allen Ressourcen (personelle und finanzielle Ressourcen sowie Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) als Erfolgsfaktor für die zukünftige industrielle Produktion

Der Weg zu Industrie 4.0 ist ein evolutionärer Prozess. Es bedarf der Weiterentwicklung und Standardisierung der vorhandenen Basistechnologien, um die Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette zu erreichen.

3 Vom MES zum digitalisierten Betriebsmanagement

Welche Rolle werden Manufacturing Execution Systems unter Industrie 4.0 oder Smart Manufacturing, wie es außerhalb des deutschsprachigen Raums genannt wird, künftig noch spielen? Die Antworten auf diese Frage reichen von „keine, weil die hierarchische Struktur PLS, MES, ERP sich auflösen wird“ über „eine immer geringere Rolle, weil es durch erweiterte PLS- und ERP-Funktionen kannibalisiert wird“ bis hin zu „eine zentrale Rolle, weil MES das entscheidende Bindeglied zur Organisation der optimalen Wertschöpfungskette sein wird“.

Orientiert man sich an der betriebswirtschaftlichen Zielsetzung von Industrie 4.0, so wird schnell klar, dass die „Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten“, mehr an Flexibilität, Dynamik und Funktionalität benötigt, als dies heutige Manufacturing-Execution-Systeme mit ihrem traditionellen Fokus auf das Ausführungsmanagement bieten.

Die angebotenen Lösungen im Bereich MES werden sich weiterentwickeln müssen, hin zu einem umfassenden Betriebsmanagement (Manufacturing Operations Management; MOM), das in der Lage ist, den „optimalen Wertschöpfungsfluss“ zu organisieren und dabei alle Aspekte des Betriebsmanagements zu berücksichtigen. Zieht man die Komplexität dieser Aufgabe sowie die Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien in Betracht, so werden heutige monolithische Systeme überdacht werden müssen. Der heute erkennbare Trend geht

zu Lösungen in einem kollaborativen Zusammenspiel unterschiedlicher modularer Komponenten und Funktionen des Betriebsmanagements.

3.1 Manufacturing Execution Systems

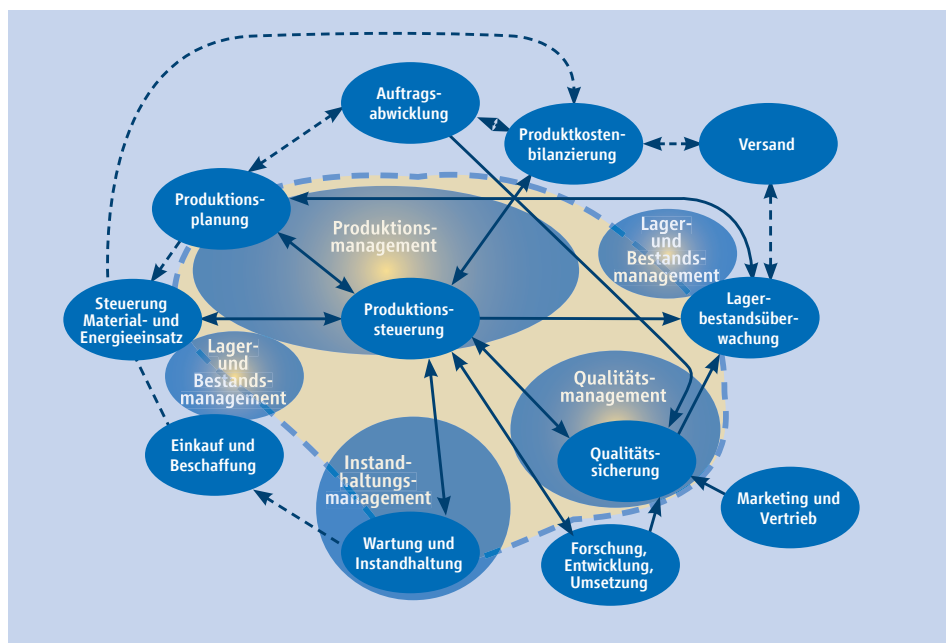
Trotz des oben erwähnten Zwangs zur Weiterentwicklung haben die heutigen Manufacturing Execution Systems nach wie vor ihre volle Daseinsberechtigung, denn sie liefern schon jetzt Teilaspekte und Informationen vor allem im Bereich des Produktionsmanagements, die man nicht ungenutzt lassen sollte.

Zur Definition der Aufgabenstellung von MES sei an dieser Stelle auf diverse Publikationen verschiedener Verbände und Organisationen verwiesen:

- IEC/EN 62264, Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen
- VDI-Richtlinie 5600, Fertigungsmanagementsysteme (MES)
- VDMA Einheitsblatt 66412-10, Manufacturing Execution Systems – Daten für Fertigungskennzahlen
- Namur Arbeitsblatt 94, MES: Funktionen und Lösungsbeispiele der Betriebslebene

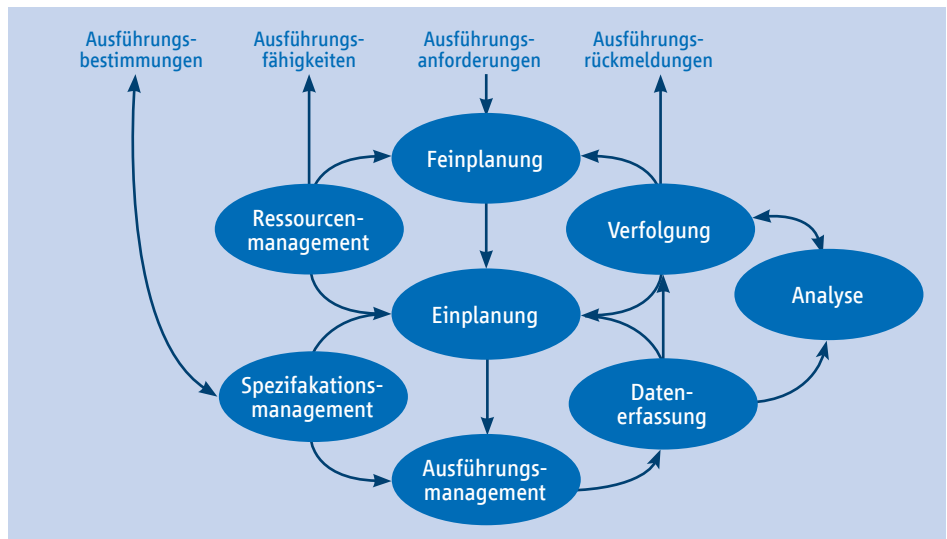
Auskünfte, wie und in welcher Form MES die verschiedenen Aspekte der Produktion verbessern kann, gibt die Broschüre der AG MES des ZVEI aus dem Jahr 2010: „MES – Branchenspezifische Anforderungen und herstellernerneutrale Beschreibung von Lösungen“ [4], die nach wie vor Gültigkeit besitzt.

Abb. 2: Funktionsmodell aus IEC/EN 62264



Quelle: ZVEI, nach IEC/EN 62264

Abb. 3: Generisches Aktivitätenmodell aus IEC/EN 62264



Quelle: ZVEI, nach IEC/EN 62264

3.2 Betriebsmanagement nach IEC/EN 62264

Trotz der Bedeutung und des Nutzens von MES heute sollte sich die zukünftige Entwicklung hin zu einem umfassenden Betriebsmanagement, das den Anforderungen von Industrie 4.0 gerecht wird, an der IEC/EN 62264 orientieren, da deren Umfang alle Bereiche des Betriebsmanagements abdeckt.

Dieser Standard identifiziert insgesamt zwölf Funktionen, die einer Produktion zuzuordnen sind (siehe hellblaue Ovale in Abbildung 2). Sechs dieser Funktionen sind dem Bereich Betriebsmanagement (Manufacturing Operations Management; MOM) zuzuordnen (gelb hinterlegte Funktionen) und werden in die Bereiche Produktions-, Lager- und Bestands-, Qualitäts- und Instandhaltungsmanagement (siehe dunkelblaue Ovale in Abbildung 2) unterteilt.

