



Teilmodelle und Verwaltungsschalen für das Manufacturing Operations Management

April 2023

Imprint

Publisher

Industrial Digital Twin Association
Lyoner Strasse 18
60528 Frankfurt am Main
Germany
<https://www.industrialdigitaltwin.org/>

Status

April 2023

Layout

Publik. Agentur für Kommunikation GmbH

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Praxisbeispiel: Fertigungstechnik.....	8
3	Grundsätzliche Überlegungen zu Verwaltungsschalen von I4.0 MOM-Komponenten	11
3.1	Vorhandene Grundlagen und Spezifikationen	11
3.1.1	IEC 62264 Enterprise – Control System Integration.....	11
3.1.2	Industrie 4.0	11
3.2	Digitales Betriebsmanagement unter Industrie 4.0.....	15
3.2.1	Verwaltungsschalen und Teilmodelle für I4.0-MOM-Aktivitäten.....	16
3.2.2	Verwaltungsschalen und Teilmodelle für I4.0 MOM-Ressourcen	16
3.3	Kommunikation zwischen I4.0 MOM Komponenten	16
3.3.1	Kommunikation auf der Basis von Merkmalen	17
3.3.2	Kommunikation über vordefinierte Transaktionen (IEC 62264 – Teil5) bzw. Messages Service Modelles (IEC 62264 – Teil6).....	17
3.3.3	Kommunikation über Aufruf von Diensten	17
3.3.4	Industrie 4.0 Sprache.....	18
3.4	Konfiguration eines I4.0 MOM Systems.....	18
4	Vorgehen zur Erstellung von MOM Teilmodellen	20
4.1	Teilmodelle für MOM-Aktivitäten	20
4.2	Teilmodelle für MOM-Ressourcen	20
5	Überführung von Definitionen der IEC 62264 in Merkmale von I4.0 Teilmodellen	22
6	Teilmodelle für interoperable I4.0 MOM Aktivitäts-Komponenten	26
6.1	Produkt Definitionsmanagement (Product Definition Management - P_DM)	27
6.1.1	Definition	27
6.1.2	Beschreibung des Teilmodells ‚Product Definition Management‘(P_DM).....	28
6.2	Produktionsressourcenmanagement (Production Resoure Management - P_RM)	37
6.2.1	Definition	37
6.2.2	Beschreibung des Teilmodells.....	37
6.3	Produktion Feinplanung (Production Detailed Scheduling - P_DS)	43
6.3.1	Definition	43
6.3.2	Beschreibung des Teilmodells.....	44

6.4	Produktion Einplanung (Production Dispatching - P_D)	47
6.4.1	Definition	47
6.4.2	Beschreibung des Teilmodells	47
6.5	Produktion Ausführungsmanagement (Production Execution Management – P_EM)	49
6.5.1	Definition	49
6.5.2	Beschreibung des Teilmodells	49
6.6	Produktion Datensammlung (Production Data Collection – P_DC)	52
6.6.1	Definition	52
6.6.2	Beschreibung des Teilmodells	52
6.7	Produktionsleistungsanalyse (Production Performance Analysis – P_PA)	55
6.7.1	Definition	55
6.7.2	Beschreibung des Teilmodells	56
6.8	Produktion Verfolgung (Production Tracking – P_T)	59
6.8.1	Definition	59
6.8.2	Beschreibung des Teilmodells	59
7	Teilmodelle für interoperable I4.0 MOM Ressourcen-Komponenten	65
7.1	Standardisierung der zwischen MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen ausgetauschten Daten	66
7.2	Teilmodelle zur Kommunikation zwischen MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen	67
7.2.1	Production Resource Management (P_RM)	67
7.2.2	Production Execution Management (P_EM)	71
7.2.3	Production Data Collection (P_DC)	73
8	Zusammenfassung und Handlungsempfehlung	74
9	Literaturverzeichnis	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel Produktionsnetzwerk I4.0 nach Fig. 1-2 ‚Demand-Driven Supply Chain‘ [4].....	3
Abbildung 2: Funktionale Hierarchie nach IEC 62264-1	4
Abbildung 3: Betriebsmanagement Modell nach IEC 62264-1	5
Abbildung 4: Generisches Aktivitäten Modell des Betriebsmanagements nach IEC 62264 – 3.....	6
Abbildung 5: Die 4 Lebenszyklus-Achsen der industriellen Produktion (nach ARC Advisory Group)	7
Abbildung 6: Use Case Szenario ‚Fertigungstechnik‘ (Quelle: Maschinenfabrik Reinhausen).....	10
Abbildung 7: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0).....	12
Abbildung 8: Verwaltungsschale einer Industrie 4.0-Komponente (nach [11])	13
Abbildung 9: Beziehung Asset, Verwaltungsschale und Teilmodelle.....	14
Abbildung 10: Betriebsmanagement – Interoperable MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen.....	15
Abbildung 11: Typischer Datensatz (links) für die Kommunikation (rechts) nach IEC62264 – Teil 5: Manufacturing to Business Transactions	17
Abbildung 12: Beschreibungsmodell der IEC/EN 62264 am Beispiel des Equipment Models	22
Abbildung 13: Attribute eines Merkmals aus VWSiD und IEC 61360x [11]	23
Abbildung 14: Prinzipielle Abbildung der Beschreibungselemente der IEC/EN 62264 auf Merkmale einer Verwaltungsschale	24
Abbildung 15: Information exchange models for manufacturing operations management nach Figure 1 IEC 62264-4	26
Abbildung 16: Product definition management activity model interfaces nach Figure 7 IEC 62264-3	29
Abbildung 17: ‚Production resource management activity model interfaces‘ nach Figure 8 IEC 62264-3 .	38
Abbildung 18: ‚Detailed production scheduling activity model interfaces‘ nach Figure 10 IEC 62264-3	44
Abbildung 19: ‚Production dispatching activity model interfaces‘ nach Figure 13 IEC 62264-3	47
Abbildung 20: ‚Production execution management activity model interfaces‘ nach Figure 16 IEC 62264-3	50
Abbildung 21: ‚Production data collection activity model interfaces‘ nach Figure 17 IEC 62264-3	53
Abbildung 22: ‚Production performance analysis activity model interfaces‘ nach Figure 20 IEC 62264-3 .	56
Abbildung 23: ‚Production tracking activity model interfaces‘ nach Figure 18 IEC 62264-3.....	59
Abbildung 24: ‚Production execution management activity model interfaces‘ nach Figure 16 IEC 62264-3	67

Abkürzungsverzeichnis:

<i>Abkürzung</i>	<i>Erläuterung</i>
API	Programmierschnittstelle (application programming interface)
B2MML	Business To Manufacturing Markup Language; XML-Schemata für Manufacturing Operations Management (MOM) entsprechend IEC62264.
CMMS	Computerized Maintenance Management System
CRUD	Steht für die vier grundlegenden Operationen persistenter Speicher: Create, Read, Update, Delete
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik
DXF	Drawing Interchange Format
ERP	Enterprise Resource Planning
I4.0	Industrie 4.0
ID	Identifikator
IEC	International Electrotechnical Commission
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
IP	Internet Protocol
JSON	JavaScript Object Notation
LIMS	Labor Information Management System
MES	Manufacturing Execution System
MOM	Manufacturing Operations Management / Betriebsmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
STEP	STandard for the Exchange of Product model data
TM	Teilmodell
VWS	Verwaltungsschale
XML	eXtensible Markup Language
ZVEI	ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V

Vorwort

Welche Rolle spielt Manufacturing Execution Systems in der Zukunft im Kontext von Industrie 4.0? Mit dieser Frage hat sich die AG MES des ZVEI in ihrem im April 2017 erschienenen Positionspapier [1] auseinandergesetzt. Schnell zeigte sich, dass das heutige Manufacturing Execution System mit seinen unterschiedlichen Funktionsumfängen und dem Fokus auf das Ausführungsmanagement zwar nach wie vor nützlich ist, jedoch nicht den umfassenden Funktionsumfang abdecken, der für ein digitales Betriebsmanagement (englisch: Manufacturing Operations Management; MOM) unter Industrie 4.0 benötigt wird. Deshalb heißt es in der Zusammenfassung des Positionspapiers u.a.: *„Aus Sicht der ZVEI-AG MES werden zukünftige I4.0- Betriebsmanagement Lösungen aus dem Zusammenspiel kompatibler I4.0-MOM-Komponenten realisiert. Die dafür notwendige Standardisierung und Definition von Teilmodellen für MOM-Komponenten ist momentan noch in den Anfängen und wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen. ... 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.“* [1]

Das hier vorgelegte Diskussionspapier ist das Ergebnis dieser Arbeit. Es soll zeigen, wie auf der Grundlage bestehender Normen und Standards die für das digitale Betriebsmanagement notwendigen I4.0 Komponenten definiert und deren Teilmodelle und Verwaltungsschalen erarbeitet werden können. Das Diskussionspapier zeigt dies exemplarisch an dem Bereich Produktionsmanagement und erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit oder irgendwelche Normung. Es soll jedoch aufzeigen, welche Fragen in diesem Zusammenhang noch zu klären sind und welcher Definitions- und Standardisierungsaufwand bei der Umsetzung derartiger Funktionen in I4.0 Verwaltungsschalen und Teilmodellen zu erwarten ist.

1 Einführung

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*“ [2].

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht handelt es sich dabei um eine „*neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten*“. Als technologische Anforderungen, um diese Stufe erreichen zu können, wird „*die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen*“ sowie die „*Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten*“ genannt. Wichtig hierbei ist die „*Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen*“ zu „*unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken*“ [2].

Bereits 1999 bezeichnete Bill Gates in seinem Buch ‚Business @ the Speed of Thought‘ solche Netzwerke als ‚Nervensysteme‘ von Unternehmen: *„So wie jeder Mensch, braucht auch jedes*

Johann Hofmann von der Maschinenfabrik Reinhausen beschreibt den Stand in seiner Branche folgendermaßen:

„In den letzten 10 Jahren sind zahlreiche Veröffentlichungen zu Industrie 4.0 erschienen, Doch in der Praxis haben wir ein Henne-Ei-Problem.

Die Maschinenhersteller gestalten ihre Schnittstellen weiter proprietär und ignorieren die Implementierung von I4.0 Verwaltungsschalen, weil es keine Fertigungs- bzw. Manufacturing Execution Systeme gibt, die damit arbeiten

Die Hersteller von Fertigungs- und Manufacturing Execution Systemen ignorieren die Definition von Teilmodellen und I4.0 Verwaltungsschalen, weil es keine entsprechenden Maschinen gibt.

*Meine Erwartungshaltung an die INDUSTRIE 4.0 Plattform ist es, dass es ihr gelingt ein Regelwerk (Data Governance) für die Digitalisierung zu erstellen, an das sich alle Asset Hersteller halten, **ansonsten ist für mich INDUSTRIE 4.0 für die diskrete Fertigung gescheitert!** Dann digitalisieren wir eben weiter wie bisher mit dem üblichen Gefrickel bei der Integration von Maschinen. Wir nennen das dann aber bitte nicht mehr INDUSTRIE 4.0, sondern Gefrickel 4.0, Wir träumen dann auch nicht mehr von „Plug & Produce“ sondern leben weiterhin mit ‚Plug & Pray‘.“*

Unternehmen einen internen Kommunikationsmechanismus, ein ‚Nervensystem‘ um seine Aktionen zu koordinieren“ [3]. Die Transformation dieser Nervensysteme in durchgängige digitale Nervensysteme haben wir in den Bereichen ‚E-Commerce‘ und ‚Social Media‘ in den letzten Jahrzehnten erlebt. Wo stehen wir heute in der industriellen Produktion, 10 Jahre nach Verkündung der 4. Industriellen Revolution auf der Hannover-Messe im Jahr 2011? Haben wir ein „Henne-Ei“ Problem (siehe Kasten)?

Noch haben wir jedenfalls die Vision eines durchgängigen digitalen Nervensystems der Industrie 4.0 zur Realisierung einer „optimalen Wertschöpfungskette“ nicht erreicht. Das nachfolgende Beispiel eines Produktionsnetzwerks soll einen Eindruck vermitteln, was es in Zukunft leisten soll:

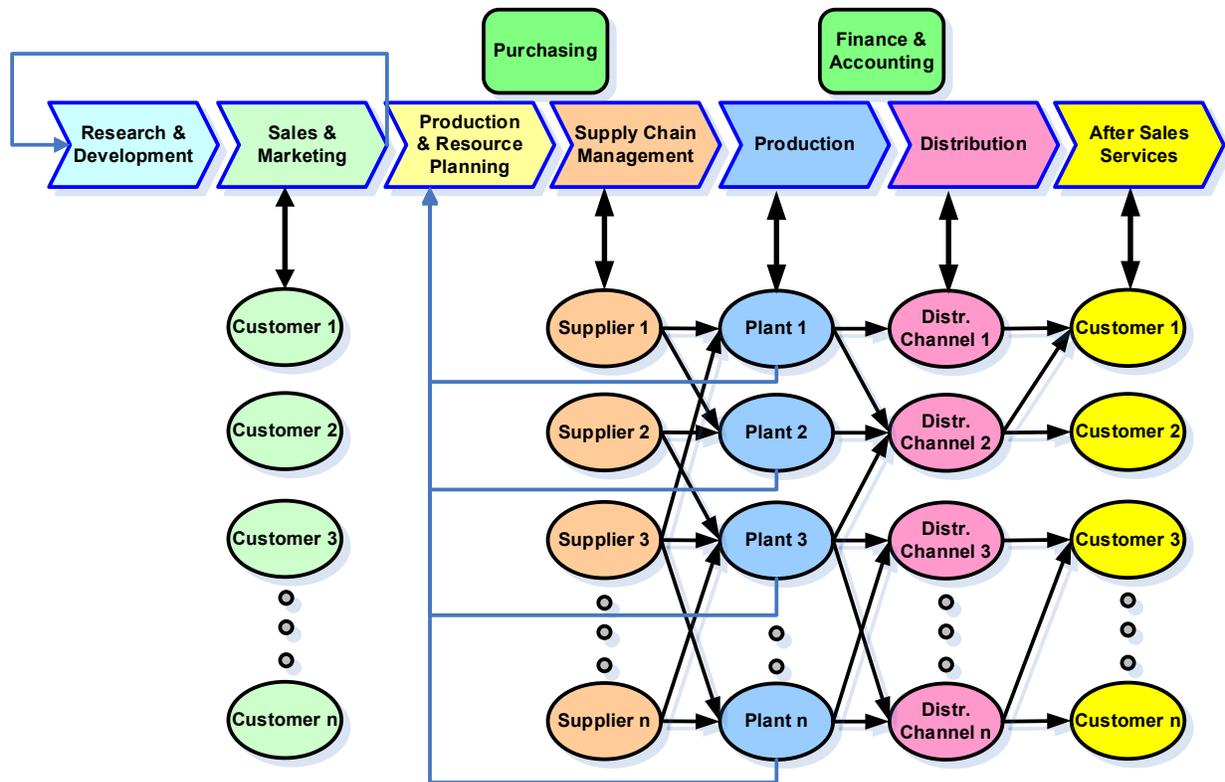


Abbildung 1: Beispiel Produktionsnetzwerk I4.0 nach Fig. 1-2 ‚Demand-Driven Supply Chain‘ [4]

Um den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss zu gewährleisten, sollen die dafür notwendigen Softwarefunktionen implementiert und die notwendigen Informationen in Echtzeit (im Sinne von „rechtzeitig“) vorliegen. Dies ist Voraussetzung, um folgende Schritte im Geschäfts- bzw. Produktionsprozess digital verarbeiten zu können:

1. Digital übermittelte Anfrage vom Kunden mit Produktspezifikation, Liefermenge, -datum, -ort
2. Digitale Angebotserstellung: Hat das Unternehmen die Fähigkeit, das Produkt zu fertigen? An welchem Produktionsstandort hat das Unternehmen die Kapazität, die geforderte Menge zum geforderten Liefertermin und den geringsten Kosten herzustellen?
3. Digital übermitteltes Angebot an den Kunden
4. Digitale Bestellung des Kunden
5. Produktions- und Ressourcenplanung: Material, Ausrüstung, Personal und Energie
6. Supply Chain Management: Digitale Anfragen bzw. Bestellungen an die Lieferanten
7. Digitale Übermittlung des Produktionsauftrags an den Betrieb
8. Betriebliche Feinplanung anhand Produktspezifikations- und aktuellen Ressourcendaten
9. Disposition und Ausführungsmanagement
10. Lieferlogistik und Produktverfolgung

Eine durchgängige digitale Verarbeitung der Information umfasst dabei alle funktionalen Ebenen eines Unternehmens wie in der ‚IEC 62264: Enterprise – Control System Integration‘ [5] beschrieben und im Folgenden abgebildet.

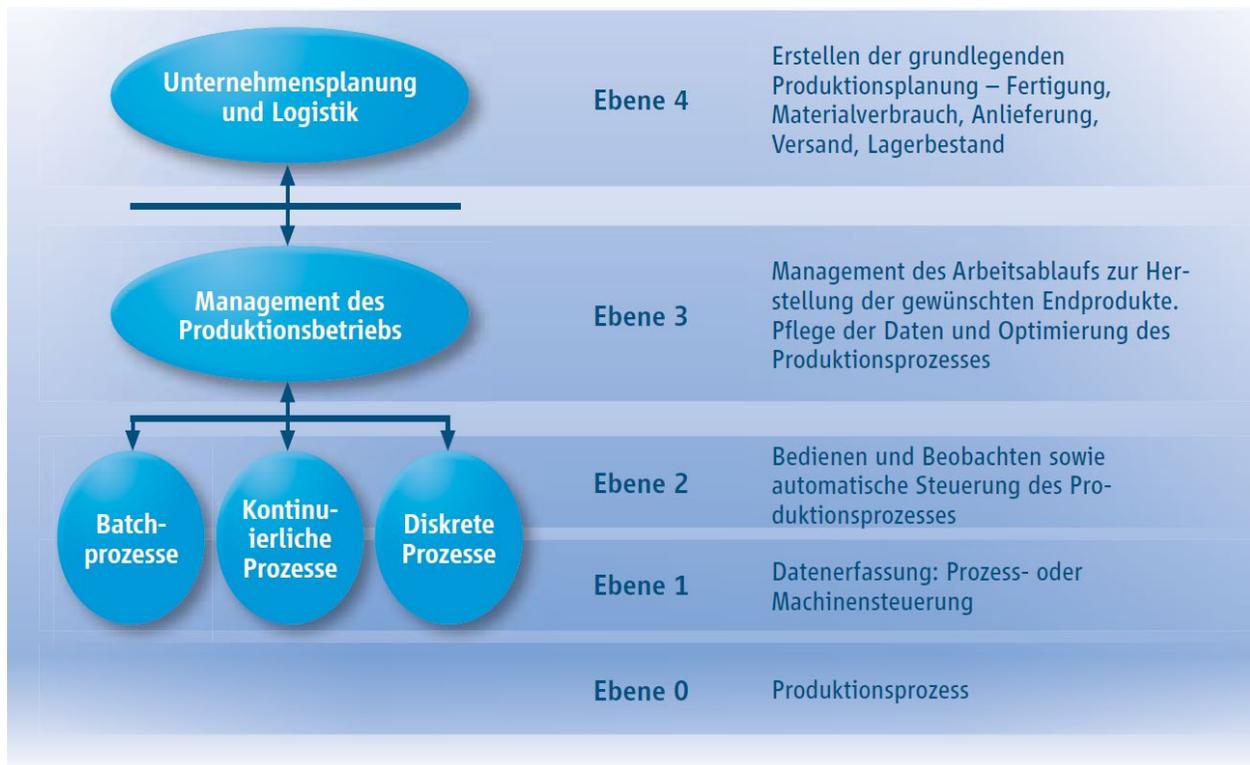


Abbildung 2: Funktionale Hierarchie nach IEC 62264-1

Wobei das Management des Produktionsbetriebs oder kurz Betriebsmanagement (nach DIN-EN 62264-1 Übersetzung für ‚Manufacturing Operations Management‘; Abkürzung: MOM) die in der nachfolgenden Abbildung 3 grau hinterlegten Bereiche Produktion, Lager, Qualität und Instandhaltung beinhaltet und ein zentrales Bindeglied zwischen der Unternehmensplanungsebene und dem realen Produktionsprozess darstellt.

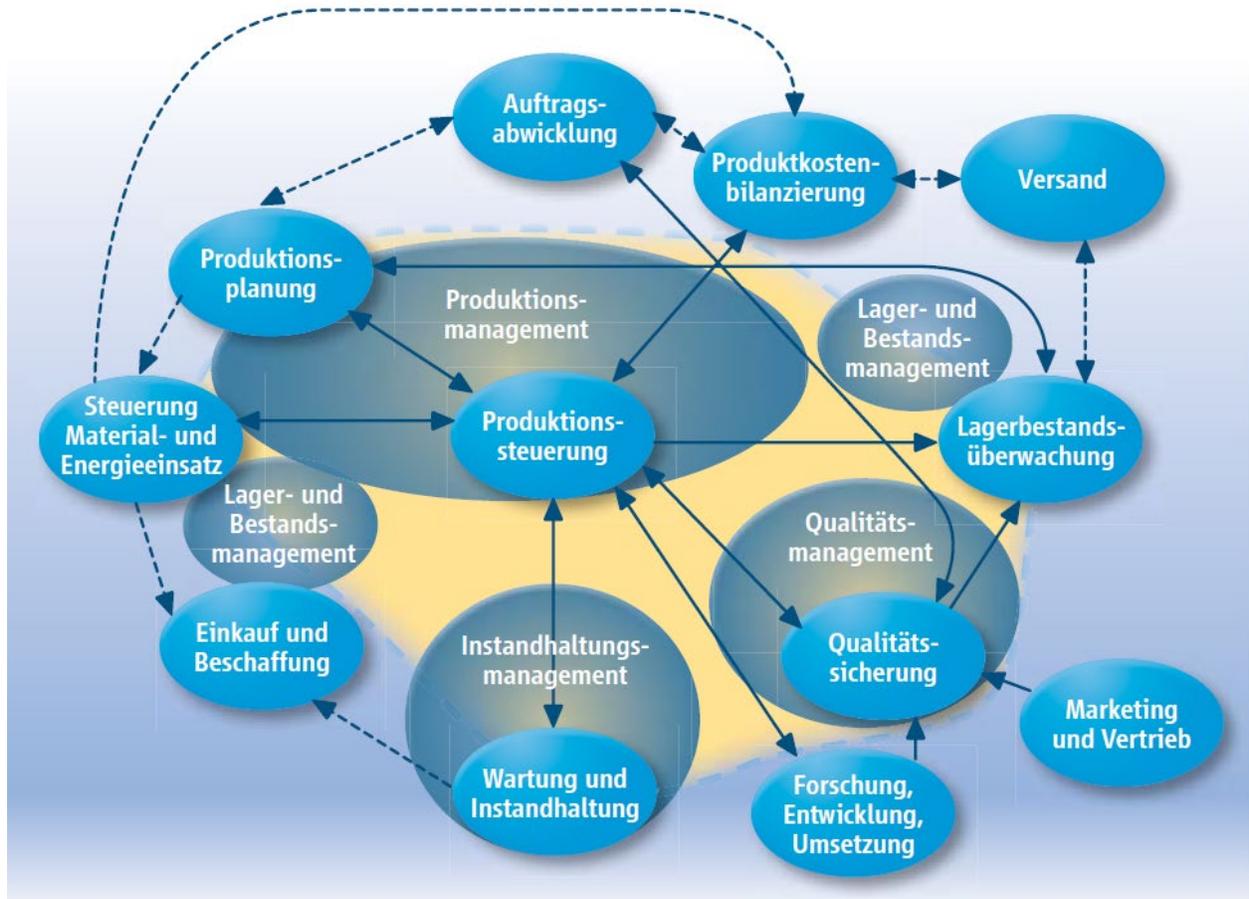


Abbildung 3: Betriebsmanagement Modell nach IEC 62264-1

Im Wesentlichen sind es die in Abbildung 4 dargestellten 8 Aktivitäten, die in jedem der genannten 4 Bereiche zu den Managementfunktionen gehören:

- Spezifikationsmanagement
- Ressourcenmanagement
- Feinplanung
- Einplanung
- Ausführungsmanagement
- Datenerfassung
- Analyse
- Verfolgung



Abbildung 4: Generisches Aktivitäten Modell des Betriebsmanagements nach IEC 62264 – 3

Ausgangspunkt der in der IEC 62264 beschriebenen Modelle und Aktivitäten sind die für das Betriebsmanagement erforderlichen Funktionen, unabhängig vom Grad der technischen Realisierung. Sie behalten deshalb auch unter Industrie 4.0 ihre Gültigkeit und stellen einen Leitfaden für die Digitalisierung des Betriebsmanagements unter Industrie 4.0 dar.

Betrachtet man den heutigen Stand der an einer Betriebsmanagement-Lösung beteiligten Systeme mit ihren proprietären Schnittstellen zwischen den verschiedenen ERP-, MES- und Produktionssystemen, so wird schnell klar, dass eine wesentliche Aufgabe der Digitalisierung des Betriebsmanagements - und von Industrie 4.0 im Allgemeinen - die Entwicklung von Industrie 4.0 konformen Schnittstellenstandards ist. Nur so ist ein interoperables Zusammenspiel der verschiedenen Funktionen und Hierarchieebenen ohne proprietäre Schnittstellen möglich.

Industrie 4.0 erfordert nicht nur ein digitales Betriebsmanagement, sondern auch die digitale Durchgängigkeit und Anreicherung der Daten über alle vier in der nachfolgenden Grafik dargestellten Lebenszyklusachsen der industriellen Produktion. Deshalb erfordert das Betriebsmanagement nicht nur digitale Verarbeitung innerhalb seiner eigenen Domäne, sondern muss auch in der Lage sein, an den Berührungspunkten mit den vor- und nachgelagerten Funktionen dieser Lebenszyklusachsen Daten austauschen zu können. Auch dieser Aspekt muss für das digitale Betriebsmanagement unter Industrie 4.0 berücksichtigt werden.

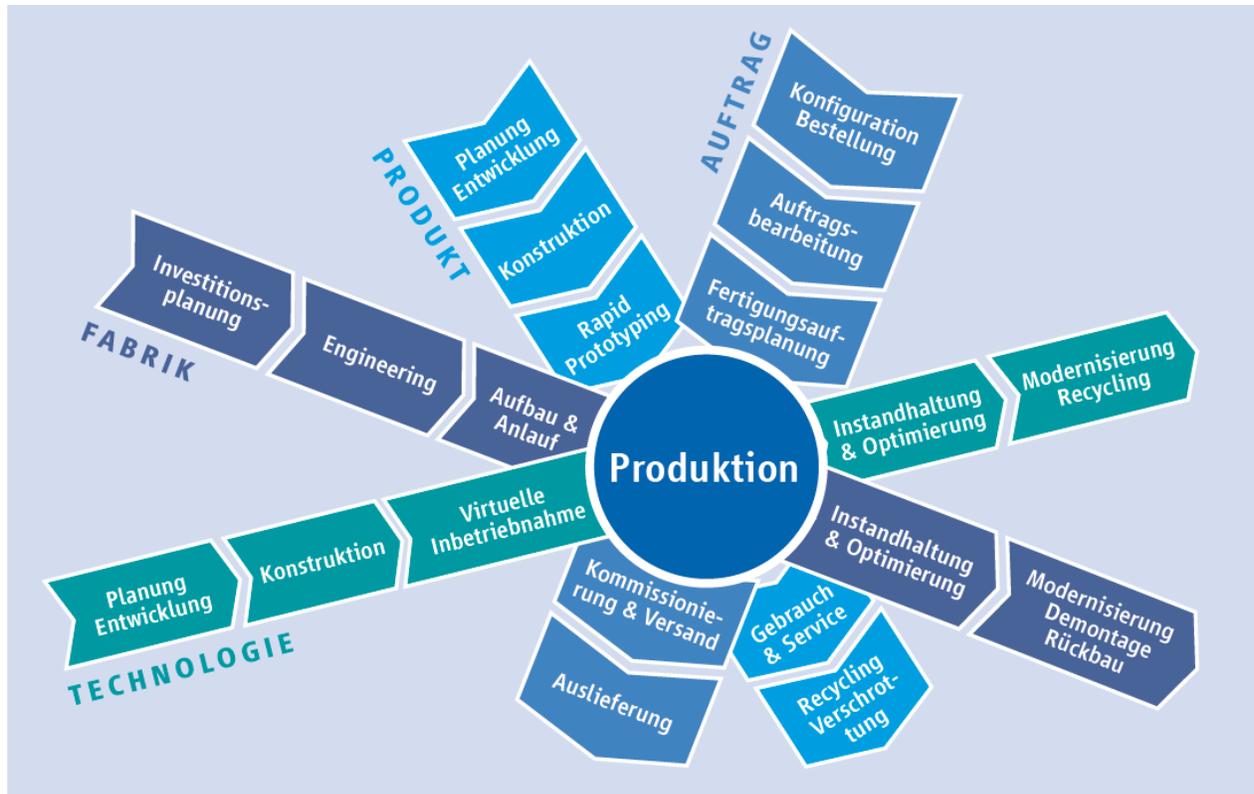


Abbildung 5: Die 4 Lebenszyklus-Achsen der industriellen Produktion (nach ARC Advisory Group)

2 Praxisbeispiel: Fertigungstechnik

Von Beginn der Arbeit an diesem Diskussionspapier war es die Überlegung, dass die Ausarbeitung nicht nur anhand theoretischer Überlegungen, sondern auch mit Bezug zur betrieblichen Praxis erfolgen soll. Als Referenz für die exemplarische Ausarbeitung von I4.0 MOM-Verwaltungsschalen und ihren Teilmodellen diene deshalb das Praxisbeispiel „Fertigungstechnik“ mit den in Abbildung 6 dargestellten Funktionen und Abhängigkeiten. Anhand dieses Szenarios sollen die den Teilmodellen zugrunde liegenden Use Cases überprüft und konkretisiert werden. Dazu dient das im Folgenden beschriebene Beispiel der Planung, Vorbereitung und Herstellung einer Welle (Drehteil):

Das Szenario beginnt damit, dass ein Konstrukteur das gewünschte Werkstück in Form einer Welle konstruiert und relevante Stammdaten (Dimension, Werkstoff, Gewicht) ermittelt bzw. berechnet.

Im nächsten Schritt wird durch die Arbeitsvorbereitung der Arbeitsplan definiert, d.h. die Vorgänge zur Eigenfertigung der Welle festgelegt und das Halbzeug bestimmt, das der Einkauf zu beschaffen hat.

Der Arbeitsplan wird im ERP-System mit den drei Vorgängen Materialbereitstellung, Drehen und Kontrolle angelegt.

Jeder einzelne Vorgang im Arbeitsplan beinhaltet seine benötigten Fertigungshilfsmittel (FHM) wie z.B. Vorrichtungen, Werkzeuge, NC-Programme, Mess- und Prüfmittel. Die Arbeitsvorbereitung koordiniert auch die evtl. Beschaffung der FHM.

Sobald das ERP-System einen Bedarf kennt („Planbedarf“) kann es anhand des Arbeitsplans und vorgegebener dynamischer oder fester Losgröße Planaufträge generieren, die diesen Planbedarf decken. Diese Planaufträge werden dann in einen fest terminierten Fertigungsauftrag umgesetzt.

Anhand der Kapazitätsbedarfe eingeplanter Plan- und Fertigungsaufträge wird eine Schichtforderung erstellt. Durch die Schichtplanung werden die Forderungen auf allen benötigten Arbeitsplätzen durch befähigte Mitarbeiter besetzt.

Vor der Freigabe eines Fertigungsauftrags für die Fertigung werden Bestände (Halbzeug/Rohteil) und die Verfügbarkeit der benötigten FHM geprüft. Wenn alles vorhanden ist, wird der Fertigungsauftrag entsprechend der kapazitiven Situation auf dem jeweiligen Arbeitsplatz freigegeben.

Mit der Freigabe können (interne) Transporte automatisch oder manuell angestoßen werden (Materialbereitstellung, Bereitstellung FHM).

Nach Abschluss des vorhergehenden Vorgangs wird der Arbeitsplatz umgerüstet und die Fertigung der Welle beginnt mit der Drehbearbeitung auf der zugewiesenen Drehmaschine.

Abschließend wird die Welle entweder durch Werkerselbstprüfung oder in der Qualitätskontrolle vermessen und die Qualität festgestellt. Danach wird der Transport zurück in das Fertigteillager angestoßen und der Gesamtauftrag fertiggemeldet.

In den Fertigungshallen werden dabei ständig die Umgebungsbedingungen überwacht (z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Energieaufnahme, usw.).

Ein digitales Betriebsmanagement sollte aus Sicht der Praktiker (Maschinenfabrik Reinhausen) die für dieses Szenario notwendigen Stamm- und Produktionsdaten verwalten und den Betrieb bei der Konfiguration der Anlage und Planung und Durchführung der Fertigung unterstützen. Dies durch die Einbindung der fertigungstechnischen Einrichtungen über Plug & Produce und einheitliche standardisierte I4.0 Schnittstellen in das Gesamtsystem (statt der heutigen heterogenen Hersteller-spezifischen Schnittstellen) wie z.B. durch die Entwicklung des OPC-UA Companion Standards ‚umati‘ (universal machine technology interface) [6].