Innerhalb der Bereiche definiert der Standard die in Abbildung 3 dargestellten Aktivitäten mit ihren Modellen, Attributen und dem erforderlichen Datenaustausch innerhalb der Bereiche.

Aber auch zwischen den Aktivitäten der Bereiche Produktion, Lager und Bestand, Instandhaltung und Qualität ist der Austausch von Informationen notwendig und im Standard definiert.

Damit bietet die IEC/EN 62264 eine geeignete Grundlage für das unter Industrie 4.0 notwendige Betriebsmanagement.

Industrie 4.0 wird diese Definition des Betriebsmanagements nicht überflüssig machen.

Im Gegenteil: Ohne digitalisiertes Betriebsmanagement ist Industrie 4.0 nicht denkbar. Ohne digitalisiertes Betriebsmanagement wird die angestrebte neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette nicht erreicht. Ob die dafür notwendigen Systeme, Algorithmen, Services und Transaktionen weiterhin unter dem Begriff „Manufacturing Execution Systems“ (MES) firmieren oder unter dem Begriff „Manufacturing Operations Management“ (MOM) ist dabei zweitrangig: Die Funktionen des MES sind zum einen weiterhin notwendig und müssen zum anderen Industrie-4.0-tauglich implementiert und erweitert werden.

Welcher Art diese Veränderungen sein werden, soll im Weiteren dargestellt werden.

3.3 Absehbare Entwicklungen von MES unter Industrie 4.0

Die heutigen MES werden sich im Kontext von Industrie 4.0 hin zum Manufacturing Operations Management (MOM) wandeln. Es ist davon auszugehen, dass im Zuge des Wandels die MES zukünftig am Markt als zunehmend modulare Systeme anzutreffen sind. Der Fokus wird – weg von der horizontalen bzw. vertikalen Systemintegration – auf die fachbereichsübergreifende (Geschäfts-)Prozessintegration gelegt werden. Diese fachbereichsübergreifende Integration wird in der Praxis nicht durch ein monolithisches Softwaresystem geleistet werden können, sondern nur durch ein reibungsloses Zusammenspiel verschiedener Teilsysteme, die dann das individuelle MOM eines Fertigungsunternehmens oder Anlagenbetreibers bilden. Dazu wird es notwendig sein, dass die Komponenten aufeinander

abgestimmt sind, um beispielsweise Systembrüche zu vermeiden.

Im Rahmen von Industrie 4.0 reicht es nicht aus, nur Datensätze zwischen Systemen auszutauschen. Künftig werden Systeme sehr viel interaktiver zusammenarbeiten. Die ausgetauschten Daten müssen interpretiert werden können (durchgängige Semantik).

Um dies zu erreichen, müssen heutige MES ihren Horizont erweitern, über die Fabrikebene (Shop-floor) hinausblicken und aus den zur Verfügung stehenden Daten z. B. mithilfe von Big-Data-Techniken wertvolle Informationen erzeugen. Mit dieser Entwicklung wird auch ein erweiterter Datenaustausch mit dem ERP notwendiger werden, als das heute der Fall ist. Auf Basis dieser Daten können Kennzahlen ermittelt werden, die Hinweise auf weitere Optimierungsmöglichkeiten geben und somit eine erweiterte und flexiblere Analytik erfordern.

Kombiniert man diese Kennzahlen aus dem operativen Herstellungsprozess mit den aktuellen prozessnahen Daten, die im Zuge von Industrie 4.0 zur Verfügung stehen werden, und den Möglichkeiten von Big-Data-Techniken, so können neue, fachbereichsübergreifende Informationen gewonnen werden. Dabei könnten z. B. Abhängigkeiten zwischen der Energieaufnahme eines Pumpenmotors und der Produktqualität erkannt und somit Rückschlüsse auf den Verschleiß der Pumpe gezogen werden.

Hier sind unzählige Frage- und Aufgabenstellungen denkbar, die alle eines gemeinsam haben. Sie können nur gestellt werden, wenn

- die Datenbasis groß genug ist,
- die Auswertemöglichkeiten vorhanden sind,
- sie fachbereichsübergreifend beantwortet werden,
- die notwendigen Schlüsse daraus gezogen werden und
- die Erkenntnisse in den operativen Betrieb zurückfließen.

Hierfür bilden die MES, wie sie heute implementiert werden, die Grundlage zum zukünftigen MOM. Auf dem Weg zum MOM werden sich Veränderungen in den verschiedensten Bereichen ergeben, von denen einige nachfolgend beschrieben werden.

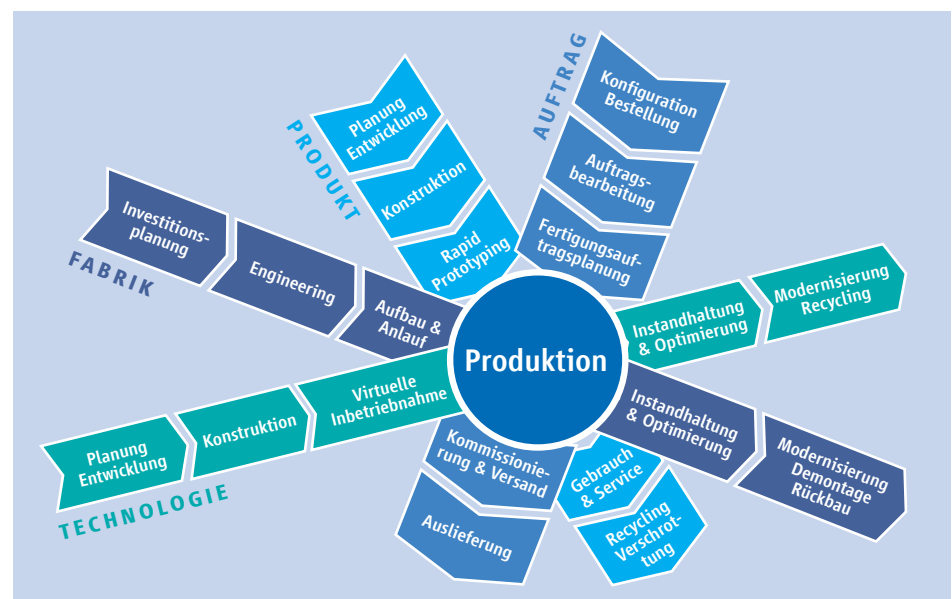
3.3.1 Durchgängigkeit und Anreicherung von Daten

Eine wesentliche Zielsetzung von Industrie 4.0 ist die Verfügbarkeit aller relevanten Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts. MOM-Lösungen müssen deshalb in Zukunft alle vor der eigentlichen Produktion angereicherten Daten nutzen und die selbst erzeugten oder erfassten Daten an die nachfolgenden Glieder der Wertschöpfungskette, wie in Abbildung 4 gezeigt, weitergeben.

3.3.2 Überwindung organisatorischer Strukturen

Organisatorische Unternehmensstrukturen, die über die Jahre gewachsen sind – und mit ihnen Verantwortungsbereiche und dazugehörige

Abb. 4: Die vier Lebenszyklen in der industriellen Fertigung



Quelle: nach ARC

IT-Infrastrukturen – und sich an organisatorischen Einheiten orientiert haben, werden signifikanten Änderungen unterzogen werden. In den gewachsenen Verantwortungsbereichen entstanden Software- und Managementsysteme für abgegrenzte Aufgabenstellungen. Diese werden unter der Betrachtung von Smart Manufacturing und Industrie 4.0 aufgelöst werden, da hier die stärkere Kollaboration im Fokus steht und die Verantwortungsbereiche nicht mehr klar abgegrenzt sein müssen. Smart Manufacturing und Industrie 4.0 adressieren die feingranulare Strukturierung und Modularisierung von Fertigungsanlagen. Dieser Prozess wird vermutlich schnell voranschreiten und erfordert auch das Aufbrechen von Organisationsstrukturen. Managementsysteme für das Betriebsmanagement müssen also „Mediatoren“ zwischen modularisierter, dynamisch anpassbarer Produktionsinfrastruktur und den Organisationsstrukturen sein.