Zu den wünschenswerten Funktionen des Betriebsmanagements für die Fertigungstechnik gehören beispielsweise:

- Die Möglichkeit zum Import und Update, der für das Gesamtsystem erforderlichen Stammdaten der Maschinen über von den Maschinenherstellern bereitgestellte Schnittstellen zur Beschreibung der technologischen Fähigkeiten und Eigenschaften ihrer gelieferten Maschinen
- Die Möglichkeit zum Import von Produktspezifikationen vom Kunden und deren automatisierte Umsetzung in Arbeitspläne
- Digitale und resiliente Orchestrierung der Arbeitsschritte incl. assistierender Werkerführung
- Standardisierte Steueranweisungen für das Rüsten und die Fertigung
- Standardisierte Betriebs-, Umfeld- und Diagnosedaten Daten aus dem laufenden Betrieb
- Die Möglichkeit zur Auswertung und Mustererkennung der Daten, die Erkenntnisse liefern die es ermöglichen, steigende Qualitätsanforderungen, kürzere Lieferzeiten, sich verkürzende Produktlebenszyklen und eine wachsende Variantenvielfalt zu beherrschen.
- Health Monitoring der Stammdaten

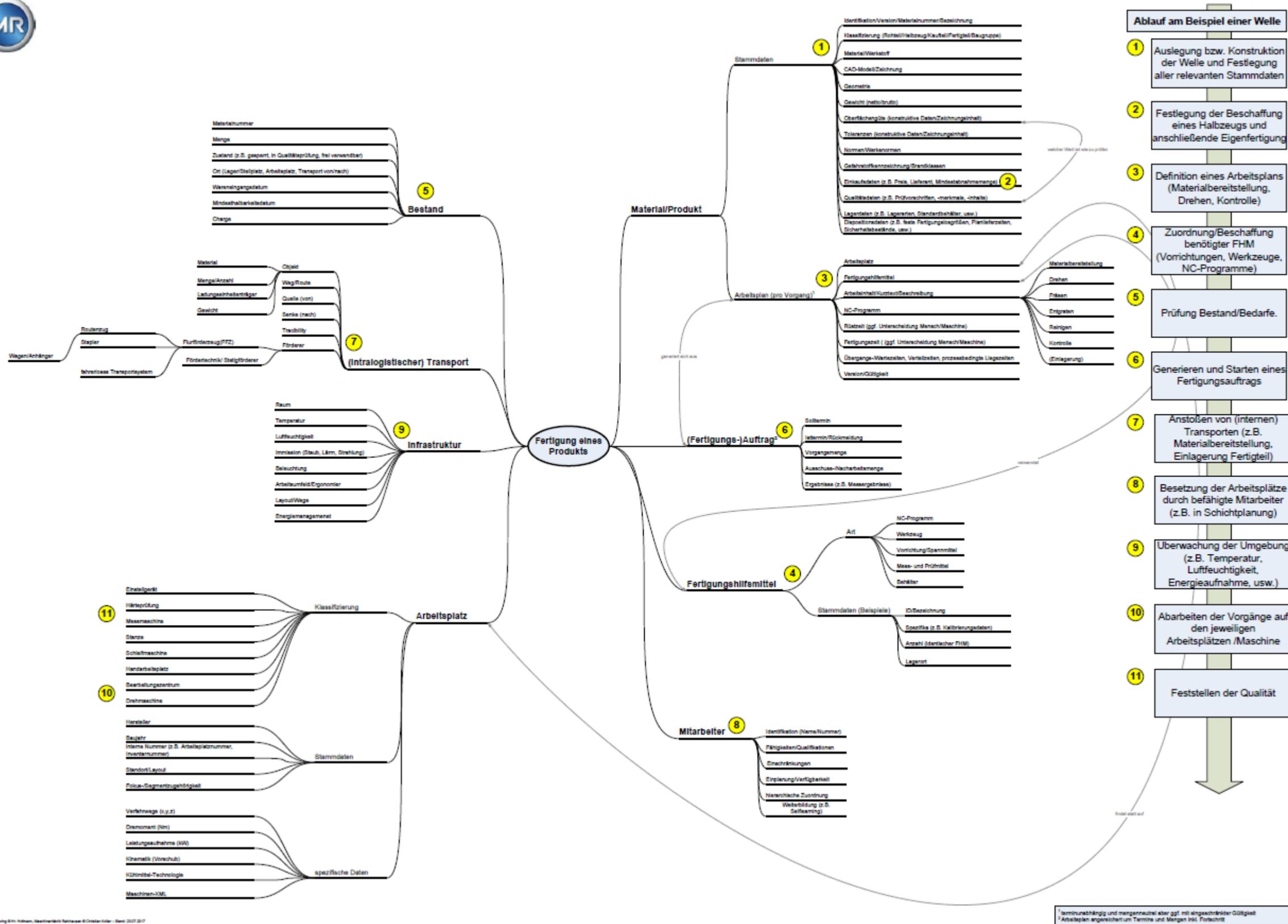


Abbildung 6: Use Case Szenario 'Fertigungstechnik' (Quelle: Maschinenfabrik Reinhausen)

3 Grundsätzliche Überlegungen zu Verwaltungsschalen von I4.0 MOM-Komponenten

3.1 Vorhandene Grundlagen und Spezifikationen

3.1.1 IEC 62264 Enterprise – Control System Integration

Wie bereits in der Einführung erläutert, stellt die Norm IEC/EN 62264 mit ihren 6 Teilen eine wesentliche Grundlage für die Definition eines digitalen Betriebsmanagements unter Industrie 4.0 dar.

Die bisher erschienenen Teile der Norm sind die folgenden und sollten ,

als Basis für alle weitergehenden Definitionen im Bereich des digitalen Betriebsmanagements unter Industrie 4.0 beachtet werden:

- **IEC 62264-1 Ed 2: Enterprise – control system integration - Part 1: Models and terminology**
Teil 1 der IEC 62264 beschreibt die für die Integration der Unternehmens- und der Produktionsleitebene relevante Begriffe sowie ausgetauschte Informationen.
- **IEC 62264-2 Ed 2: Enterprise – control system integration - Part 2: Object models and attributes**
In Teil 2 werden grundlegende Objektmodelle und deren Attribute der im Kontext von Teil 1 ausgetauschten Informationen beschrieben.
- **IEC 62264-3 Ed. 2: Enterprise – control system integration – Part 3: Activity models of manufacturing operations management**
Teil 3 des Standards beschreibt Aktivitätenmodelle für die Koordination von Produktionsprozessen und Datenflüsse zwischen den Aktivitäten,
- **IEC 62264-4 Ed. 1: Enterprise – control system integration – Part 4: Objects and attributes for manufacturing operations management integration**
In Teil 4 werden die Objektmodelle und deren Attribute der im Kontext von Teil 3 ausgetauschten Informationen beschrieben.
- **IEC 62264-5 Ed. 2: Enterprise – control system integration – Part 5: Business to manufacturing transactions**
Teil 5 des Standards definiert Transaktionen zwischen Enterprise Resource Planning (ERP) und den für die Produktionssteuerungsebene definierten Aktivitäten.
- **IEC 62264-6 Ed.1: Enterprise – control system integration – Part 6: Messaging Service Model**
Teil 6 der IEC 62264 beschreibt Modelle für den Nachrichtenaustausch. Beschrieben sind Publisher-Subscriber und Request-Response Modelle.

3.1.2 Industrie 4.0

Als weitere Grundlage für das digitale Betriebsmanagement und seine I4.0-Komponenten dienen die von der Plattform Industrie 4.0 erarbeiteten Grundlagen, insbesondere das Konzept des Assets und das ihrer Verwaltungsschale (Asset Administration Shell, AAS) [7]. Nach [8] wird eine Verwaltungsschale als Interface zwischen dem physischen Gegenstand (Asset) und der Industrie 4.0-Kommunikation beschrieben. Im Konzept der Verwaltungsschale erhält jeder relevante Gegenstand seine Verwaltungsschale und damit sein eigenes digitales Abbild, so dass er in die vernetzt organisierte Industrie 4.0-Produktion eingebunden werden kann. Ein Asset wird durch seine Verwaltungsschale repräsentiert.

Für eine ausführliche Erläuterung dieser Begriffe und Konzepte und den aktuellen Stand der Diskussion sei auf die Web-Seite der Plattform Industrie 4.0 beim Bundeswirtschaftsministerium verwiesen

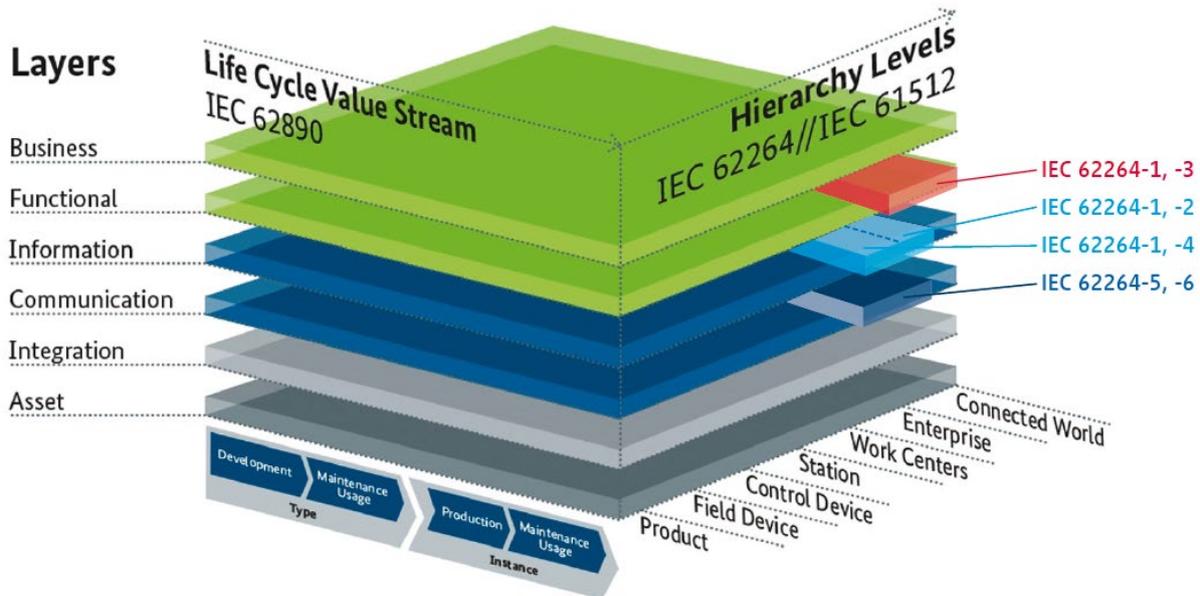
(<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Home/home.html>)

Nachfolgend werden die wichtigsten Definitionen kurz beschrieben.

Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)

wurde entwickelt, um die verschiedenen Aspekte von Gegenständen (Assets) einordnen und beschreiben zu können. Es verfügt nach [9] 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 IEC 62264-1 und IEC 61512-1.



Quelle: Automation 2015 [8] - erweitert

Abbildung 7: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)

Die Positionierung des Betriebsmanagements im Kontext von Industrie 4.0 lässt sich mittels einer Einordnung der einzelnen Teile der IEC 62264 in RAMI vornehmen [10] und ist ebenfalls in Abbildung 7 dargestellt.

Asset

Ein Asset wird als ein Objekt verstanden, das in Bezug auf Industrie 4.0 einen Wert besitzt und in einem Industrie-4.0-Kontext verwendet und individuell verwaltet wird. Dabei ist es unerheblich, ob das Objekt in der physischen Welt oder in der Informationswelt existiert.

Verwaltungsschale¹

Jedes Asset erhält in der Industrie 4.0 Welt eine – in Software realisierte - Verwaltungsschale, die das Asset nach außen repräsentiert und die Kommunikation zwischen Assets

- zur Erkundung ihrer Eigenschaften
- zur Anreicherung ihrer Informationen
- und zur Nutzung ihrer Funktionen

ermöglicht.

¹ Verwaltungsschalen und Teilmodelle sollten nach Ansicht der Autoren als instanziierte Komponenten realisiert werden.

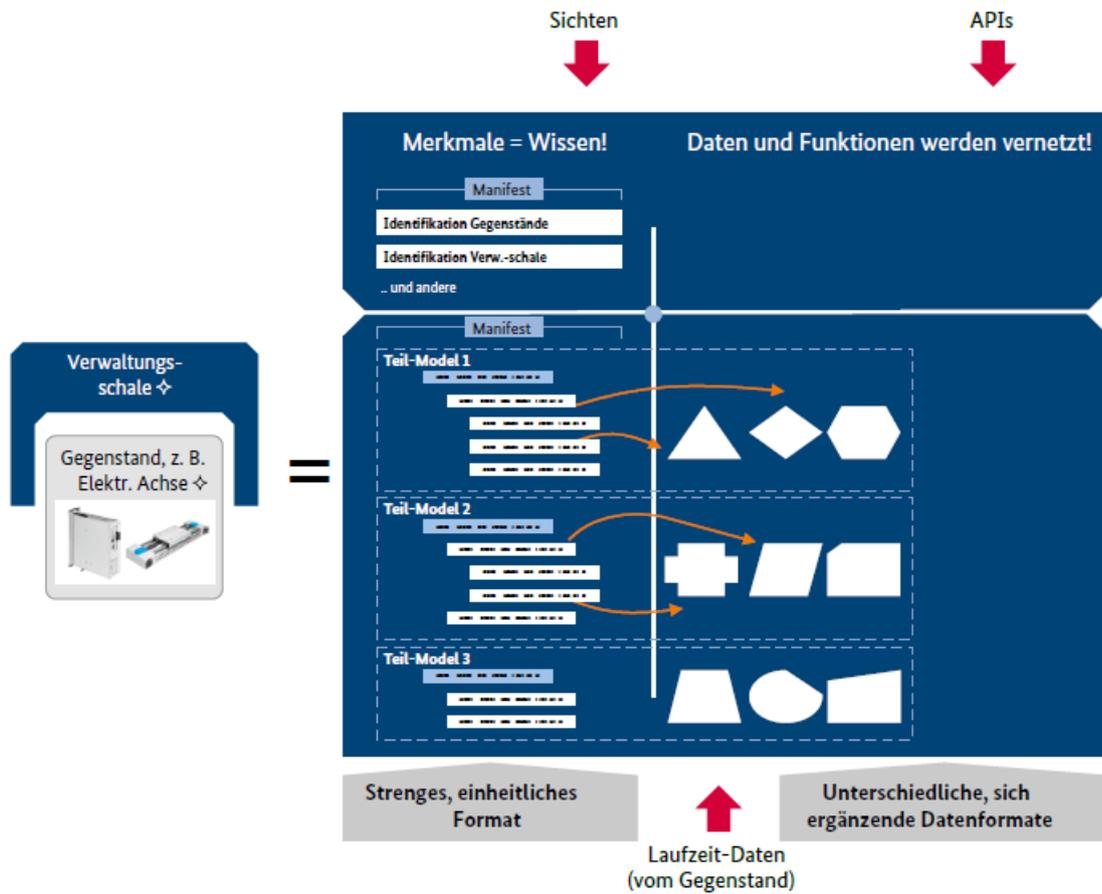


Abbildung 8: Verwaltungsschale einer Industrie 4.0-Komponente (nach [11])

Die Verwaltungsschale muss nicht auf dem Asset selbst abgelegt sein, muss aber im Fall eines Assets, das z.B. Betriebs- oder Diagnosedaten nach außen zur Verfügung stellt, mit ihr kommunikativ verbunden sein, um die notwendigen online Informationen zwischen Asset und Verwaltungsschale austauschen zu können. Diese interne Kommunikation zwischen Asset und Verwaltungsschale ist nicht Teil der I4.0-Kommunikation und kann proprietär durch den Hersteller der I4.0-Komponente implementiert werden.

Teilmodelle

im Sinn von I4.0 sind funktional oder thematisch zusammengehörende Aspekte eines Assets, die als Merkmale und Dienste in der Verwaltungsschale als Software implementiert werden und auf die zum Zweck der Erkundung, Informationsanreicherung und Nutzung von Funktionen über die Verwaltungsschale von außen zugegriffen werden kann. Die Gesamtheit der Teilmodelle innerhalb einer Verwaltungsschale beschreibt das Asset in Bezug auf I4.0 vollständig.