3.3.3 Neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle

Eine weitere absehbare Entwicklung ist die Herausbildung neuer Geschäftsmodelle im Bereich Betriebsmanagement mit Funktionen als Service zur weiteren Optimierung von Prozessabläufen und Kosten.

Die Neubetrachtung von Geschäftsperspektiven bedeutet für jedes Unternehmen, sich bezogen auf neue Möglichkeiten zu überlegen, welchen zukünftigen Veränderungen und Herausforderungen es sich stellen muss. Durch die Digitalisierung von Prozessen werden Unternehmensstrukturen und Organisationen schneller veränderbar und dennoch kontrollierbar sein, neue Partnerschaftsmodelle werden möglich und Produktionsprozesse über mehrere Produk-

tionsstandorte und Unternehmen vereinfacht. Die Schaffung geeigneter Voraussetzungen für die Produktion von Komponenten und die damit verbundenen Prozesse wird vereinfacht und beschleunigt, sodass sich die arbeitsteilige Welt weiterentwickeln wird (z. B. Manufacturing-as-a-Service-Modelle, Nutzung gemeinsamer Komponenten, herstellerübergreifende Prozesse etc.).

Es entstehen neue Anforderungen an das „durchzusetzende (exekutive)“ und „planerische“ Management der Produktion. Die elementaren Funktionen eines MES werden erhalten bleiben, künftige MES müssen jedoch modular, im Sinne von MOM, aufgebaut sein und sich an den Funktionen nach IEC 62264 orientieren.

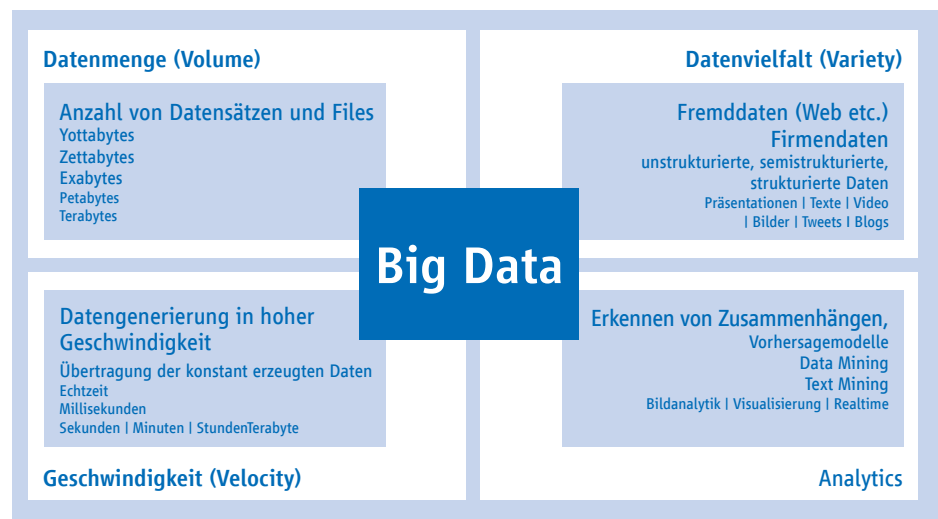
3.3.4 MES, MOM und Big Data

Das Thema „Big Data“ wird, Stand heute, von den meisten Produktionsverantwortlichen noch recht skeptisch betrachtet. Man sammelt und archiviert die Daten, für die man auch eine Verwendung hat oder verpflichtet ist, Nachweise zu generieren. Big-Data-Analysen, wie sie bspw. in sozialen Netzwerken oder im Bereich des Verbraucherverhaltens betrieben werden, sind den produzierenden Betrieben weitgehend fremd.

Im Leitfaden des Bitkom [5] wird der Begriff „Big Data“ wie folgt definiert: „Big Data unterstützt die wirtschaftlich sinnvolle Gewinnung und Nutzung entscheidungsrelevanter Erkenntnisse aus qualitativ vielfältigen und unterschiedlich strukturierten Informationen, die einem schnellen Wandel unterliegen und in bisher ungekanntem Umfang zu Verfügung stehen.“

Die ebenfalls dort zu findende Abbildung veranschaulicht das.

Abb. 5: Merkmale von Big Data



Quelle: Bitkom

Tabelle 1: Geschäftsnutzen bei Big-Data-Ausprägungen

Geschäftsnutzen	Erläuterung
Entscheidungen/ Risikobewertung	Der Big-Data-Einsatz kann die Entscheidungsgrundlagen verbessern und die Bewertung von Risiken erleichtern.
Prozess- optimierung	Die tiefer gehende Analyse interner und externer Daten kann zur Optimierung von Geschäftsprozessen und zur Verminderung von Kosten beitragen.
Profitabilität	Eine mit Big Data unterstützte Absatz- und Bedarfsplanung gewährleistet die Lieferfähigkeit, beugt Umsatzverlusten vor und steigert so die Profitabilität.
Preisgestaltung	Big-Data-Analysen bieten die (vorher so nicht vorhandene) Möglichkeit, Preise in Echtzeit an die aktuelle Marktsituation anzupassen.
Kundenorientierung/ Potenzialausschöpfung	Big-Data-Analysen erleichtern die Ausrichtung von Angeboten an die spezifischen Eigenheiten von Kunden(-gruppen) sowie die Aufspürung von Marktlücken.

Quelle: Bitkom

Die dargestellten technischen Entwicklungen fördern Big Data ungemein (billige und große Speicher, Vernetzung, Datendurchgängigkeit etc.). Damit können aus Big Data bekannte Verfahren und Methoden auch für die Produktion eingesetzt werden. Eines der wesentlichen Merkmale dabei ist, dass heute nicht bestimmt werden kann, welche Daten in welcher Relation für eine bestimmte Untersuchung benötigt oder von Relevanz sein werden. Damit stellt sich auch für die produzierenden Unternehmen die Aufgabe, Daten ohne heute bekannten Verwendungszweck so umfangreich wie möglich zu sammeln und so zu archivieren, dass möglichst viele Bezüge hergestellt werden können (zeitlich, Produktionseinrichtungen, Zulieferer, Produktionsbedingungen usw.).

MES und MOM sind hinsichtlich Big Data mindestens doppelt betroffen:

- Sie sind Lieferant von Daten und damit als Datenquellen in Big-Data-Konzepte einzubinden.
- Sie sind Empfänger von Informationen, die aus Big-Data-Analysen gewonnen werden.

MES und MOM setzen die unter „Entscheidungen/Risikobewertung“, „Prozess-Optimierung“ und „Profitabilität“ in der unten stehenden Tabelle aufgeführten Planungs- und Optimierungsaufgaben um.

3.3.5 Typische Prozessumgebungen für MES und MOM

3.3.5.1 Zentrale Aufgaben

Auch bei nach I4.0 aufgestellten Produktionsverfahren wird es weiterhin eine Reihe von Aufgaben geben, die zentral und fertigungsbereichsübergreifend die gesamte Fertigung abdecken. Darunter fallen beispielsweise:

- Übergeordnete Aufgaben (Grobplanung der Fertigungsaufträge und der Ressourcenverfügbarkeit), jedoch mit dynamischer Rückmeldung der aktuellen Ressourcensituation
- Die gesamte Produktion betreffende Key-Performance-Indicators (KPI)
- Archivierung von Produktionsdaten (zentral oder dezentral, aber mit zentralem analytischem Ansatz (den jeweiligen Produkten/Aufträgen zugeordnet)
 - Zur Erfüllung gesetzlicher Auflagen
 - Zur Rückverfolgbarkeit bei auftretenden Qualitätsfragen
- Fertigungs- oder unternehmensweite Sammlung von Qualitätsdaten (ggf. bereits in verdichteter Form von dezentralen Einheiten bereitgestellt)

3.3.5.2 Dezentrale Aufgaben

Es wird unter I4.0 künftige Aufgaben geben, die eher dezentral organisiert werden. Darunter fallen beispielsweise:

- MES-Funktionen im Sinne eines Line-Managements
Dies führt dazu, dass Hierarchien von MES-Systemen entstehen können, die miteinander kommunizieren und Daten austauschen müssen.
- KPI-Berechnung über Linien oder auch für einzelne Maschinen/Apparate
- Flexible Einplanung von (Teil-)Aufträgen unter Berücksichtigung lokaler Ressourcenverfügbarkeiten
- Qualitätsdatenerfassung, Verdichtung und Bereitstellung für überlagerte Systeme
- Einbindung von Serviceaufträgen und die Betrachtung des MES, wann ein Auftrag (Fertigung und Service) spätestens abgeschlossen sein sollte

3.3.5.3 Koordinierung von Aufgaben

In der Produktion fungieren MES zum einen als Bindeglied zwischen den ERP-Systemen und der physischen Fertigung (vertikale Koordination), zum anderen als Bindeglied zwischen den einzelnen, den Fertigungsprozess ausführenden Einheiten sowie als Koordination von begleitenden Funktionen wie Instandhaltung etc. (horizontale Koordination).

Vertikale Koordination

Ein vom ERP-System ausgelöster Fertigungsauftrag wird durch das MES übernommen und auf Fertigungsebene (Shopfloor) gesteuert, bis er abgeschlossen ist. Während das ERP-System Aufträge untereinander plant, koordiniert und terminiert (z. B. durch Vergabe von Start-/Endterminen), kommt dem MES eine Steuerungsaufgabe innerhalb der Abarbeitung der einzelnen Aufträge zu.

Dabei gewährleistet das MES nicht nur einen ganzheitlichen Datenfluss vom ERP-System hin zur Fertigung, sondern meldet sowohl Teil-

schritte als auch abgeschlossene Aufträge an das ERP-System zurück. Durch diese Rückmeldung wird erreicht, dass das ERP-System seine Auftragsplanung auf Realtime-Daten aufbauen kann und nicht auf Grundlage geplanter Daten oder Kapazitäten rechnen muss. So wird es möglich, dass das ERP-System Aufträge unter Berücksichtigung von aktuell zum Bedarfszeitpunkt erhobenen Informationen vergibt (z. B. aktueller Prozessstatus oder Bestand der Werkzeugmagazine einzelner Maschinen).

Horizontale Koordination

Im Rahmen der horizontalen Koordination werden die Maschinen durch das MES informationstechnisch vernetzt. Eine wesentliche Aufgabe liegt in der Bereitstellung der nötigen Schnittstellen, um eine Kommunikation zwischen den heute noch häufig mit proprietären Datenformaten arbeitenden Maschinen zu ermöglichen. Durch die direkte Weitergabe der Maschinendaten werden Medienbrüche sowie zeitintensive und potenziell fehlerhafte, teilweise wiederholt vorzunehmende manuelle Eingaben vermieden.

Praxisbeispiel [6]:

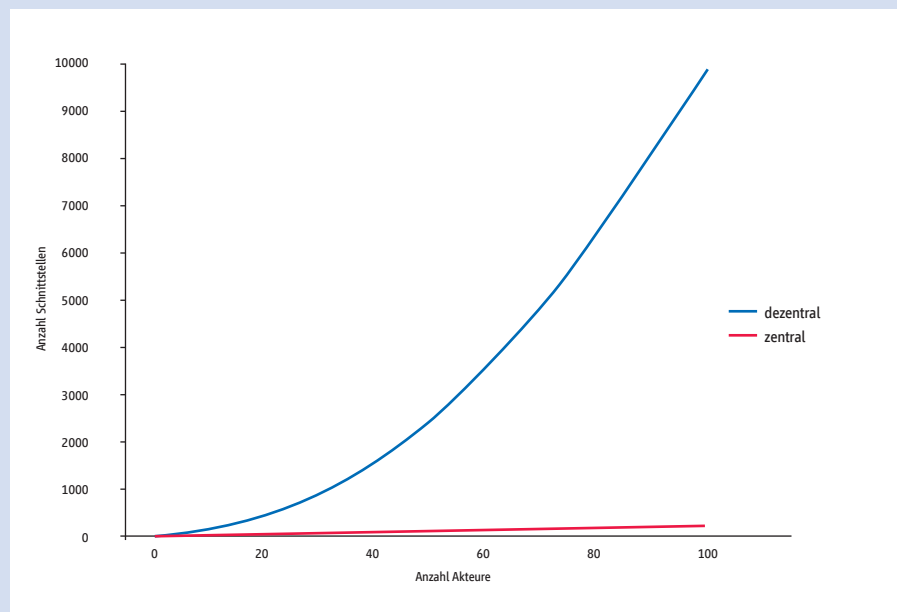
Der heute noch zu bezahlende Preis wegen der marktüblichen Einzelschnittstellen sind zahllose Kommunikationsprobleme und entsprechende Kosten.

Die Anzahl an Schnittstellen S einer dezentral stattfindenden Kommunikation zwischen n Akteuren wird durch folgende Formel beschrieben: $S(n) = n(n - 1)$

Eine zentral stattfindende Kommunikation reduziert die Anzahl der Schnittstellen erheblich, da stets nur zwei Schnittstellen je zusätzlichen Akteur nötig sind. Die Anzahl an Schnittstellen einer zentralen Kommunikation zwischen n Akteuren beträgt somit stets: $S(n) = 2n$

Auch im Kontext von Industrie 4.0 wird ein MES ein zentraler Daten-Hub sein, der die Anzahl benötigter Schnittstellen deutlich reduziert und die Kosten beherrschbar macht.

Abb. 6: Anzahl Schnittstellen $S(n)$ bei dezentraler und zentraler Kommunikation



Quelle: Maschinenfabrik Reinhausen

3.3.5.4 Dynamisches Ausführungsmanagement

Die Flexibilisierung betrieblicher Abläufe ist ein wichtiger Bestandteil im digitalen Rüst-Workflow in einer Fertigung und wird am Beispiel einer diskreten Fertigung dargestellt. Die Umstellung von althergebrachten starren Abläufen in dynamische Abläufe ist Bestandteil der Digitalisierungsstrategie.

- Als „starr“ bezeichnet man alle Systeme, deren Abläufe durch Vorbedingungen eindeutig und vorhersagbar festgelegt sind.
- Als „dynamisch“ bezeichnet man alle Systeme, die ihre Vorbedingungen automatisch an eine neue Situation anpassen.

Zur Unterscheidung „starr versus dynamisch“ wird hier beispielhaft für die diskrete Fertigung die Aktivität „Bereitstellung Werkzeuge“ beschrieben.

Praxisbeispiel [6]:

Ausgangssituation:

Werkzeugmaschinen benötigen zur Bearbeitung der Werkstücke unterschiedlichste Werkzeuge und haben dafür ein Werkzeugmagazin. Im Durchschnitt haben Werkzeugmagazine eine Kapazität zwischen ca. 20 und 200 Werkzeugen. Der Begriff „Werkzeug-Nettobedarf“ gehört zum Rüstprozess und ist wie folgt zu verstehen:

Starre Lösung:

Eine Fachabteilung entscheidet, welche unterschiedlichen Werkstücke auf einer Maschine gefertigt werden sollen und wie viele und welche Werkzeuge dafür auf dieser Maschine standardmäßig ins Werkzeugmagazin geladen werden und dort immer verbleiben.

Beispiel: Bei einem Werkzeugmagazin mit insgesamt 120 Plätzen werden die 80 vermeintlich häufigsten Werkzeuge beladen und die restlichen 40 Plätze freigehalten, um auftragsspezifische Sonderwerkzeuge nachladen zu können, die allerdings nach Auftragsende sofort wieder entladen werden müssen, damit immer Platz ist für die nächsten Sonderwerkzeuge des nächsten Auftrags.

Dynamische Lösung

Die ideale Lösung ist eine dynamische Werkzeugmengenbedarfsrechnung wie folgt:

Eine neue Maschine kommt ins Haus. Das Werkzeugmagazin bleibt leer. Erster Auftrag mit erstem NC-Programm wird per PPS/ERP-System ausgelöst. Ein MES scannt das NC-Programm und findet dadurch alle Werkzeug-Ident-Nummern. Das MES verbindet sich nun automatisch mit der Werkzeugmaschine und liest online (während die Maschine produziert) das Werkzeugmagazin aus und kann

somit just in time die fehlenden Werkzeuge berechnen und in der Werkzeugbereitstellung anfordern. Jeder weitere Auftrag mit neuem NC-Programm folgt diesem Weg.