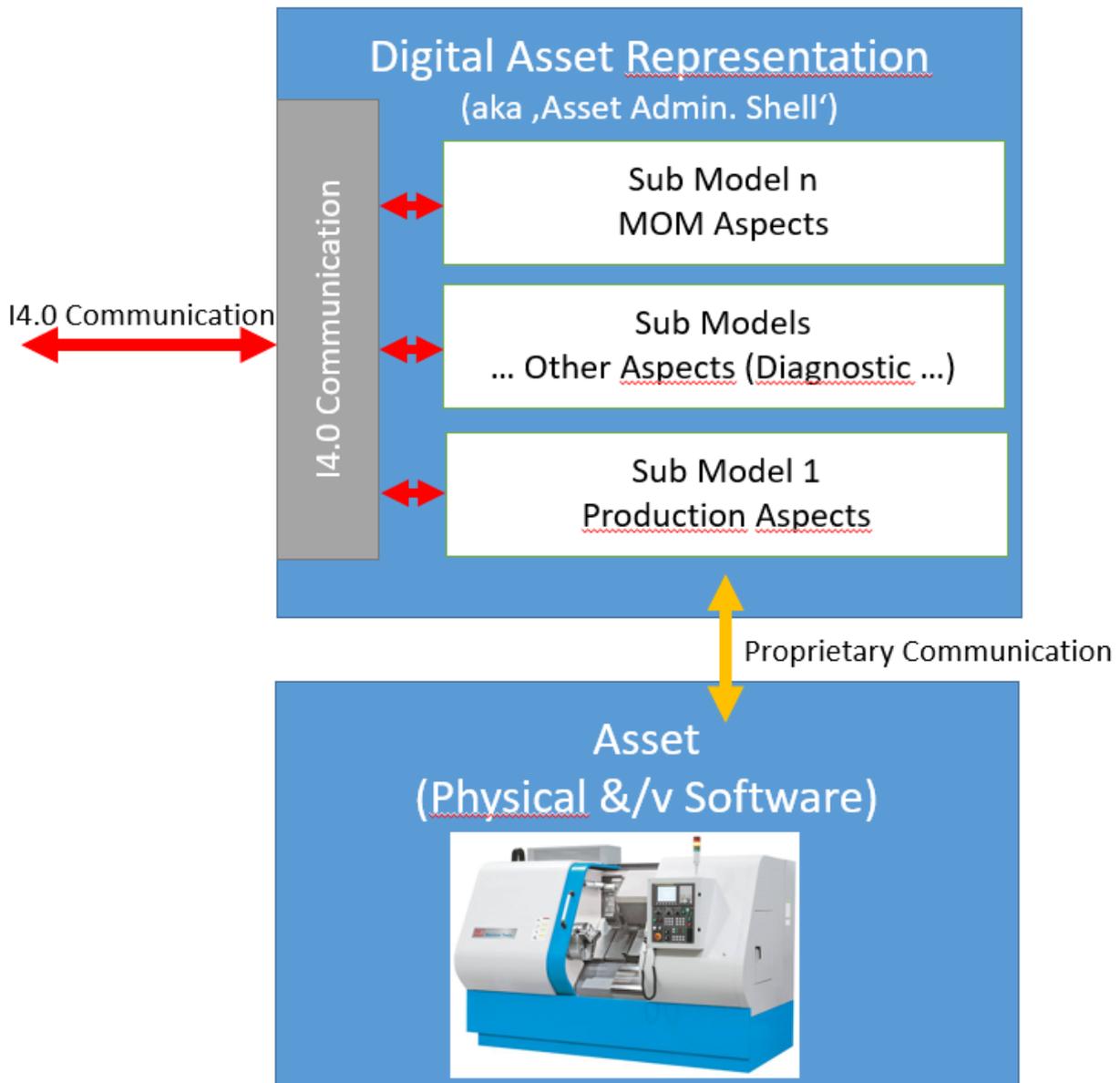


Abbildung 9: Beziehung Asset, Verwaltungsschale und Teilmodelle

Typen von Verwaltungsschalen

Nach [11] wird zwischen den folgenden Typen von Verwaltungsschalen unterschieden:

- **Passive Verwaltungsschalen:** Sie stellen Information zur Verfügung, ohne selbst Anwendungsaktionen zu initiieren oder auf solche von außen zu reagieren.
 - **im Dateiformat:** Sie stellen ihren gesamten für den Nutzer freigegebene Informationsinhalt zur Verfügung und können zwischen Partnern übertragen und über den Lebenszyklus angereichert werden.
 - **mit IP/API-basiertem Zugang:** Sie stellen ebenfalls für den Nutzer freigegebene Informationsinhalte zur Verfügung jedoch nicht über les- und übertragbare Dateiformate, sondern über CRUD (Create – Read – Update – Delete) Schnittstellen
- **Aktive Verwaltungsschalen:** Sie können zusätzlich zu den passiven CRUD-basierten Verwaltungsschalen an Interaktionen teilnehmen, wie sie beispielweise in der VDI/VDE 2193-Richtlinie spezifiziert sind. Dafür steht die ebenfalls in der Richtlinie spezifizizierte I4.0-Sprache zur Verfügung.

3.2 Digitales Betriebsmanagement unter Industrie 4.0

Betriebsmanagement (Manufacturing Operations Management; MOM) ist nach DIN EN 62264 – 1 folgendermaßen definiert:

„Aktivitäten der Ebene 3 einer Produktions- oder Fertigungsstätte, die das Personal, die Einrichtungen und das Material innerhalb der Produktion / Fertigung koordinieren“.

Die Definition von Verwaltungsschalen und Teilmodellen für MOM erfordert demnach die Unterscheidung in:

1. MOM-Aktivitäten nach IEC 62264 (siehe Abb. 3 und 4) und deren Implementierung als Softwarefunktionen.
2. MOM- Ressourcen (Personal, Equipment, Material)

Beide, sowohl die MOM-Aktivitäten als auch die MOM-Ressourcen, stellen nach der Definition von I4.0 Assets dar, die für eine optimale Produktion nützliche Eigenschaften und Funktionen besitzen und diese der Außenwelt über Verwaltungsschalen und I4.0 konforme Kommunikation zur Verfügung stellen.

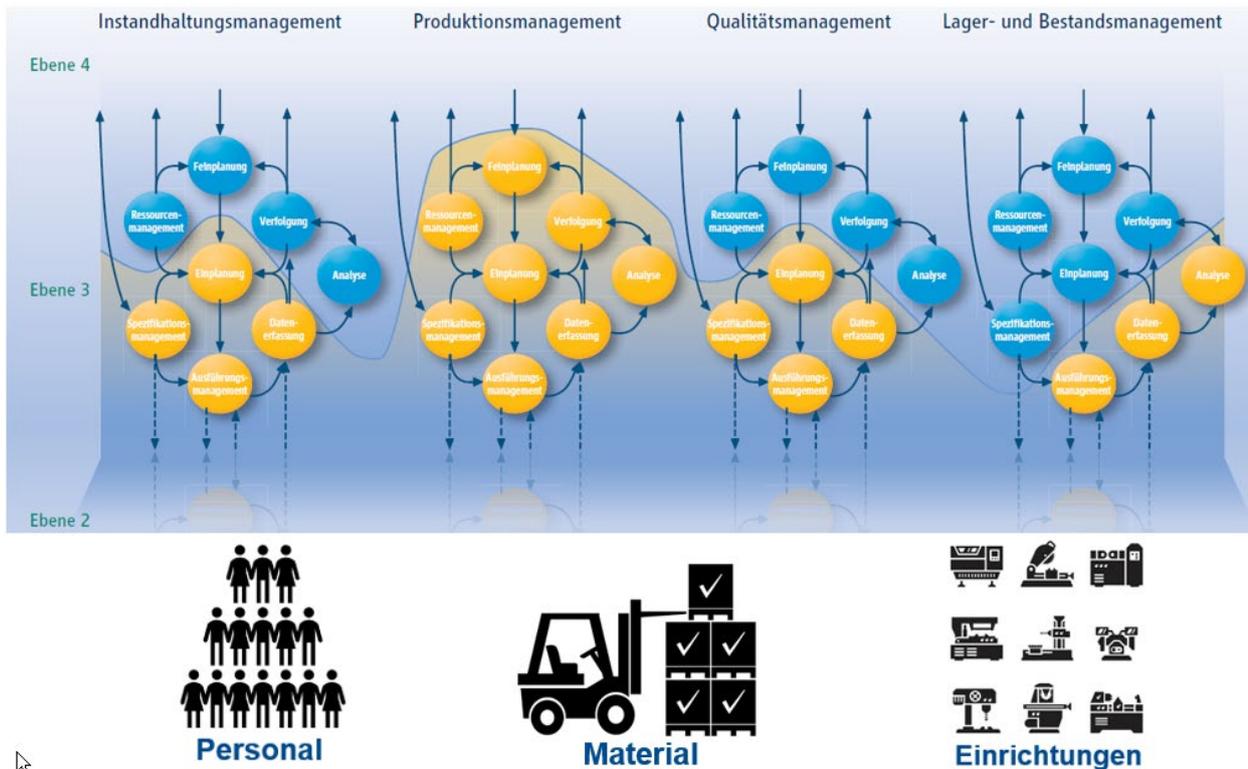


Abbildung 10: Betriebsmanagement – Interoperable MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen

Im Gegensatz zum heutigen Stand der Implementierung von Betriebsmanagement-Lösungen unterschiedlicher Systeme (ERP, MES, LIMS, WHM etc.) mit proprietären Schnittstellen, hohem Konfigurationsaufwand und der Replikation der gleichen Daten in den unterschiedlichen Systemen, sollten zukünftige digitale Betriebsmanagement Lösungen unter Industrie 4.0 neben ihren funktionalen Eigenschaften die folgenden Implementierungskriterien erfüllen:

1. Softwarefunktionen der Ebenen 4, 3 und 2 (siehe Abb. 2) als I4.0 Komponenten mit definierten Teilmodellen und Verwaltungsschalen
2. Interoperabilität „by Design“ – keine proprietären Schnittstellen
3. Transparenter Datenzugriff zwischen den I4.0 Komponenten und den hierarchischen Ebenen - keine Datenreplikation zwischen den Systemen der verschiedenen Hierarchieebenen (ERP, MOM, Shopfloor Automatisierung)
4. Plug & Produce -Konfiguration der Systeme durch Erkundung der Systemumgebung

3.2.1 Verwaltungsschalen und Teilmodelle für I4.0-MOM-Aktivitäten

Heutige MES Systeme sind typischerweise proprietäre Lösungen. Weder ihre innere Struktur, noch interne Schnittstellen sind nach außen sichtbar. Sie erscheinen nach außen als skalierbare Anwendungen, deren äußere Schnittstellen der Hersteller des MES festlegt.

Zukünftige MOM Systeme sollten nach Auffassung der Autoren als interoperable Industrie 4.0 MOM-Komponenten aufgebaut sein. Jede Komponente stellt eine Softwareimplementierung einer oder mehrerer in der IEC 62264 beschriebenen Aktivitäten (siehe Abb. 3 und 4) mit ihren Funktionen dar. Die Softwarerealisierung der Funktionen ist dabei nach wie vor Sache des jeweiligen Herstellers und proprietär. Im I4.0 Kontext sollen jedoch die zu erwartenden Funktionen einer Aktivität und deren Schnittstellen nach außen als standardisierte MOM-Aktivitäten-Teilmodelle I4.0-konform beschrieben werden. Diese können dann den Verwaltungsschalen von I4.0-MOM-Komponenten verschiedener Hersteller und Systeme (ERP, MES, LIMS, CMMS) zugeordnet, erkundet und in ein aufgabenspezifisches MOM integriert werden. Die Interoperabilität und der Datenaustausch zwischen den MOM-Aktivitäten (in Abbildung 4 als Verbindungslinien zwischen den Aktivitäten dargestellt) soll dabei als Teil der Spezifikation der Teilmodelle bereits berücksichtigt werden.

Bei 4 Bereichen (Produktion, Lagerhaltung, Qualität, Wartung) und 8 Aktivitäten innerhalb jedes Bereichs sind es 32 MOM-Aktivitäten-Teilmodelle die die Domäne Betriebsmanagement unter I4.0 abdecken.

Kapitel 8 beschreibt exemplarisch die Teilmodelle der MOM-Aktivitäten des Produktionsmanagements.

3.2.2 Verwaltungsschalen und Teilmodelle für I4.0 MOM-Ressourcen

Eine Verwaltungsschale einer für die Produktion relevanten Ressource (ein MOM-Ressourcen-Asset) muss in seinen Teilmodellen auch die für die Interaktion mit den MOM-Aktivitäten relevanten Daten und Funktionen zur Verfügung stellen. Dies muss durch die Implementierung eines MOM-Ressourcen-Teilmodells (neben den anderen, für den produktiven Einsatz der Ressource benötigten Teilmodelle) in der Verwaltungsschale der Ressource erfolgen, wobei das MOM-Ressourcen-Teilmodell seinerseits auch auf Merkmale anderer Teilmodelle der Ressource zugreifen kann.

Für die Softwareimplementierung dieser Teilmodelle als Bestandteil der, das Equipment repräsentierenden Verwaltungsschale, ist der Lieferant, z.B. einer Maschine, zuständig. Voraussetzung ist, dass dem Lieferanten die seitens der MOM-Aktivitäten benötigten Informationen und Interaktionen bekannt sind.

Kapitel 9 beschreibt exemplarisch Teilmodelle für MOM-Ressourcen bezogen auf das Produktionsmanagement.

Für den Aufbau anderer Teilmodelle zur Beschreibung der inneren Strukturen, Funktionen und Eigenschaften von Ressourcen bzw. zu deren Verwaltung sei auf Teil 2 der IEC 62264 mit ihren Datenmodellen für Personal, Equipment und Material verwiesen.

Wie diese Definitionen der IEC 62264 zur Überführung in I4.0 Teilmodelle zur Beschreibung der Assets genutzt werden können, ist in Kapitel 7 exemplarisch beschrieben.

Die „nicht MOM spezifischen“ Teilmodelle liegen in der Verantwortung der jeweiligen Hersteller bzw. anderer Normungsaktivitäten und sind nicht Teil der Betrachtung der Kommunikation zwischen den MOM-Aktivitäten und -Ressourcen.

3.3 Kommunikation zwischen I4.0 MOM Komponenten

Die Kommunikation zwischen den Assets über Verwaltungsschalen ist Grundvoraussetzung für Industrie 4.0. Im Folgenden sollen die verschiedenen Möglichkeiten der Kommunikation zwischen I4.0-MOM Komponenten und deren Tauglichkeit für das digitale Betriebsmanagement untersucht werden.

3.3.1 Kommunikation auf der Basis von Merkmalen

Die Verwaltungsschale bildet alle für die Nutzung des Assets erforderlichen Informationen in Form von Merkmalen ab, auf die mit Basisdiensten wie Create, Read, Update, Delete (CRUD) zugegriffen werden kann

Für das einfache Beispiel einer Bohrmaschine heißt das z.B. maximale Bohrtiefe, – Durchmesser, Vorschub etc. sind Merkmale, die gelesen werden können. Ebenso, ob die Maschine verfügbar ist. Erforderliche Maschinenbelegung sowie Tiefe und Durchmesser der Bohrung können von einer außenstehenden I4.0-Komponente auf die entsprechenden Merkmale geschrieben und die Bohrfunktion über ein weiteres Merkmal gestartet werden.

Für den Nutzer oder Client des Assets ‚Bohrmaschine‘ würde das bedeuten, dass er für die Funktion, die er nutzen möchte, alle Merkmale kennt und dass ihm die Spielregeln bekannt sind nach denen er Merkmale lesen und schreiben muss. Was im Fall einer einfachen Bohrmaschine noch als Kommunikationsmechanismus denkbar ist, ist im Fall eines dynamischen Systems wie z.B. der Ressourcenverwaltung eines Betriebslagers mit wechselnden Halbzeugen, Hilfsstoffen und Mengen schwer vorstellbar.

3.3.2 Kommunikation über vordefinierte Transaktionen (IEC 62264 – Teil5) bzw. Messages Service Modelles (IEC 62264 – Teil6)

Die Verwaltungsschale erlaubt es, über vordefinierte Transaktionen die innere Struktur des Assets zu erkunden und seine Funktionen zu nutzen. Dabei kommen Dienste zum Einsatz, die für die MOM-Domäne definiert sind.

Hier schlägt die IEC 62264-5 Ed. 2: Enterprise – control system integration – Part 5: Business to manufacturing transactions‘ einen grundlegenden Kommunikationsmechanismus bestehend aus ‘Verb’ und ‘Nomen’ vor, mit dem die in den IEC62264 Teilen 2 und 4 definierten Modell-Attribute gelesen und geschrieben werden können. Die Struktur der Kommunikation ist in

Abbildung 11 erläutert.