Durch die dynamische Werkzeugmengenbedarfsrechnung werden im Magazin befindliche Werkzeuge automatisch erkannt und es werden nur die fehlenden Werkzeuge bestellt. Auf diesem Weg füllt sich das Werkzeugmagazin Schritt für Schritt automatisch mit den exakt richtigen Werkzeugen.

Nach einiger Zeit ist das Werkzeugmagazin voll und eventuell benötigte Werkzeuge für den folgenden Arbeitsgang können nicht mehr beladen werden. Das MES berechnet nun automatisch über den Auftragshorizont im ERP-System und eventuell vorhandene Reststandzeiten die benötigte Menge an Werkzeugen, die bevorzugt entladen werden können.

Vorteile dieser dynamischen Lösung

Das Werkzeugmagazin schwingt automatisch durch die intelligente Be- und Entladestrategie auf ein Optimum ein, ohne dass „manuell“ darüber entschieden werden muss, welche Werkzeuge zu be- oder entladen sind. Hierbei werden auch dynamisch erfasster Verschleiß und mögliche Reparaturen betrachtet und berücksichtigt.

3.3.6 Produktionsmanagement

Im Bereich Spezifikationsmanagement:

Spezifikationen werden künftig nicht wie bisher in Herstellvorschriften, Fertigungsplänen oder Rezepten im MES neu von Hand erstellt, sondern als digitale Daten aus den vorgelagerten Systemen übernommen (z. B. Forschung und Entwicklung) und mit den aus dem Ressourcenmanagement bekannten Daten über Produktionseinheiten und ihren Fähigkeiten zu Ausführungsspezifikationen verknüpft.

Im Zuge der Produktspezifikation außerhalb des eigenen Unternehmens und der Individualisierung von Produkten (Losgröße 1), die z. B. vom Käufer selbst konfiguriert oder vom bestellenden Unternehmen spezifiziert und elektronisch übertragen werden, muss das Spezifikationsmanagement in der Lage sein zu erkennen, ob das Produkt mit den vorhandenen Ressourcen und ihren Fähigkeiten produziert werden kann, und diese Information als Teil der Auftragsbestätigung an das ERP liefern.

Im Bereich Ressourcenmanagement:

Mitarbeiter: Die erforderliche Qualifikation und Verfügbarkeit von Mitarbeitern wird systemgestützt durch entsprechenden Abgleich produktionsrelevanter Daten im Personalinformationssystem geprüft und bestätigt. Gegebenenfalls wird eine notwendige Anforderung erstellt.

Anlagen (Equipment): Um die Verfügbarkeit der notwendigen Maschinen und Anlagen sicherzustellen, erfolgt ein automatischer Zugriff auf alle produktionsrelevanten Daten, wie aktueller technischer und operativer Zustand, geplante Wartung und Kalibrierung, aktuelle und geplante Belegung u. a. m.

Material: Das benötigte Material wird hinsichtlich aktuellem und vorhersehbarem Bestand ermittelt (bestätigtes Lieferdatum, verplante Mengen) und entsprechend zugeordnet.

Im Bereich Feinplanung:

Dynamische Planungs- und Optimierungsverfahren ermitteln die Belegung von Maschinen, Anlagen, Montageplätzen etc. unter Einbezug von Randbedingungen, wie optimale Wertschöpfung, Minimierung von Kosten, wirtschaftliche Verfügbarkeit von Ressourcen, gesetzte Termine, zu erreichende Qualität etc.

Im Bereich Einplanung:

Die in der Feinplanung ermittelten Werte werden digitalisiert in Form von Rüst- und Fertigungsaufträgen an die Fertigungseinrichtungen übermittelt.

Im Bereich Ausführungsmanagement:

Die Produktionstätigkeiten werden durch die Vorstufen Feinplanung und Einplanung dynamisiert, starre, vorgegebene Tätigkeiten und Abläufe werden durch dynamisches Taskmanagement, Bedienerführung bei Supportaufgaben und Troubleshooting in einer hochautomatisierten Produktion und Fertigung abgelöst.

Im Bereich Datenerfassung:

Jeder Produktionsvorgang und Fertigungsschritt wird begleitet durch eine permanente Erfassung produktionsrelevanter Daten. Die heute übliche „Fertigmeldung“ wird dabei mit den gesammelten Daten korreliert, die dann zu Optimierungs-, Qualitäts- und Nachweiszwecken ausgewertet werden.

Im Bereich Analyse:

Die Analyseverfahren werden sich dahingehend wandeln, dass sie nicht nachgeordnet in Laboren oder Prüfeinrichtungen angewandt werden, sondern online und produktionsbegleitend. Ergebnisse der Analysen können damit unmittelbar an den Produktionsprozess rückgekoppelt werden. Dies stellt eine wichtige Voraussetzung auf dem Weg zum MOM dar.

Im Bereich Verfolgung:

Die flexiblen Prozesse und deren Ereignisse sowie die in den dynamischen Ausführungen, Feinplanungen und Einplanungen geänderten Abfolgen werden durch das MOM verfolgt, und man erreicht so auch weiterhin bei der Stückzahl eine nahtlose Verfolgbarkeit oder Rückverfolgbarkeit der Wege, der verwendeten Ressourcen, der notwendigen Analysen und der Daten zur höheren Qualitätssicherung der einzelnen Fertigung und des einzelnen Produkts.

Eine der Visionen von Industrie 4.0 oder der digitalen Fabrik ist die sich selbst organisierende Produktion. Selbst wenn man diese Vision stringent verfolgen würde, wird man feststellen, dass man um planerische Aufgaben und um vom Betreiber und auch vom Gesetzgeber vorgegebenes Berichtswesen nicht umhinkommt. Bisher und auch künftig werden diesbezüglich MES und MOM eine bedeutende Rolle spielen.

3.3.7 Lager- und Bestandsmanagement

Die Entwicklungen im Lager- und Bestandsmanagement werden durch den Einsatz moderner Informationssysteme (Cloud-Technologien, IoT, Big Data etc.) getrieben. Das Lager wird sich bis auf Artekelebene zu einem intelligenten Lager entwickeln. Cyber-physische Systeme, die über

das Internet der Dinge kommunizieren, sind die Kernkomponente für die Lagergestaltung und die Optimierung der Lagervorgänge und Intralogistik.

Automatisierte Bestellungen werden bei Industrie 4.0 voraussichtlich zur Regel. Dies ist nur möglich, wenn ein Lager und ein Bestand präzise und umfänglich durch die zugehörigen Daten abgebildet wird und dynamisch der Bedarf bzw. vorgesehene präventive Instandhaltungen berücksichtigt werden.

Eine enge Verzahnung zwischen der Produktion, Planung und Intralogistik ist Voraussetzung für eine produktions-synchrone Beschaffung und lagerlose Materialversorgung.

3.3.8 Instandhaltungsmanagement

Eine hohe Maschinenverfügbarkeit ist ein kritischer Erfolgsfaktor für produzierende Unternehmen. Außerplanmäßige Stillstände verursachen hohe Kosten durch ungeplante Wartungsaufgaben, die nur mit hohem Aufwand realisiert werden können.

I4.0-ertüchtigte Maschinen und Anlagen werden immer mehr Daten generieren. Es wird eine wichtige Aufgabe sein, diese Daten nicht nur zu sammeln und in der Cloud den Geschäftspartnern und Anlagenbauern zur Verfügung zu stellen, sondern die Informationen gewinnbringend und kostensenkend zu nutzen. Mittels analytischer Verfahren werden aus den generierten Daten wertvolle Erkenntnisse für präventive dynamische Maßnahmen gewonnen.

Alle Daten, die für aktuelle und dynamische Instandhaltung relevant sind, müssen als Basis für eine effizientere Planung künftiger Produktionsplanungs- und Produktionsoptimierungsprozesse genutzt werden.

Eines der vorhersehbaren Szenarien ist, dass eine Maschine über geeignete Sensorik kontinuierlich Daten über ihren aktuellen Zustand sammelt, zugleich die Stillstände aus der Vergangenheit sowie deren Ursachen in Betracht zieht und so rechtzeitig vor dem Ausfall mitteilt, wann die Wartung ausgeführt werden muss. Notwendige Verbrauchsmaterialien und Ersatzteile werden zum Wartungstermin – abgestimmt mit dem dynamisch angepassten Produktionsplan – automatisch bestellt bzw. bereitgestellt.

3.3.9 Qualitätsmanagement

Nicht nur immer komplexer werdende Produktionsprozesse, auch der Gesetzgeber und der stets weiter ausgebaut Verbraucherschutz erfordern in Zukunft eine permanente, gezielte Überwachung der Produktqualität. Nur so können unerwartete Veränderungen der Eigenschaften des Produkts sofort erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Auch hier wird die Dynamisierung der Qualitätsabläufe Einzug halten. So werden auf Basis von Online- und Inlineanalysen und deren Daten sich verändernde Qualitätsanforderungen aufgezeichnet, ausgewertet und in Form zu ergreifender Maßnahmen an die Produktion zurückgeführt. Damit können geschlossene Qualitätsregelkreise geschaffen werden, die eine höchstmögliche Qualität der Produkte und der Produktionsverfahren erzielen.

Komplexe Messstrategien und Auswertungen liefern die Istwerte über die Prozessqualität, die in die produktionsbezogenen Regelkreise eingebunden werden können. Dies befähigt die Fertigungsplanung und -steuerung, auf Qualitätsänderungen „in-line“ und „on-line“ zu reagieren.

4 Einordnung in das RAMI4.0

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) [7] ist ein inzwischen bedeutsam gewordenes Architekturmodell für I4.0. Es fand nicht nur Beachtung in der Normungsarbeit, sondern ist auch international von vielen Gremien als Orientierung aufgegriffen worden. Zunächst wird in diesem Kapitel das Betriebsmanagement in das RAMI4.0 eingeordnet. Anschließend wird ein Ausblick auf bevorstehende Arbeiten in Richtung I4.0-Verwaltungsschale gegeben.

4.1 Einordnung des Betriebsmanagements in das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)

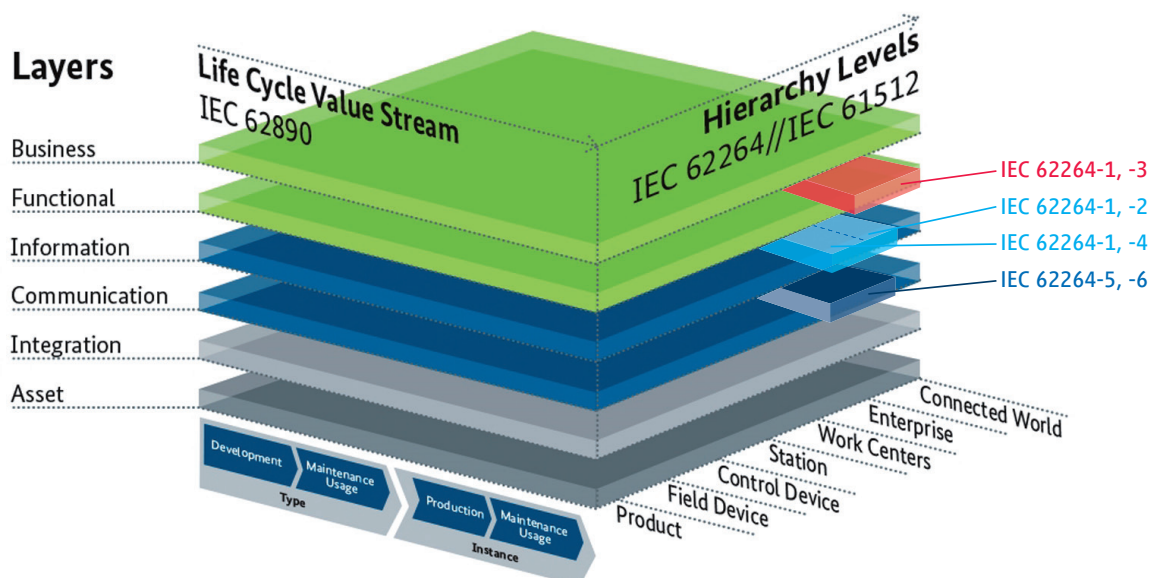
Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) wurde entwickelt, um die verschiedenen Aspekte von Gegenständen (Assets) einordnen und beschreiben zu können. Es verfügt nach Abbildung 7 über die drei Achsen

- Architekturachse (Layers) mit sechs Schichten zur Darstellung der für die Rolle des Assets relevanten Informationen;
- Verlaufsachse (Life Cycle & Value Stream) zur Darstellung des Lebenslaufs eines Assets und des Wertschöpfungsprozesses in Anlehnung an IEC 62890;
- Hierarchieachse (Hierarchy) zur Zuweisung funktionaler Modelle zu einzelnen Ebenen in Anlehnung an die Normen DIN EN 62264-1 und DIN EN 61512-1.

Die Positionierung des Betriebsmanagements im Kontext von Industrie 4.0 (Abbildung 7) lässt sich mittels einer Einordnung der einzelnen Teile der IEC 62264 in RAMI vornehmen [8]. Dabei sind grundlegende Modelle im Teil 1 vorhanden, die für die Definition der Hierarchieachse verwendet wurden und die eine grundsätzliche Einordnung des traditionellen Scopes von MES in die Ebenen „Station“, „Work Centers“ und „Enterprise“ nahelegen. In Bezug auf die Verlaufsachse wird aktuell der Zeitbereich „Maintenance/Usage“ der Instanzen adressiert, dies entspricht dem Begriff Manufacturing Operations. Das Engineering einer MES-Lösung ist dem Zeitbereich „Production“ der Instanzen zuzuordnen, wohingegen die Betrachtung der Entwicklung und Pflege von MES-Komponenten in die Zeitbereiche des Typs eingeordnet wird.

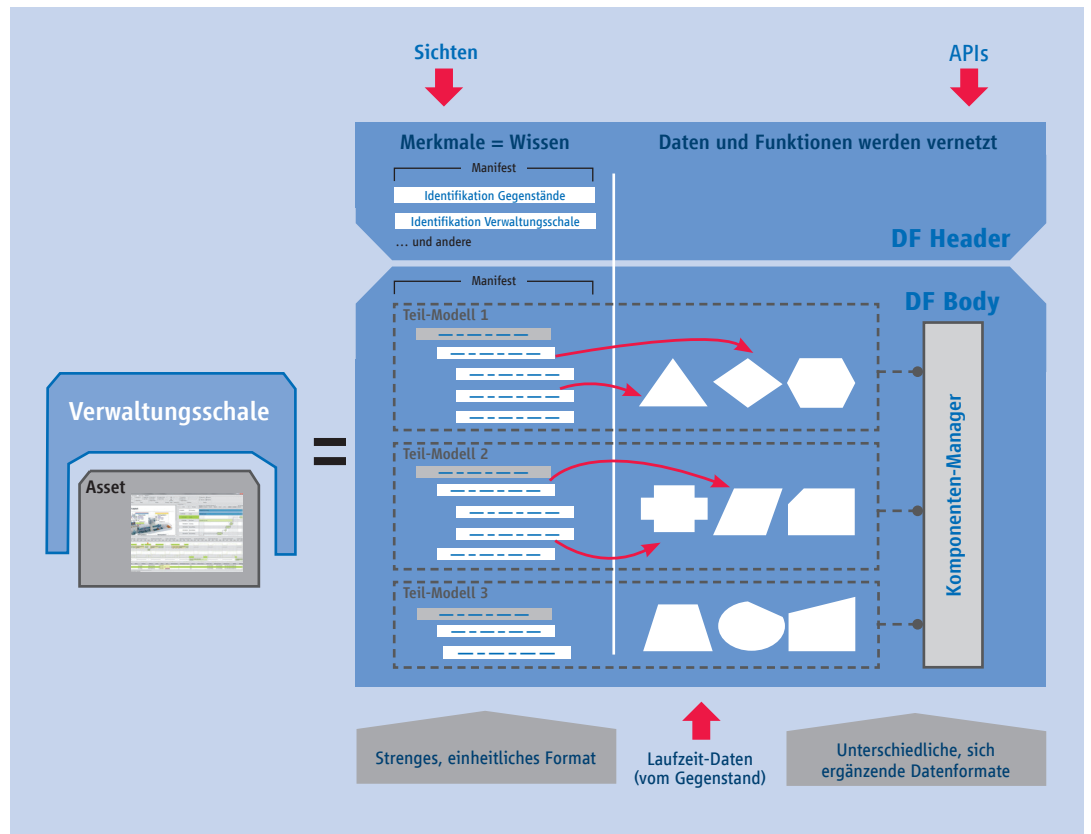
Die einzelnen Attribute der Objektmodelle sind dem Aspekt „Information Layer“ zuzuordnen, wobei Teil 2 die Ebene „Enterprise“ und Teil 4 die Ebene „Work Centers“ abdeckt. Die im Teil 3 definierten Aktivitätenmodelle enthalten eine funktionale Beschreibung, sodass sie in den Aspekt „Functional Layer“ eingeordnet werden können. Teil 5 schließlich beschreibt Transaktionen, die als Basis für Industrie-4.0-MES-Dienste verwendbar sind und damit den Aspekt „Communication Layer“ adressieren. Die konkrete IT-technische Umsetzung der Komponenten einer MES-Lösung lassen sich den Aspekten „Integration Layer“ (unterstützende Funktionen) und „Asset Layer“ (die Hard- und Software selbst) zuordnen.