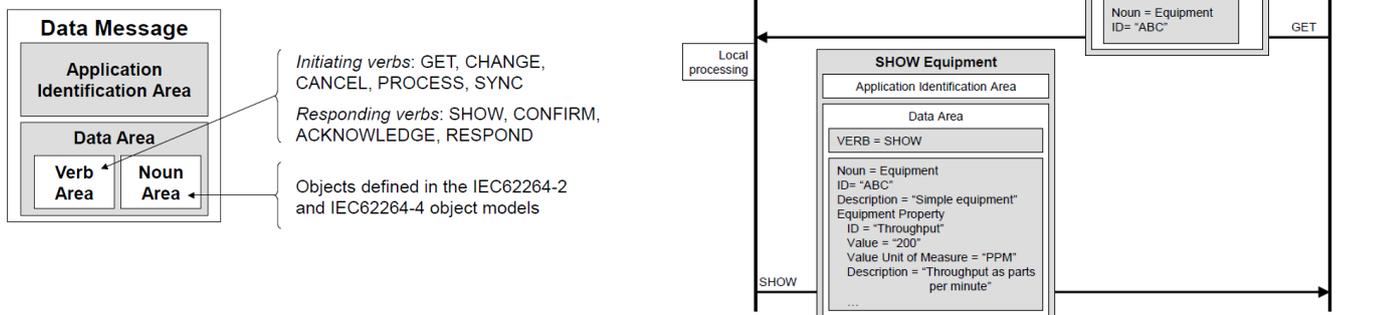


Abbildung 11: Typischer Datensatz (links) für die Kommunikation (rechts) nach IEC62264 – Teil 5: Manufacturing to Business Transactions

Eine Verbesserung gegenüber 5.3.1 stellt diese Methode insofern dar, dass sie über die Verwendung von Wildcards (*,?) in den Nomen, die Exploration von Daten zulassen würde. Aber auch hier ist es der Client, der die Informationen auswerten und entsprechend der ihm bekannten Prozesslogik verarbeiten und manipulieren muss. D.h. möchte z.B. ein Scheduling Programm ein bestimmtes Material für einen Produktionsauftrag reservieren, so muss es den Bestand für das Material auslesen und ermitteln welche Chargen oder Lose davon existieren und noch nicht reserviert sind und anhand der Mengen ermitteln, welche Mengen von welcher Charge reserviert werden müssen, um dann die entsprechenden Attribute auf ‚reserviert‘ ‚für Auftrag xyz‘ setzen.

Diese Dienste arbeiten letztlich auf Datenmodellen, die durch die IEC 62264 definiert werden. Wie die Komponenten mit den Datenmodellen interagieren, ist nicht definiert.

3.3.3 Kommunikation über Aufruf von Diensten

Die Teilmodelle von MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen bilden ab, welche Funktionen das Asset bietet und definieren wie die Funktionen über Dienstaufrufe genutzt werden können.

In dieser Variante werden vom Asset bereitgestellte aufgabenspezifische Dienste aufgerufen. Dazu benötigt der Nutzer keine Kenntnis über die inneren Strukturen und die Merkmale des Assets. Was er wissen muss, sind die vom Asset zur Verfügung gestellten Dienste mit ihren Aufrufsignaturen und möglichen Rückgabewerten.

Aus Sicht des MOM können damit MOM-Aktivitäten oder MOM-Ressourcen derartige Dienste anbieten. Sie sind gegenüber den Einzeltransaktionen mit ihren komplexen Abläufen schlanker und können ganze Sequenzen von Transaktionen kapseln. Damit sind sie auch in der Lage, Businesslogik zu kapseln und damit den Client zu entlasten, der nun nicht mehr alle Aspekte der Businesslogik kennen muss. Typisch werden I4.0 Komponenten mit aktiven Verwaltungsschalen sein, die selbst Funktionen besitzen und diese als Dienste anbieten bzw. die Dienste anderer Komponenten zur Kommunikation nutzen können.

Für die MOM Domäne ist es vorstellbar, diese Dienstauftrufe für alle MOM-Teilmodelle (Aktivitäten und Ressourcen) zu definieren. Diese könnten dann in der praktischen Realisierung als bekannt vorausgesetzt werden. Die in Kapitel 8 und 9 enthaltenen Beschreibungen der MOM-Aktivitäten und -Ressourcen stellen exemplarisch Funktionen dar, die in Form von Dienstaufrufen genutzt werden können.

3.3.4 Industrie 4.0 Sprache

Ein Konzept für eine Sprache zur Kommunikation zwischen I4.0 Komponenten auf Basis von Diensten wird in [13] vorgelegt. Die wesentlichen Festlegungen dabei sind:

- **Vokabular der I4.0 Sprache:** Es besteht aus Merkmalen, die sowohl die Eigenschaften als auch Funktionalitäten beschreiben. Die Merkmale sind im Format von IEC 61360 zu beschreiben. Jedes Merkmal ist eindeutig durch eine ID zu kennzeichnen. Sie treten sowohl als Typ als auch als Instanz auf. Die Merkmale werden in Teilmodellen strukturiert in der Verwaltungsschale hinterlegt.
- **Struktur von Nachrichten:** Die Kommunikation zwischen den Verwaltungsschalen beruht auf Nachrichten. Sie bestehen aus den folgenden Teilen:
 - Identifikation: Identifikation des Senders und Empfängers und der Nachricht selbst
 - Nutzdaten: Zweck der Nachricht und Datenelemente, die den Zweck näher spezifizieren.
- **Interaktionsprotokolle:** Sie legen für Domänen-spezifische Anwendungsfälle fest, welche Anfragen gestellt werden können und welche Antworten der Sender vom Empfänger erwartet.

3.4 Konfiguration eines I4.0 MOM Systems

Ein digitales Betriebsmanagement-System besteht aus I4.0-MOM-Assets wie den MOM-Aktivitäten und den MOM-Ressourcen.

Hersteller von MOM-Aktivitäts-Komponenten liefern diese als Softwareapplikationen. Die Installation kann entweder ‚On Premises‘, oder Cloud-basiert als ‚Infrastructure as a Service‘ (IaaS) oder ‚Software as a Service‘ (SaaS) erfolgen. In jedem Fall werden bei der Installation die MOM- Aktivitäts-Komponenten des Herstellers, die bei ihm mit ihren Verwaltungsschalen als Typ vorliegen, zu einer konkreten Instanz. Mit dieser Instanz arbeitet der Kunde/Anwender. Das Gleiche gilt für die Verwaltungsschalen der MOM-Ressourcen-Komponenten wie z.B. Maschinen oder die durch Software verwalteten Ressourcen wie z.B. für Lager oder Personal. Auch hier liegen die Verwaltungsschalen der Ressourcen beim Hersteller als Typ vor und werden durch die Einbindung in ein System zur konkreten Instanz

Entsprechend den Festlegungen von I4.0 erhält jede Verwaltungsschale und jedes Teilmodell eine eindeutige Identifikation. Diese müssen nach ISO 29002-5 oder als URIs definiert sein.

Nach dem aktuellen Standard RFC 3986 besteht ein URI aus fünf Teilen: scheme (Schema oder Protokoll), authority (Anbieter oder Server), path (Pfad), query (Abfrage) und fragment (Teil), wovon nur scheme und path in jedem URI vorhanden sein müssen. Die Zugehörigkeit von MOM-Komponenten zu einem konkreten MOM-System in einer Anlage kann damit über den Pfad in der URI folgendermaßen definiert werden:

<https://company.com/company/site/plant/mom/activity/submodel>
<https://company.com/company/site/plant/mom/resource/equipment/number>



Mit den ersten vier Teilen der Pfad-Information ist für alle MOM-Instanzen festgelegt, zu welchem MOM-System sie gehören. Durch eine standardisierte Benennung der weiteren Pfad-Informationen (activity/submodel etc.) können alle Teilnehmer des Systems die URIs ihrer Partner ermitteln und mit ihnen interagieren.

4 Vorgehen zur Erstellung von MOM Teilmodellen

Nach den Konzepten von Industrie 4.0 ist es die wesentliche Aufgabe der Verwaltungsschale eines Assets und seiner Teilmodelle die Aspekte eines Assets hinreichend genau zu definieren, damit das Asset im Kontext von Industrie 4.0

- Informationen über sich selbst (Eigenschaften und Lebenszyklus) speichern und anderen zur Verfügung stellen kann
- seine im Geschäfts- und Produktionsverbund nützlichen Funktionen von anderen genutzt werden können.

Nach Auffassung der Autoren soll die Beschreibung von Eigenschaften der Assets über die Merkmale von Teilmodellen erfolgen, die Nutzung von Funktionen (entsprechend Kapitel 5.3.3) jedoch über Dienstaufrufe.

4.1 Teilmodelle für MOM-Aktivitäten

Für die Erstellung von Teilmodellen für MOM-Aktivitäten heißt das, dass dabei vor allem definiert werden muss

- welche Merkmale beschreiben das Teilmodell
- welche internen als Software des Assets implementierten Funktionen oder Dienste im Teilmodell der MOM-Aktivität erwartet und als gegeben vorausgesetzt werden,
- wie die Dienste aufgerufen und welche Übergabe-Parameter benötigt werden.
- wie die Rückmeldung des Dienstes an den Nutzer des Dienstes aussieht und welche Merkmale übertragen werden

Die internen Strukturen des Assets zur Realisierung der Dienste brauchen nicht als Merkmale des Teilmodells abgebildet werden.

Welche Eigenschaften, Funktionen und Dienste das Teilmodell einer MOM-Aktivität enthalten soll, ergibt sich aus der Beschreibung der Use Cases, die das Teilmodell abdecken soll. Beispiele für dieses methodische Vorgehen finden sich in Kapitel 8 ‚Definition von Teilmodellen für interoperable I4.0 MOM Aktivitäts-Komponenten‘.

4.2 Teilmodelle für MOM-Ressourcen

Assets, die im Rahmen eines MOM-Systems als Ressourcen verwaltet und genutzt werden sollen, benötigen in ihrer Verwaltungsschale neben den anderen Teilmodellen, die das Asset beschreiben, auch ein Teilmodell für die Interaktion zwischen dem Asset und den MOM-Aktivitäten. Auch diese Kommunikation soll unter I4.0 nicht auf proprietären Schnittstellen beruhen, sondern über MOM-Ressource Teilmodelle interoperabel gestaltet werden.

Dazu müssen die MOM-Teilmodelle für Ressourcen in der Lage sein die folgenden Aufgaben zu erfüllen:

- Einbindung der Ressource in das MOM-Gesamtsystem durch Übermittlung der Instanz-Kennzeichnung, Klassenzugehörigkeit und der Fähigkeiten der Ressource
- Empfang von Reservierungen und Belegungen durch das Resource-Management bzw. die Disposition des Produktions- bzw. Wartungsmanagement
- Übermittlung von Ressourcen-Status Änderungen an das Ressourcenmanagement
- Empfang von Ausführungsspezifikationen und -anweisungen vom Ausführungsmanagement
- Rückmeldung des Bearbeitungsstatus
- Übermittlung von Diagnose-Informationen von technischen Einrichtungen an das Wartungsmanagement

Die dafür notwendigen Eigenschaften, Funktionen und Dienste dieser MOM-Ressourcen-Teilmodelle, werden ebenfalls anhand von Use Cases in Kapitel 9 ‚Definition von Teilmodellen für interoperable I4.0 MOM Ressourcen-Komponenten‘ analysiert und exemplarisch beschrieben.

5 Überführung von Definitionen der IEC 62264 in Merkmale von I4.0 Teilmodellen

Die IEC 62264 definiert verschiedene Modelle mit ihren Properties und folgt dabei einem einheitlichen Modellierungskonzept. Für die Definition von Teilmodellen von MOM-Komponenten und deren Verwaltungsschale können diese auf Merkmale von Teilmodellen abgebildet werden. Modellübergreifende Daten, die in den Teilen 1, 2 und 4 der IEC/EN 62264 definiert sind, können so abgebildet und durch ihre Verfügbarkeit als Merkmale von Teilmodellen semantisch beschrieben werden.

Der Vorteil der IEC/EN 62264 in Bezug auf die Abbildung auf Teilmodelle liegt in der abstrakten Darstellung. Der Standard beschreibt, wie die Objekte und Attribute definiert werden, legt jedoch kaum solche Attribute direkt fest. Für die einzelnen Modelle in IEC/EN 62264, z.B. Equipment Model, Material Model, Personnel Model, Process Segment Model, werden Aggregationen von einzelnen Properties definiert und Typ-Instanz-Konzepte eingeführt. In Abbildung 12 ist dies am Beispiel des Equipment Models dargestellt. Ein Equipment-Class-Objekt legt den Typ für ein Equipment fest, z.B. „Reaktionsbehälter“, und spezifiziert dessen Eigenschaften (Properties). Eine Instanz dieses Typs, z.B. „Reaktionsbehälter Nr. 4“ wird durch ein Equipment-Objekt repräsentiert und kann konkrete Werte für die im Typ festgelegten Properties besitzen.

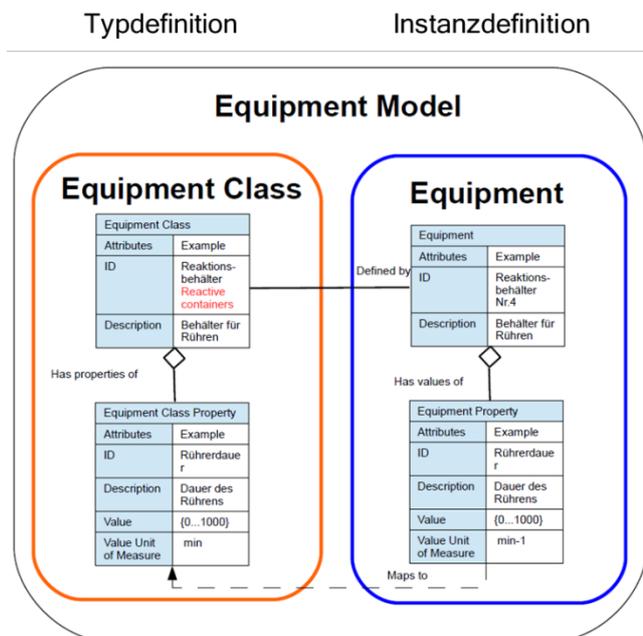


Abbildung 12: Beschreibungsmodell der IEC/EN 62264 am Beispiel des Equipment Models

Die Merkmalsbeschreibung für die Teilmodelle einer Verwaltungsschale ist in [11] definiert. Sie beinhaltet Attribute wie ID, Version, Name, Beschreibung, Datentyp usw. (Abbildung 13, unten). Die Beschreibung der Merkmale erfolgt über die Konzepte der IEC 61360, auf die auch in eCl@ss verwiesen wird. Durch die semanticId wird die semantische Referenz auf eine standardisierte Definition für ein Merkmal hergestellt.

VWSiD											
Name	idShort	category	description	parent	semanticId	kind	qualifier	value	valueId	valueType	hasDataSpecification
Data Type	string	string	langString	URI	Reference	Kind	Constraint				http://www.admin-shell.io/DataSpecificationTemplate/DataSpecificationIEC61360
Qualifier	Referable 0..1	Referable 0..1	Referable 0..1	Referable 0..1	hasSemanticId 0..1	hasKind 0..1= instance	Qualifiable 0..*				
Definition	Identifying string of the element in its name space.	The category is a value that gives further meta information w.r.t. to the class of the element. It affects the expected existence of attributes and the applicability of constraints.	Description or comments on the element.	Reference to the next referable parent element of the element.	Identifier of the semantic definition of the element. It is called semanticId of the element.	Kind of the element: either type or instance. Default Value = instance	Additional qualification of a -qualifiable element. Qualifiers have a Type, Value and ValueID.	The value of the property instance	Reference to the global unique id of a coded value.	anySimpleTypeDefinition	Global reference to the data specification template used by the element.
Beispiel	Temperatur entspricht shortName von IEC 61360		zum vorschriftsgemäßen Arbeiten benötigte Gerätetemperatur	http://www.admin-shell.io/Submodel/Device/RoomTemperature	DATA-1602-AAP7238002	instance	BASIC	27			http://www.admin-shell.io/DataSpecificationTemplate/DataSpecificationIEC61360
VWSk			x		x	x	x	x			

dataSpecificationContent											
Name	IEC61360										
Data Type	preferredName	shortName	unit	unitID	sourceOfDefinition	symbol	dataType	definition	valueFormat	valueList	code
	langString	string	string 0..1	reference 0..1	langString 0..1	string 0..1	string	langString	string 0..1	ValueList 0..1	Code
Beispiel	Arbeitstemperatur		°C	IRDI von °C		T					
	x		x		x		x	x		x	

Abbildung 13: Attribute eines Merkmals aus VWSiD und IEC 61360x [11]

In einer vereinfachten Form werden in [11] folgende Attribute beschrieben:

- shortId → vom VWS-Hersteller definierter lesbarer String, der einen eindeutigen Namen im Namensraum des Teilmodells enthält,
- semanticId → es kann Teilmodelle geben, deren semantische Beschreibung intern oder extern eindeutig beschrieben ist, diese semantische Beschreibung wird mit diesem Attribut referenziert (optional).
- Description → Definition oder Erklärung zum Merkmal.
- Value → Wert des Merkmals.
- Parent → es können Strukturen von Merkmalen aufgebaut werden, die Hierarchie wird durch das „parent“ Attribut beschrieben.
- Qualifier → zusätzliche Angaben zur Beschreibung des values (z. B. Anforderung, Zusicherung, mandatory, optional...)

Property-Definition
nach IEC 62264-1, -2

Merkmalsdefinition
nach IEC 61360

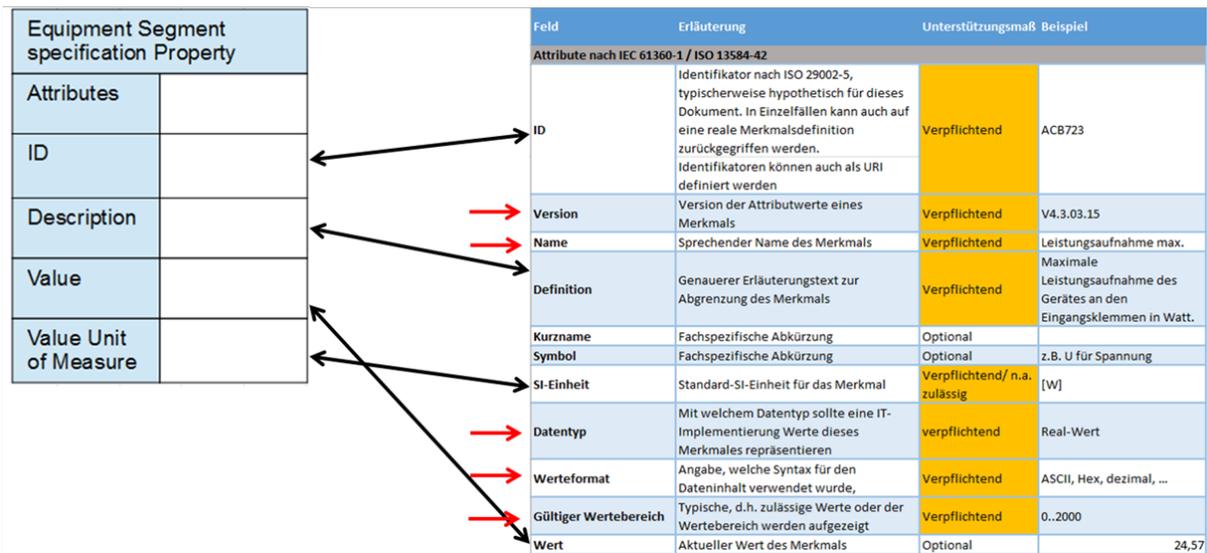


Abbildung 14: Prinzipielle Abbildung der Beschreibungselemente der IEC/EN 62264 auf Merkmale einer Verwaltungsschale

Die IEC 62264 definiert einen Basissatz an Attributen für jede Property (z. B. für die Identifikation, Beschreibung, Wert, Maßeinheit). IEC 61360 definiert ebenfalls einen Satz von Attributen für die Beschreibung eines Merkmales. Die in IEC 62264 definierten Attribute lassen sich auf Attribute nach IEC 61360 abbilden. Zusätzlich sind für die Abbildung die Werte der zusätzlichen Attribute (siehe rote Pfeile in Abbildung 14) festzulegen.

Liegen die Quell- und Zielformate in geeigneter Form vor, so lassen sich konkrete Transformationsvorschriften erstellen. Ein mögliches Quellformat stellt die Business to Manufacturing Markup Language (B2MML) dar, in dem Elemente der IEC/EN 62264 in XML auf Basis von entsprechenden Schemata abgebildet sind. Spezifische Austauschformate für die Merkmale der Verwaltungsschale sind in [14] veröffentlicht und enthalten u.a. XML und JSON. Eine mögliche Repräsentation für Zielformate ist derzeit ein MS Excel-basiertes Format, das die IEC für die Pflege der (gleichartig strukturierten) Merkmale in ihrem Common Data Dictionary (IEC CCD) nutzt, wenngleich hier eine XML-basierte Variante vorzuziehen wäre.

Beide Beschreibungsformen nutzen eine vergleichbare Ausprägungssemantik. Die Properties bzw. Merkmale können Anforderungen und Zusicherungen beschreiben oder Messwerte darstellen. Im MOM wird dies z.B. benutzt, um die Verfügbarkeit von Material, Equipment oder Personal mit konkret angegebenen Eigenschaften wie Materialtyp, Durchsatz, Berechtigungen (Zusicherungen) für die Planung bzw. Durchführung abgleichen zu können. Messwerte werden insbesondere bei den Funktionen zur Datenerfassung und Analyse verwendet, z.B. für die Ermittlung von Istzuständen oder Energieverbräuchen.

Die konkrete Festlegung von einzelnen Properties nach IEC/EN 62264 hängt weitgehend vom jeweiligen konkreten Einsatzfall ab. Neben allgemein verwendbaren Eigenschaften wie ID, Version usw. lassen sich auch konkrete Eigenschaften zu bestimmten Funktionen definieren, etwa für einen Scheduler die Anzahl der möglichen Jobs, die zeitliche Auflösung, die Fähigkeit von Vorwärts- und Rückwärtssimulation etc. Insbesondere die allgemeinen Eigenschaften sind teilweise bereits in Teilmodellen der Industrie 4.0 abgebildet, etwa zur Identifikation von Komponenten. Die konkreten Eigenschaften können in eine Menge von MOM-Teilmodellen fließen. Dabei wird für die Interoperabilität entscheidend sein, welcher Wille zur Standardisierung besteht. Aus Sicht der Anwender wäre hier ein hoher Grad an Einheitlichkeit bei der Beschreibung der Funktionalität wünschenswert. Die konkrete Implementierung der Funktionen in einem System bzw. in Modulen kann sich dabei natürlich unterscheiden und erlaubt auch für die Anbieter solcher Module, unique selling points herauszustellen.

Eine Abbildung dieser Modelle auf Basis des RAMI4.0 Functional Layers und Information Layers erlaubt damit die Bereitstellung von interoperablen Komponenten mit MOM-Funktionen sowie den erforderlichen

Teilmodellen. Die Implementierung und die Verteilung der MOM-Funktionen auf Industrie 4.0-Komponenten – sei es als Teilfunktion einer MOM-Ressourcen-Komponente (z. B. Maschine) oder als eigenständige MOM-Komponente – ergänzen die in den Verwaltungsschalen dieser Komponenten bereits enthaltenen Merkmale zu Funktion und Daten um weitere spezifische Merkmale. Diese beschreiben z. B. die bereitgestellten Dienste mit ihren Kommunikationseigenschaften im Communication Layer des RAMI4.0 und (herstellerspezifische) Implementierungsdetails im Integration Layer.

Die Properties nach IEC/EN 62264, die spezifische Eigenschaften beschreiben, stehen in einer engen Relation zu Teilmodellen, die Prozessfähigkeiten wie z.B. Bohren oder Materialdetails abbilden. Hier ist es erforderlich, bei der Definition der Merkmale für MOM-Komponenten diese bestehenden Modelle zu berücksichtigen. In [7] ist hierfür ein Vorgehensmodell definiert, das bei der Erstellung von Teilmodellen verwendet werden soll und das diese Abhängigkeiten reduzieren hilft. Die Referenzierung von Merkmalen aus anderen Modellen ist mit den Mechanismen der IEC 61360 selbstverständlich möglich und sollte entsprechend genutzt werden.

Ein vergleichbarer Ansatz kann für die Definition der Dienste verwendet werden. Für die Kommunikation nach 3.3.1 sind keine weiteren Spezifikationen notwendig, da hier lediglich der Zugriff auf Merkmale erfolgt und die generischen Lese- bzw. Schreibdienste verwendet werden. Verwaltungsdienste wie etwa zum Erkunden der Teilmodelle (Browse) oder zur Teilmodellverwaltung können ebenso verwendet werden. Für die Kommunikation mittels MOM-Transaktionen (Kapitel 3.3.2) müssen diese Transaktionskonzepte in Industrie 4.0-konforme Dienstdefinitionen überführt werden. Die Verben (GET, SHOW, CANCEL, ...) bezeichnen dabei die Dienstenamen, während die Datenstrukturen entsprechend der Modelle der IEC 62264 (Equipment, Material, ProductSegment, ...) die Aufruf- und Rückgabedaten beinhalten. Die spezifischen Dienste (Kapitel 3.3.3) müssen mit ihren Signaturen vollständig neu definiert (in Anlehnung an die Tabellen im Kapitel 8 und 9) oder aus künftigen Standardisierungsergebnissen entnommen werden. Für die Kommunikation über domänenspezifische Dienste müssen die Ressourcen, auf denen die Verwaltungsschalen implementiert sind, natürlich entsprechende Dienstzugangspunkte bereitstellen, über die der Aufruf der jeweiligen Business-Logic-Funktionalität erfolgen kann.

Auf diesem Wege lassen sich somit sukzessiv und in arbeitsteiligen Prozessen Teilmodelle für MOM-Funktionen aufbauen und bereitstellen.

6 Teilmodelle für interoperable I4.0 MOM Aktivitäts-Komponenten

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln die aus der Sicht der Autoren grundlegenden Konzepte für I4.0-MOM-Komponenten erläutert wurden, soll im Folgenden anhand von exemplarischen Use Cases aufgezeigt werden, wie Dienste und Dienstaufrufe Teilmodelle von MOM-Aktivitäten beschreiben. Beispielhaft soll dies an den MOM-Aktivitäten des Produktionsmanagements geschehen. Dabei erheben die folgenden Abschnitte keinen Anspruch auf Vollständigkeit – weder in Bezug einer vollständigen Beschreibung der Funktionen, noch in Bezug auf die Vollständigkeit der zwischen den Aktivitäten auszutauschenden Informationen - , sondern dienen lediglich als Überblick für die notwendige Ausarbeitung und Normung von Teilmodellen in Verwaltungsschalen für I4.0-MOM-Komponenten.

Ausdrücklich sei für die notwendige Normungsarbeit auf folgende Grundlagen hingewiesen:

1. Teil 3 ‚Activity models of manufacturing operations management‘ der IEC 62264 der die Funktionen der MOM-Aktivitäten und deren Abhängigkeiten zueinander beschreibt.
2. Informationsinhalte, die zwischen den MOM-Aktivitäten ausgetauscht werden sind in der nachfolgenden Grafik schwarz hinterlegt und im Teil 4: ‚Objects and attributes for manufacturing operations management integration‘ der IEC 62264 beschrieben.
3. Die Definition von Business To Manufacturing Markup Language (B2MML) [15] die der IEC62264 folgend XML-Schemata zum Austausch von Informationen in der MOM-Domäne beschreibt.

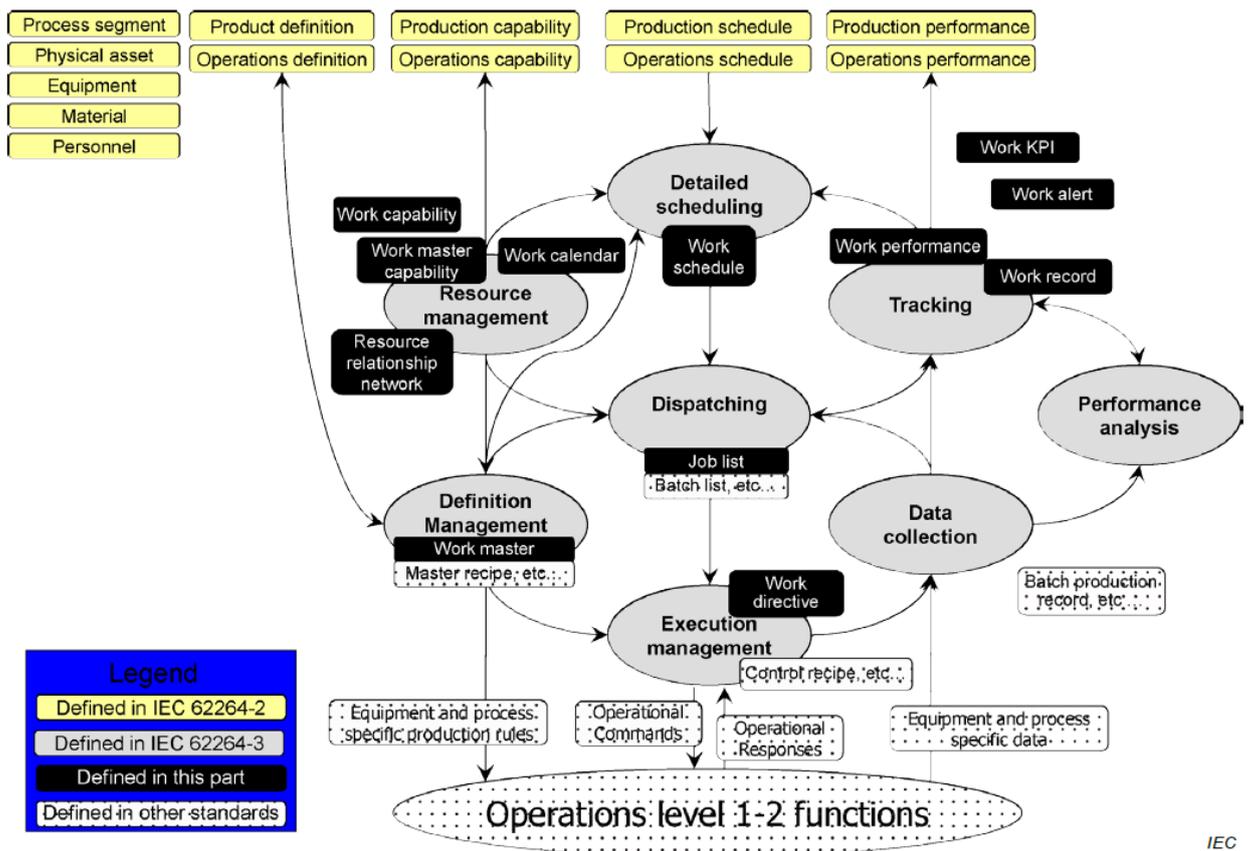


Abbildung 15: Information exchange models for manufacturing operations management nach Figure 1 IEC 62264-4

Die in Abbildung 15 schwarz hinterlegten und in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Begriffe der IEC 62264-4 werden im weiteren Verlauf des Kapitels in der Darstellung [~Begriff] referenziert, wenn derselbe oder ein vergleichbarer Inhalt in den Use Cases beschrieben wird.

Begriff	Definition nach IEC 62264 – 4
job list	collection of job orders for one or more work centers and/or resources for a specific time frame
job order	unit of scheduled work that is dispatched for execution
job response	information on the result of execution of a job order
job response list	collection of job responses for one or more work centers and/or resources for a specific time frame
resource relationship network	one or more expressions of a relationship between two or more resources
work alert	notification of a Level 3 event that does not require acknowledgement
work calendar	collection of work calendar entries
work calendar entry	information about a specific time period
work capability	collection of information about the resources for work for selected future and past times
work definition	collection of information about resources and workflow specification associated with job orders
work directive	type of work definition derived from a work master and used to perform a specific job order
work KPI	key performance indicator related to Level 3 activities
work master	type of work definition that is a template for work to be performed for a job order
work performance	collection of work responses
work master capability	collection of information about the resources for selected future and past times for a specific work master
work record	subset of the execution and business information that is retained based upon business requirements
work request	collection of job orders
work response	collection of job responses
work schedule	detailed schedule of MOM activities as a collection of work requests
workflow specification	information representing work as a pattern of activities used to orchestrate the execution of procedures

6.1 Produkt Definitionsmanagement (Product Definition Management - P_DM)

6.1.1 Definition

„Das Produktdefinitionsmanagement wird definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die alle für die Herstellung erforderlichen Informationen der Ebene 3 über das Produkt, einschließlich der Produktproduktionsregeln, verwalten.