Abb. 7: Prinzipielle Einordnung von MES in RAMI4.0 auf Basis der IEC 62264



Quelle: Automation 2015 [8] - erweitert

Abb. 8: Verwaltungsschale einer Industrie 4.0-Komponente



Quelle: ZVEI und Plattform Industrie 4.0 [9]

4.2 Industrie 4.0-Komponenten und ihre Verwaltungsschalen

Ein Asset wird als ein Gegenstand verstanden, der in Bezug auf Industrie 4.0 einen Wert besitzt und in einem Industrie-4.0-Kontext verwendet wird. Dabei ist es unerheblich, ob der Gegenstand in der physischen Welt oder in der Informationswelt existiert. Ein Asset wird durch eine Industrie 4.0-Komponente repräsentiert. Sie besteht aus dem Asset selbst und einer Verwaltungsschale (Abbildung 8) und ist über Industrie-4.0-konforme Dienste erreichbar. Die Verwaltungsschale enthält die relevanten Informationen zur Repräsentation des Assets einschließlich seiner fachlichen Funktionalität. Sie stellt der Informationswelt die nach RAMI4.0 strukturierten Informationen über das Asset bzw. über mehrere Assets zur Verfügung. Die Verwaltungsschalen müssen nicht auf dem Asset selbst abgelegt sein.

Eine Verwaltungsschale ist gemäß DIN-Spec 91345 [7] in einen Header und einen Body untergliedert. Die Unterscheidung in Header und Body folgt den Festlegungen der IEC/TS 62832-1 [10].

Die konkreten Eigenschaften des Assets sind in Teilmodellen enthalten. Die einzelnen Teilmodelle sollen für einen Anwendungsbereich spezifische Eigenschaften und fachliche Funktionalität beinhalten. Die Eigenschaften werden bevorzugt durch Merkmale nach IEC 61360 abgebildet, der Zugang zu den Merkmalen und zur fachlichen Funktionalität wird über Industrie-4.0-Dienste ermöglicht. Merkmale dieser Art werden u. a. bei eCl@ss und im Kontext der Standardisierungsaktivitäten zu Digital Factory verwendet.

4.3 Kollaboratives Betriebsmanagement mit Industrie 4.0-Komponenten

Angesichts der erwarteten Flexibilisierung in der Produktion kommt effizienten Lösungen des Betriebsmanagements (MOM) für die Produktionssteuerung und -optimierung aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine zunehmende Bedeutung zu. Es wird ein funktionsorientiertes und organisationsübergreifendes Betriebsmanagement gefordert, welches dynamisch auf

Veränderungen reagiert und das Zusammenspiel von Aufgaben, Ressourcen und sich ändernden Anforderungen meistert. Dabei werden die aktuell in der IEC 62264 abstrakt definierten und in branchenspezifischen Lösungen umgesetzten Funktionalitäten eine sehr gute Basis bilden, die durchaus um neue Funktionen ergänzt werden wird.

Durch die dynamischen unterlagerten Prozesse werden die Kernfunktionalitäten weiter erforderlich sein, aber sie werden über die Komponenten eines Industrie-4.0-Systems verteilt implementiert sein und kollaborativ zusammenwirken müssen. In Bezug auf die softwaretechnische Umsetzung werden sich daher Lösungen weg von einem monolithischen Softwaresystem hin zu funktionalen Modulen wandeln, die als eigenständige Komponenten oder als integrale Bestandteile von Industrie 4.0-Komponenten stark verteilt implementiert werden.

Dies erfordert eine Funktionsorientierung und eine flexible Einsatzverwaltung (Deployment). Der Vorteil einer solchen Struktur liegt in ihrer Flexibilität und in der optimal für den Anwendungsfall maßgeschneiderten Lösung. Als Nachteil entsteht ein höherer Kommunikationsaufwand.

Die konkrete Verteilung der Funktionen auf Industrie 4.0-Komponenten kann schwerlich verallgemeinert werden. Die abstrakte Beschreibung in der IEC 62264 bietet hier die Chance, über Best-Practice-Vorlagen oder Branchenstandards eine Art Bausteinsystem für Betriebsmanagementfunktionen zu erstellen, wobei die Bausteine künftig modellgetrieben oder nach pragmatischen Konzepten in Komponenten implementiert werden können. Ihre Interoperabilität wird durch die strukturellen und teilweise semantischen Festlegungen der IEC 62264 unterstützt, indem diese als Basis für Teilmodelle für Industrie-4.0-MOM-Komponenten dienen.

4.4 Entwicklung von Teilmodellen für Industrie-4.0-Betriebsmanagement-Komponenten

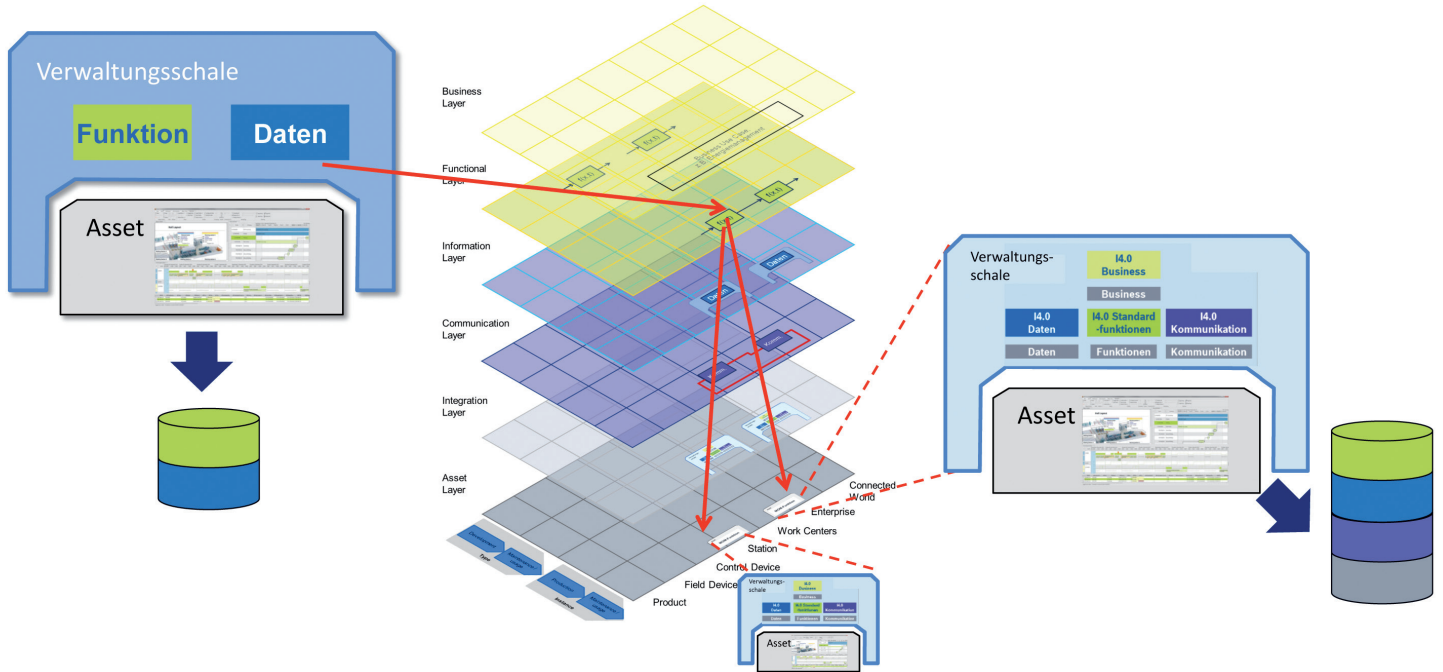
Die grundlegenden Funktionen des MOM sind in der IEC 62264-3 beschrieben. Für eine Überführung nach Industrie 4.0 müssen diese als Teilmodelle der Verwaltungsschalen abgebildet werden und über ein Industrie-4.0-konformes Dienstesystem kommunizieren können. Dabei werden die Funktionen als Assets betrachtet. Ihre Eigenschaften werden durch die Verwaltungsschale