Die Produktdefinitionsinformationen werden zwischen den Produktproduktionsregeln, der Stückliste und der Ressourcenliste ausgetauscht. Die Produktproduktionsregeln enthalten die Informationen, die verwendet werden, um einen Herstellungsvorgang anzuweisen, wie ein Produkt zu produzieren ist. Dies kann als

allgemeines Rezept, Standort oder Stammrezept (IEC 61512-1:1997, Definition 3.29), SOP, SOC, Arbeitsplan oder Montageschritte auf der Grundlage der verwendeten Produktionsstrategie bezeichnet werden. Die Produktdefinitionsinformationen werden anderen Funktionen der Ebene 3 und den Funktionen der Ebene 2 bei Bedarf zur Verfügung gestellt.“ [5]

Entsprechend dem in der Einführung vorgestellten Szenario der digitalen Bearbeitung der Geschäfts- und Produktionsprozesse erscheint es sinnvoll die Produktdefinition entsprechend ihrem steigenden Detaillierungsgrad in folgende Stufen einzuteilen²:

1. Spezifikation des Produkts = Produktspezifikation
2. Spezifikation der zur Fertigung des Produkts technologischen Herstellvorgänge, Ressourcen und Arbeitsabläufe = Planungsspezifikation³
3. Erzeugung der ausführbaren Steuerungsinformationen für die unter Industrie 4.0 automatisiert ablaufende Fertigung in der Ebene 2 = Ausführungsspezifikation⁴

6.1.2 Beschreibung des Teilmodells ‚Product Definition Management‘(P_DM)

Das Teilmodell ‚Product Definition Management‘ (P_DM) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die die Informationen empfangen, erzeugen, verwalten und zur Verfügung stellen, die notwendig sind, um ein Produkt herzustellen zu können.

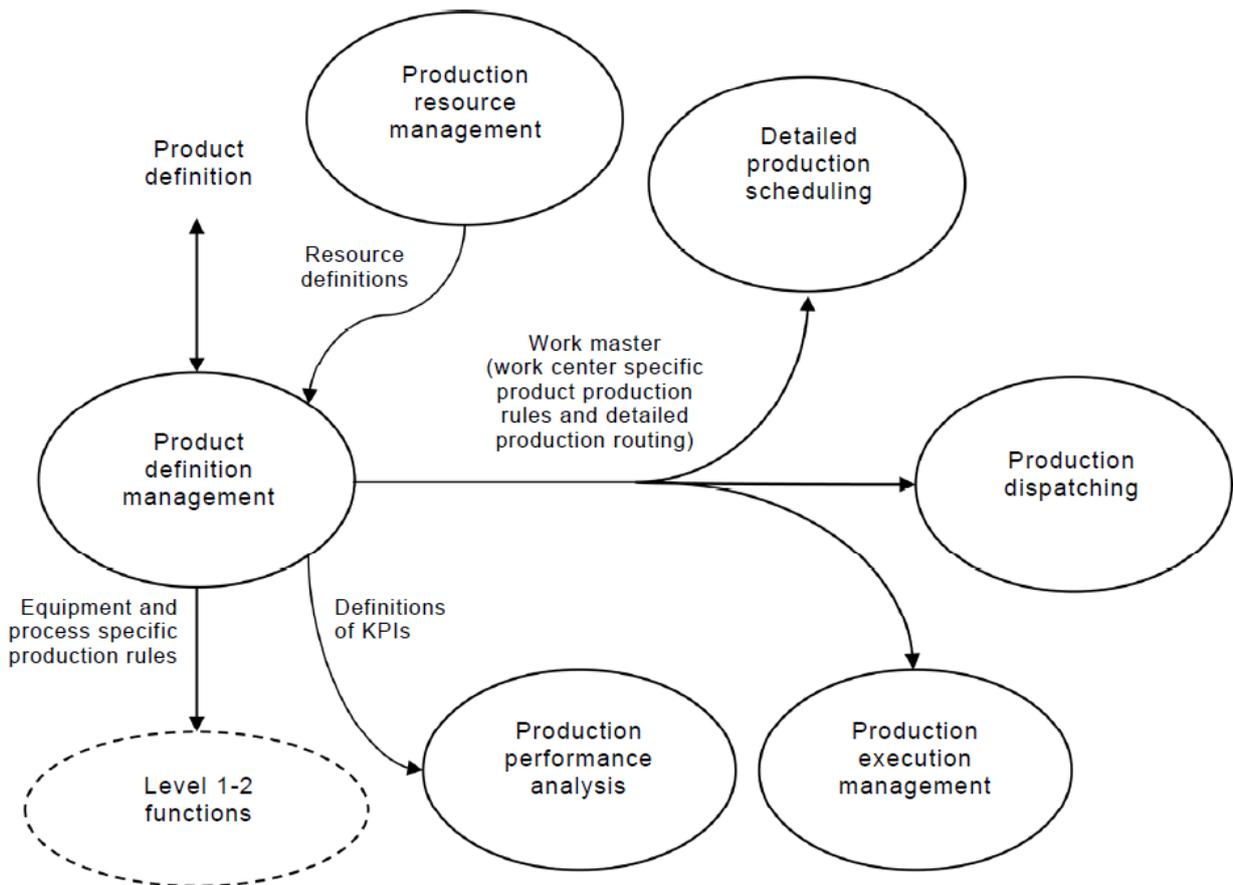
Das Teilmodell P_DM soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Product Definition Management‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.

² Dies entspricht den in der Prozessindustrie nach der Namur Empfehlung NE33 üblichen Detaillierungsstufen: 1. Urrezept, 2. Grundrezept, 3. Steuerrezept

³ Vergleichbar mit dem in der IEC 62264 – 4 definierten ‚Work Master‘

⁴ Vergleichbar mit der in der IEC 62264 – 4 definierten ‚Work Directive‘



IEC

Abbildung 16: Product definition management activity model interfaces nach Figure 7 IEC 62264-3

6.1.2.1 Use Case Gruppe P_DM_1: Interaktionen zum Austausch von Produkt-Definitionen

Use Case	Beschreibung
P_DM_1.1	<p>Use Case: P_DM bietet entsprechend seiner industriespezifischen Ausprägung die Möglichkeit industriespezifische Produktspezifikationen (z.B. CAD, Stückliste, Grundrezept) zu importieren und diese auf Validität zu prüfen und zu akzeptieren bzw. zurückzuweisen.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Import / Update / Löschen / Export von Produktspezifikationen und ihre Versionierung • Dienstaufrufe der Funktionen mit definierten Aufrufparametern wie Produktbezeichnung, Version, Eigentümer, Spezifikation (als Datei wie CAD, Stückliste, Rezept oder als URI) • Definierte Dienstanworten wie ‚Erfolg‘, ‚Fehler‘ (mit Angabe der Ursache z.B. ‚Ungültige Spezifikation‘) <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MOM-Spezifikation (z.B. IEC 62264-XXX),

	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Technologie-Spezifikation (z.B. Fertigungstechnik, Montage, Chemie, ...) • Unterstützte Spezifikationsformate (z.B. CAD-Version: SLDPRT, DXF, IGS, STP),
<i>Beispiel</i>	<i>Die Spezifikation des Produkts Welle wird in einem CAD-System erstellt und liegt digital mit allen Produkteigenschaften (Material, Geometrie, Toleranzen, Gewicht, usw.) vor und kann digital in das P-DM übernommen werden.</i>
P_DM_1.2	<p>P-DM kann aus akzeptierten Produktspezifikationen mit Hilfe der Informationen des Production Resource Management (P_RM) [<i>~production capability</i>] anlagenbezogene Planungsspezifikationen [<i>~work master</i>] (Arbeitsplan mit Arbeitsgängen, -zeiten und benötigten Ressourcen) erzeugen bzw. feststellen, dass das Produkt mit den Ressourcenfähigkeiten der Anlage nicht gefertigt werden kann.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Erzeugen einer Planungsspezifikation aus der Produktspezifikation und der Kenntnis der in der Anlage zur Verfügung stehenden Ressourcentypen und deren Fähigkeiten. • Dienstaufreufe der Funktion mit Aufrufparameter wie Produktbezeichnung, und Version • Definierte Dienstantworten wie ‚Erfolg‘ und Datei der Planungsspezifikation, ‚Fehler‘ (mit Angabe der Ursache z.B. ‚Technologische Fähigkeit ‚Bohren‘ nicht vorhanden, oder Produktspezifikation existiert nicht) <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>Anhand der Produktspezifikation der Welle wird ermittelt, dass die technologischen Vorgänge Sägen und Drehen im geforderten Geometrie- und Toleranzbereich für die Fertigung notwendig sind und mit der Anlage technisch realisiert werden können (z.B. Bauraum, Drehmoment, Werkzeuge). Ein Arbeitsplan wird erstellt sowie die zugeordneten Fertigungshilfsmittel bereitgestellt (z.B. Vorrichtungen, Werkzeuge, NC-Programme usw.).</i>
P_DM_1.3	<p>P_DM kann auf Anfrage für Produkte, für die eine Planungsspezifikation existiert, die Materialstückliste und die Rüst- und Fertigungszeiten ermitteln und dem Dienstanutzer zur Kostenermittlung liefern.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Ermitteln der Kostenbasis auf Grundlage der Planungsspezifikation • Dienstaufreufe der Funktion mit Aufrufparameter wie Produktbezeichnung, und Version • Dienstantworten wie ‚Erfolg‘ und Datei mit Kostenbasis, ‚Fehler‘ (mit Angabe der Ursache z.B. ‚Keine Planungsspezifikation vorhanden‘) <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich

<i>Beispiel</i>	<i>Aus der Planungsspezifikation der Welle werden die Rüst- und Bearbeitungszeiten für Sägen und Drehen sowie die benötigten Eingangsmaterialien, Fertigungshilfsmittel und ggf. Personalqualifikationen ermittelt und für die Kostenermittlung bereitgestellt.</i>
P_DM_1.4	<p>P_DM kann auf Anfrage für Produkte, für die eine Planungsspezifikation existiert, die Ausführungsspezifikation(en) [<i>~work directive</i>] für die benötigten Ressourcen auf Basis der Ressourcenzuweisung [<i>~job order</i>] durch das Produktions-Dispatching (P_D) erzeugen. Dabei wird die Ressourcen-Klassen bezogene Planungsspezifikation in Ressourcen spezifische Ausführungsspezifikationen übersetzt (z.B. bevorzugte Sprache des zugewiesenen Bedieners, spezifischer NC-Code eines bestimmten Maschinenhersteller, Anweisungen an ein Bearbeitungszentrum (Maschinengruppe) zur weiteren selbständigen Bearbeitung oder Übertragung der Fertigungsspezifikation an das Werkstück zur Bearbeitung in einer autonomen Fertigung.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Erzeugen von Ausführungsspezifikationen • Dienstauftrag der Funktion mit Aufrufparametern wie Produktbezeichnung, Version und Zuweisung konkreter Ressourcen zu den Arbeitsgängen • Dienstantworten wie ‚Erfolg‘ und Datei mit Ausführungsspezifikation, ‚Fehler‘ (mit Angabe der Ursache z.B. ‚Keine Planungsspezifikation vorhanden‘) <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte „Anweisungssprachen“ für <ul style="list-style-type: none"> ○ Personal ○ Bearbeitungszentren ○ NC-Maschinen ○ Werkstücke ○ Lager- und Logistik Systeme
<i>Beispiel</i>	<i>Wenn ausgehend von der Feinplanung klar ist, welche Maschinen bzw. welcher Maschinentyp für den Auftrag ‚Welle‘ genutzt werden wird aus der Planungsspezifikation das Maschinenhersteller spezifische NC-Programm erzeugt und der Säge und Drehmaschine zur Verfügung gestellt.</i>

6.1.2.2 Use Case Gruppe P_DM_2: Interaktionen mit ‚Production Resource Management‘ (P_RM)

Use Case	Beschreibung
P_DM_2.1	<p>P_DM kann von P_RM Informationen über die Fähigkeiten [<i>~production capability</i>] der in der Anlage vorhandenen Ressourcen zur Erzeugung von Planungsspezifikationen (Use Case P_DM_1.2) abfragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Personalqualifikationen</i> • <i>Materialdefinitionen</i> • <i>Technologische Fähigkeiten von Equipment und deren Randbedingungen</i> <p>Erforderlicher von P_DM nutzbarer Dienst in P_RM:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Ressource-Fähigkeiten (siehe Use Case P_RM 2.1)
Beispiel	<p><i>P_DM fragt bei P_RM an:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Gibt es Personal mit der Qualifikation ‚Sägen‘ und ‚Drehen‘?</i> • <i>Gibt es Material mit folgenden Eigenschaften: Stange, Werkstoffspezifikation xyz, Mindest-/Maximaldurchmesser x mm, Mindest-/Maximallänge y mm?</i> • <i>Gibt es die technologischen Fähigkeiten:</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Sägen mit folgenden Eigenschaften: Mindest-/Maximaldurchmesser x mm</i> ○ <i>Drehen mit folgenden Eigenschaften: Mindest-/Maximaldurchmesser x mm; Mindest-/Maximallänge y mm</i> ○ <i>Gibt es die benötigten Fertigungshilfsmittel (in ausreichender Menge)</i>

6.1.2.3 Use Case Gruppe P_DM_3: Interaktionen mit 'Production Detailed Scheduling' (P_DS)

Use Case	Beschreibung
P_DM_3.1	<p>P_DM stellt auf Anfrage von P_DS für ein Produkt die Informationen der Planungsspezifikation [<i>~Work Master</i>] zur Verfügung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reihenfolge der Arbeitsgänge • Ressourcenbedarf, • Rüst- und Bearbeitungszeiten <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Planungsspezifikation (siehe Use Case P_DM_1.2) <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<p><i>P_DS fragt für die Planung eines Fertigungsauftrags die Planungsspezifikation der zu fertigenden Welle von P_DM ab und erhält die folgenden Informationen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sägen</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Erforderliche Ressourcen (Personal, Material, Maschinentyp, Fertigungshilfsmittel)</i> ○ <i>Rüstzeit und Bearbeitungszeit</i> • <i>Drehen</i> <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Erforderliche Ressourcen (Personal, Material, Maschinentyp, Fertigungshilfsmittel)</i> ○ <i>Rüstzeit und Bearbeitungszeit</i>

6.1.2.4 Use Case Gruppe P_DM_4: Interaktionen mit 'Production Dispatching' (P_D)

Use Case	Beschreibung
P_DM_4.1	<p>P_DM erzeugt auf Anfrage von P_D die Ausführungsspezifikationen (z.B. maschinenspezifische NC-Programme, Rüst- und Transportaufträge) die P_D benötigt um die konkreten Arbeitsabläufe einzuplanen und für die beteiligten Ressourcen verfügbar zu machen.</p> <p>Dazu übergibt P_D die Auftragsdaten [<i>~job order</i>] (Arbeitsvorgänge inklusive Ressourcenzuweisung (Personal, Material, Equipment) und P_DM erzeugt mit diesen Informationen aus der ressourcenklassenbasierten Planungsspezifikation die ressourcenspezifischen Ausführungsspezifikationen.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Ausführungsspezifikation (siehe Use Case P_DM_1.4) <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<p><i>Nachdem der Produktionsauftrag vom ‚Detailed Scheduling‘ (P_DS) an das ‚Dispatching‘ (P_D) übergeben wurde, steht fest auf welcher Säge und Drehmaschine der Auftrag gefertigt werden soll. Aus der Produkt- und der Planungsspezifikation werden die konkreten Maschinensteuerungen (z.B NC-Programme) und die Transport- und Rüstaufträge erstellt und an P_D zur Einplanung und Koordination der entsprechenden Ressourcen geliefert.</i></p>

6.1.2.5 Use Case Gruppe P_DM_5: Interaktionen mit 'Production Execution Management' (P_EM)

Use Case	Beschreibung
P_DM_5.1	<p>P_DM liefert auf Anfrage von P_EM die Ausführungsspezifikationen für die Ebene 2 (z.B. maschinenspezifische NC-Programme, Arbeitsanweisungen zur Bedienerführung, Steuerung der Rüst- und Transportaufträge) die P_EM bzw. die einzelnen Ressourcen benötigen, um den Produktionsprozess in der Ebene 2 zu organisieren.</p> <p>Dienste:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Ausführungsspezifikation (siehe Use Case P_DM_1.4) <p>Merkmale:</p> <p>Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>Nachdem die Arbeitsgänge durch P_D an das P_EM übergeben wurden, startet P_EM diese und übergibt dazu die für die Ausführung notwendigen Steuerungsinformationen an das Transportsystem und lädt die NC-Programme für das Sägen und Drehen auf die entsprechenden Maschinen.</i>

6.1.2.6 Use Case Gruppe P_DM_6: Interaktionen mit 'Production Data Collection' (P_DC)

Use Case	Beschreibung
P_DM_6.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_DM erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.1.2.7 Use Case Gruppe P_DM_7: Interaktionen mit 'Production Performance Analysis' (P_PA)