als Merkmale beschrieben (in Abbildung 9 links) und somit für andere I4.0-Komponenten dienstebasiert zugänglich. Vereinheitlichte Daten, die in den Teilen 1, 2 und 4 der IEC 62264 definiert sind, werden ebenso abgebildet und durch ihre Verfügbarkeit als Merkmale semantisch beschrieben.

Die Implementierung und die Verteilung der MOM-Funktionen auf Industrie 4.0-Komponenten – sei es als Teilfunktion einer Komponente (z. B. Maschine) oder als eigenständige MOM-Komponente – ergänzen die in den Verwaltungsschalen dieser Komponenten enthaltenen Merkmale zu Funktion und Daten um weitere Merkmale. Diese beschreiben z. B. die bereitgestellten Dienste mit ihren Kommunikationseigenschaften im Communication Layer des RAMI 4.0 und Implementierungsdetails im Integration Layer (in Abbildung 9 rechts).

Die Interaktion der Komponenten erfolgt dienstebasiert auf Basis der Industrie-4.0-konformen Kommunikation. Hierfür werden durch die Industrie-4.0-Systeme Basisdienste (wie etwa für den Lese- und Schreibzugriff auf die Verwaltungsschale) und Plattformdienste (z. B. für die Identifikation oder für den Aufbau von Interaktionen) zur Verfügung gestellt. Für kollaborative Anwendungen in der Domäne MOM bzw. MES ist es jedoch sinnvoll, domänenspezifische Dienste bereitzustellen, die auch komplexe Funktionalitäten des MOM für eine Industrie-4.0-Kommunikation erschließen. Die Basis für solche MOM-Dienste bilden die Business to Manufacturing Transactions aus IEC 62264-5. Darüber hinaus können neue mögliche Mehrwertdienste mit semantisch reicher Funktionalität (z. B. für das Energieverbrauchsmanagement) realisiert werden.

Abb. 9: Funktionale Sicht auf die Verwaltungsschale einer MOM-Komponente (links), die durch Implementierung um weitere Merkmale angereichert wird (rechts)



Quelle: ZVEI, AG-MES

5 Zusammenfassung

Ohne ein umfassendes digitales Betriebsmanagement wird das wesentliche Ziel von Industrie 4.0, die Steuerung eines optimalen Wertschöpfungsflusses in der Produktion, nicht möglich sein. Spezifikations- und Ressourcenmanagement, Feinplanung, Ausführungsmanagement, Datenerfassung, Analyse und Verfolgung sind hierfür elementare Bestandteile. Nur ein zeitnaher Überblick über den aktuellen und geplanten Stand der Produktion und die Verfügbarkeit der notwendigen Ressourcen erlaubt eine optimierte Organisation der Produktion sowie ein flexibles Reagieren auf Veränderungen wie eine neue Auftragslage oder Störungen im Produktionsablauf.

Die Bedeutung von MES oder MOM unter Industrie 4.0 wird daher zu- und nicht abnehmen. Der Fokus wird sich dabei verschieben, weg vom reinen Ausführungsmanagement hin zu einer umfassenden Abdeckung der MOM-Aktivitäten und weg von der Steuerung der Produktion hin zu ihrer Optimierung unter Einbezug von Ereignissen.

Die heute eingesetzten Systeme des Betriebsmanagements für Lagerhaltung, Produktionsdurchführung (Manufacturing Execution), Laborinformations- oder Wartungsmanagement erfüllen Teilespekte der Aufgabenstellung hinsichtlich Betriebsmanagement. Unter der Prämisse von Industrie 4.0 werden sich diese Systeme so weiterentwickeln müssen, dass sie als Industrie-4.0-fähige MOM-Komponenten, ohne den heute noch notwendigen Aufwand von zu programmierenden Schnittstellen, interoperabel zu einer Betriebsmanagementlösung für das jeweilige Unternehmen zusammengestellt werden können. Auch die Interaktion zwischen der ERP- und der Betriebsmanagementebene kann man sich zukünftig als Kommunikation zwischen verschiedenen I4.0-Komponenten vorstellen, ohne dass z. B. Stammdaten einer Ebene in der anderen repliziert werden müssen.

Aus Sicht der ZVEI-AG MES werden zukünftige I4.0-Betriebsmanagementlösungen aus dem Zusammenspiel kompatibler I4.0-MOM-Komponenten realisiert.

Die dafür notwendige Standardisierung und Definition von Teilmodellen für MOM-Komponenten ist momentan in den Anfängen und wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Bei Bedarf an einer MES- oder MOM-Lösung empfehlen wir aktuell und in naher Zukunft, den Markt ständig zu beobachten und den Einsatz der derzeit auf dem Markt verfügbaren Systeme zu erwägen.

Aus Sicht der ZVEI-AG MES sollten abgrenzbare und sich ergänzende Teilmodelle für die Aktivitäten des Betriebsmanagements in den Bereichen Produktion, Lager, Qualität und Wartung definiert werden.

Die ZVEI-AG MES hat sich in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis AK931.0.2 „Unternehmensmodelle“ der DKE vorgenommen, beispielhaft solche Teilmodelle zu definieren.

6 Literaturverzeichnis

- [1] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik. Die deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0. 60596 Frankfurt: VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., November 2013.
- [2] Schwabe, Klaus. Artikel in Handelsblatt Online: Die Vierte Industrielle Revolution. Davos: Handelsblatt, Januar 2016.
- [3] Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. 60596 Frankfurt : Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, April 2013.
- [4] ZVEI. Manufacturing Execution Systems (MES) – Branchenspezifische Anforderungen und herstellerneutrale Beschreibung von Lösungen. Frankfurt am Main : ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. , 2010.
- [5] BITKOM. [Online] <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Big-Data-und-Geschaeftsmodell-Innovationen-in-der-Praxis-40-Beispiele.html>.
- [6] Hofmann, Johann. Die Digitale Fabrik. s.l. : Beuth Verlag, 2016.
- [7] 91345:2016-04, DIN SPEC. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). s.l. : Beuth Verlag, 2016.
- [8] Bangemann, T., Wollschlaeger, M. und Epple, U. Industrie 4.0 – Definition domänenspezifischer Dienste. Automation 2015 – Benefits of Change – The Future of Automation. 2015.
- [9] ZVEI und Plattform Industrie 4.0. Struktur der Verwaltungsschale. Berlin: Plattform Industrie 4.0, 2016.
- [10] IEC/EN 62832-1:2016 IEC TS. Industrial-process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part 1: General principles. s.l. : IEC, 2016.
- [11] IEC/EN 62264 Part 1 to 5, Enterprise-control system integration IEC, Geneva, Switzerland



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org