Use Case	Beschreibung
P_DM_7.1	<p>P_DM liefert auf Anfrage von P_PA die als Teil der Planungsspezifikation [<i>~work master</i>] definierten KPI's</p> <p>Dienste:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Extrahieren und zur Übergabe der KPIs und Sollzeiten entsprechend der Planungsspezifikation. • Dienstaufruf der Funktion mit Aufrufparametern wie Produktbezeichnung und Version • Dienstantworten wie ‚Erfolg‘ und Datei mit KPI-Definitionen und Sollzeiten; ‚Fehler‘ (mit Angabe der Ursache z.B. ‚Keine Planungsspezifikation vorhanden‘) <p>Merkmale:</p> <p>Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte KPI Definitionen
<i>Beispiel</i>	<i>Die Sollzeiten für das Rüsten und die Bearbeitung der Arbeitsgänge Sägen und Drehen werden an P_PA übergeben</i>

6.1.2.8 Use Case Gruppe P_DM_8: Interaktionen mit 'Production Tracking' (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_DM_8.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_DM erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.1.2.9 Use Case Gruppe P_DM_9: Interaktionen mit Assets der Ebene 1 und 2

Use Case	Beschreibung
P_DM_9.1	<p>P_DM liefert auf Anfrage von Assets der Ebene 1 und 2 (Ressource-Assets) folgende Arten von Informationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Konfigurationsdaten • Steuerungsanweisungen • Produktionsbegleitende Dokumente wie gültige SOPs, Einrichtungspläne oder Technische Zeichnungen <p>Dienste:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Extrahieren und Übertragen der geforderten Information aus der Ausführungsspezifikation [<i>~work directive</i>] des Arbeitsauftrags [<i>~job order</i>] • Dienstaufwurf der Funktion mit Aufrufparametern wie Art der Information, Ressource und Arbeitsauftrag [<i>~job order</i>] • Dienstantworten wie ‚Erfolg‘ und Datei mit der geforderten Information; ‚Fehler‘ (mit Angabe der Ursache z.B. ‚Datei nicht vorhanden‘) <p>Merkmale:</p> <p>Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liste der unterstützten Informationsarten
Beispiel	Technische Zeichnung der Welle

6.2 Produktionsressourcenmanagement (Production Resource Management - P_RM)

6.2.1 Definition

„Die Verwaltung der Produktionsressourcen wird definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die die Informationen über die von den Produktionsvorgängen benötigten Ressourcen, die Beziehungen zwischen den Ressourcen und die Arbeitskalender verwalten. Zu den Ressourcen gehören Maschinen, Werkzeuge, Arbeitskräfte (mit spezifischen Fähigkeiten), Materialien und Energie, wie in den Objektmodellen in IEC 62264-1 definiert. Die direkte Steuerung dieser Ressourcen zur Erfüllung der Produktionsanforderungen erfolgt in anderen Aktivitäten, z.B. in der Produktionsplanung und im Produktionsausführungsmanagement. Die Verwaltung von Informationen über Produktionssegmente ist ebenfalls eine Aktivität im Ressourcenmanagement. ...

Die Verwaltung der Ressourcen kann auch Ressourcenreservierungssysteme zur Verwaltung von Informationen über die zukünftige Verfügbarkeit umfassen. Für jede verwaltete kritische Ressource kann es separate Reservierungssysteme geben. Es kann getrennte Aktivitäten für jeden Ressourcentyp oder kombinierte Aktivitäten für Ressourcengruppen geben.“ [5]

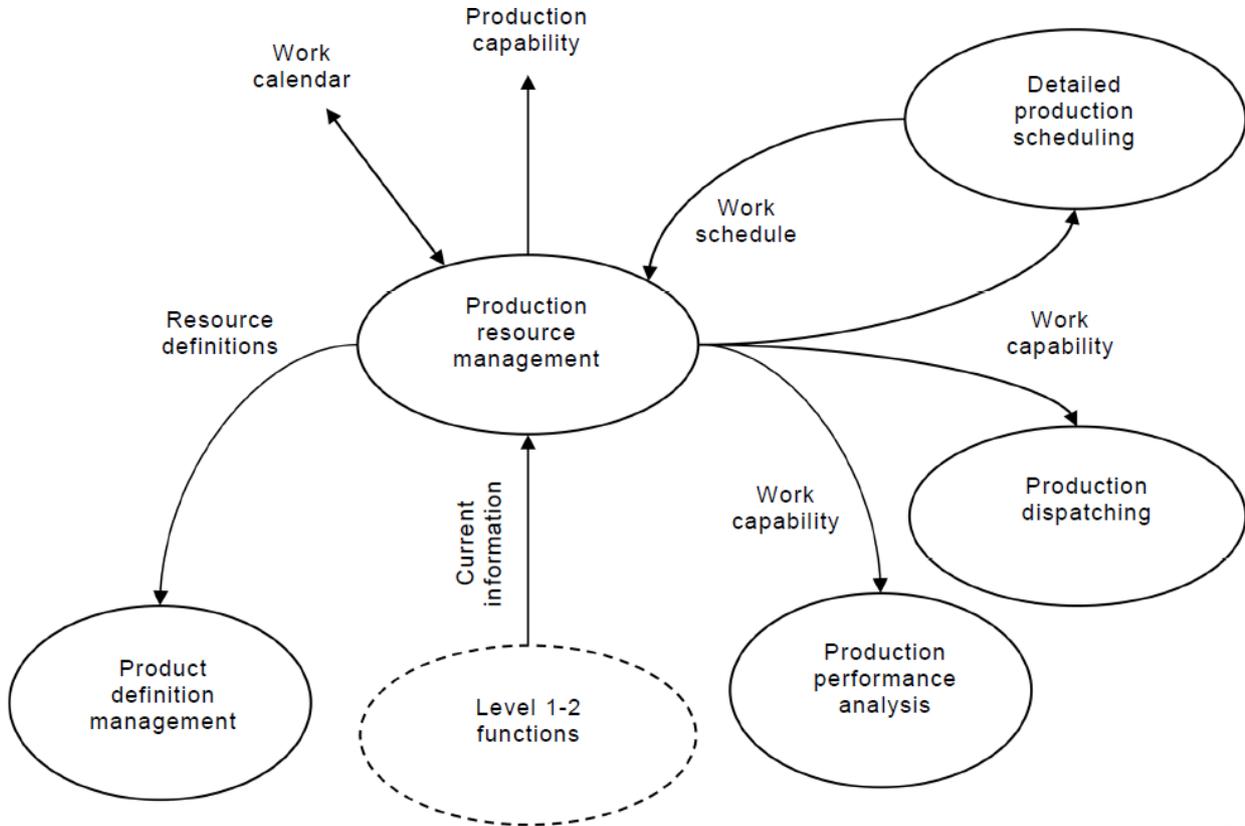
6.2.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Product Resource Management‘ (P-RM) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die die Informationen über Ressourcen empfangen, erzeugen, verwalten und zur

Verfügung stellen, die notwendig sind, um Produktionsaufträge zu planen, zu erstellen und bearbeiten zu können.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Product Resource Management‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.



IEC

Abbildung 17: 'Production resource management activity model interfaces' nach Figure 8 IEC 62264-3

6.2.2.1 Use Cases Gruppe P_RM_1: Interaktionen mit externen Systemen

Use Case	Beschreibung
P_RM_1.1	<p>Für die Ressource Personal verwendet P_RM die Informationen, die von einem Personalverwaltungssystem bereitgestellt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personal mit Qualifikation, Verfügbarkeit, Stundensatz • Schicht und Arbeitspläne (Arbeitszeiten, Feiertage, Urlaub, Krankheit) [<i>~Work Calendar</i>] <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienste der Personalverwaltung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Personal Fähigkeiten • Liefere Stundensätze • Liefere Schichtpläne / Personalverfügbarkeit • Reserviere /Storniere Personal
<i>Beispiel</i>	<i>Ist am 26.09.2019 ein Mitarbeiter mit der Qualifikation ‚Sägen‘, ‚Drehen‘ und ggf. mit den für den Arbeitsplatz notwendigen Unterweisungen verfügbar</i>
P_RM_1.2	<p>Für die Ressource Material steht P_RM mit dem Ressource Management der Lagerverwaltung (Inventory Resource Management / I_RM) bzw. einem Warehouse Management System in Verbindung und kann über dessen Dienste Informationen abfragen, Material reservieren, Bestand verbrauchen und erzeugen.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienste der Lagerverwaltung (I_RM):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Materialdefinitionen • Liefere Materialverfügbarkeit • Reserviere / storniere Material • Fordere Material an
<i>Beispiel</i>	<i>Reserviere für den Produktionsauftrag X am 26.09.2019 das Halbzeug ‚Stange‘; verbrauche ‚Stange‘, erzeuge ‚Welle‘</i>
P_RM_1.3	<p>Für die Ressource Equipment steht P_RM mit den MOM Equipment Ressourcen (Maschinen, Bearbeitungszentren, Teilanlagen...) der Ebene 2 und 1 in Verbindung und kann über deren Dienste Informationen abfragen und Equipment reservieren.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienste von MOM-Equipment Ressourcen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Equipment Fähigkeiten (Technologisch Fähigkeiten und Randbedingungen) • Liefere Equipment Verfügbarkeit • Reserviere / storniere Equipment • Belege / gebe Equipment frei
<i>Beispiel</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Welche technologischen Fähigkeiten sind im angeschlossenen Maschinenpark vorhanden?</i> • <i>Reserviere für die geplante Zeit des Produktionsauftrag X am 26.09.2019 eine passende Säge und Drehmaschine</i>
P_RM_1.4	<p>Neu im MOM-System hinzugekommene Ressourcen müssen sich bei P:RM anmelden. Änderungen an Ressourcen oder Außerbetriebnahme von Ressourcen müssen dem P_RM mitgeteilt werden</p> <p>Dienste:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Dienstaufwurf ‚Ressource Registrieren‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Anmelden / Update / Abmelden ○ Bezeichnung, Beschreibung, URI der Ressource ○ Art der Ressource (Personal, Material, Equipment) ○ Klassenzugehörigkeit (z.B. Maschinentyp) ○ Fähigkeiten der Klasse mit physikalischen und geometrischen Limitierungen der Fähigkeiten ○ Instanz spezifische Einschränkungen der Fähigkeiten • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Standards für die Domain-spezifischen Beschreibungen von Fähigkeiten
<i>Beispiel</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Welche technologischen Fähigkeiten sind im angeschlossenen Maschinenpark vorhanden?</i>

6.2.2.2 Use Cases Gruppe P_RM_2: Informationen zur Produktionsfähigkeit an P_DM und externe Nutzer

Use Case	Beschreibung
P_RM_2.1	<p>P_RM liefert auf Anfrage Informationen über die Fähigkeiten [<i>~Work Capability</i>] der in der Anlage vorhandenen Ressourcen. Diese Informationen werden vom P_DM benötigt (siehe auch Use Case P_DM_2.1 in Kapitel 6.1.2.2) können aber auch von externen Systemen (z.B. ERP) angefordert werden.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zur Bereitstellung der Informationen über die Fähigkeiten der in der Anlage vorhandenen Ressourcen • Dienstaufwurf ‚Liefere Ressource Fähigkeiten‘ mit Aufrufparametern wie <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Information oder Bestätigung) ○ Art der Ressource (Personal, Material, Equipment) ○ Abfragespezifikation • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ und Datei mit den angeforderten Informationen ○ ‚Bestätigung‘, dass die angefragten Fähigkeiten in der Anlage vorhanden sind ○ ‚Fehler‘ mit Information über deren Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liste der verwalteten Ressourcarten
<i>Beispiel</i>	<i>Existiert in der Anlage Equipment mit der technologischen Fähigkeit ‚Sägen‘ mit einem Durchmesser von X mm</i>

6.2.2.3 Use Cases Gruppe P_RM_3: Interaktion mit Production Detailed Scheduling (P_DS)

Use Case	Beschreibung
P_RM_3.1	<p>P_RM liefert auf Anfrage durch das P_DS Informationen über die Produktionsfähigkeit der Anlage [<i>~ work capability</i>] für einen oder mehrere Arbeitspläne [<i>~work schedule</i>].</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zur Bereitstellung der Informationen über die Ressourcenverfügbarkeit bezogen auf einen Arbeitsplan. • Dienstauftrag ‚Liefere Ressourcen Verfügbarkeit‘ mit Aufrufparametern wie <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Terminbestätigung oder Beste Möglichkeit) ○ Arbeitsplan • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Bestätigung‘, dass (die) Ressourcen zu den angefragten Terminen frei sind. ○ ‚Verfügbarkeit‘ mit Informationen über die möglichen Ressourcen und deren frühestmögliche Verfügbarkeit ○ Fehler‘ mit Information über deren Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liste der unterstützten APS-Datenformate und Versionen
<i>Beispiel</i>	<i>Liefere für den geplanten Produktionsauftrag X die nötigen Ressourcen (Mitarbeiter mit Qualifikation, Halbzeug Stange, Maschinen Säge und Drehautomat) und frühestmöglichen Termine.</i>
P_RM_3.2	<p>P_RM reserviert / storniert bei Beauftragung durch das P_DS Ressourcen (Personal, Material, Equipment) für Produktionsaufträge und deren geplante Zeiträume.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Reservieren / Stornieren von Ressourcen • Dienstauftrag ‚Ressourcenreservierung ‘ mit Aufrufparametern wie <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Reservieren oder Stornieren) ○ Arbeitsplan • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Bestätigung‘, dass (die) Ressourcen zu den angefragten Terminen reserviert bzw. storniert sind ○ ‚Fehler‘ mit Information über deren Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>Reserviere für den geplanten Produktionsauftrag X die nötigen Ressourcen (Mitarbeiter mit Qualifikation, Halbzeug Stange, Maschinen Säge 3 und Drehautomat 5)</i>

6.2.2.4 Use Cases Gruppe P_RM_4: Interaktion mit Production Dispatching (P_D)

Use Case	Beschreibung
P_RM_4.1	P_D fragt bei P_RM Informationen über den aktuellen und geplanten Zustand [<i>~ work capability</i>] der in der Auftragsliste [<i>~ job list</i>] enthaltenen Ressourcen an.
P_RM_4.2	<p>P_RM belegt auf Anfrage von P_D Ressourcen bis diese von P_D wieder freigegeben werden.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zur Ermittlung des aktuellen Zustands von Ressourcen wie verfügbar, belegt, Störung, Wartung, usw. • Softwarefunktion zur Belegung bzw. Freigabe von Ressourcen • Dienstaufruf ‚Ressourcenbelegung‘ mit Aufrufparametern wie <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Information, Belegung oder Freigabe) ○ Auftragsliste • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Information‘ mit Informationen über den aktuellen Zustand der in der Auftragsliste enthaltenen Ressourcen bzw. ○ ‚Bestätigung‘, dass die in der Auftragsliste enthaltenen Ressourcen belegt / freigegeben wurden. ○ ‚Fehler‘ mit deren Ursache. <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<p><i>Ist die vorgesehene Drehmaschine X jetzt (nach dem Ende des Sägens) wie geplant frei?</i></p> <p><i>Belege Drehmaschine X</i></p>

6.2.2.5 Use Case Gruppe P_RM_5: Interaktionen mit ‘Production Data Collection’ (P_DC)

Use Case	Beschreibung
P_RM_5.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_RM erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.2.2.6 Use Cases Gruppe P_RM_6: Interaktion mit Production Performance Analysis (P_PA)

Use Case	Beschreibung
P_RM_6.1	<p>P_RM liefert auf Anfrage von P_PA Informationen über den Status von Ressourcen (frei, genutzt, gestört, usw) [<i>~ work capability</i>] in einem bestimmten Zeitraum.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zur Speicherung von Nutzungsinformationen von Ressourcen • Softwarefunktion zur Abfrage und Bereitstellung von Nutzungsinformationen von Ressourcen • Dienstauftrag ‚Liefere Ressourcen Nutzung mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Liste der einzelnen Ressourcen bzw. Auftragsliste ○ Zeitraum (von / bis, bzw. Zeitraum der Aufträge • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Information‘ mit Informationen über die Historie der Ressourcennutzung im angefragten Zeitraum ○ ‚Fehler‘ mit deren Ursache. <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>Für die Berechnung der OEE-Kennzahlen wird die genutzte mit der verfügbaren Kapazität der Drehmaschine X verglichen.</i>

6.2.2.7 Use Case Gruppe P_RM_7: Interaktionen mit ‘Production Tracking’ (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_RM_7.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_RM erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.3 Produktion Feinplanung (Production Detailed Scheduling - P_DS)

6.3.1 Definition

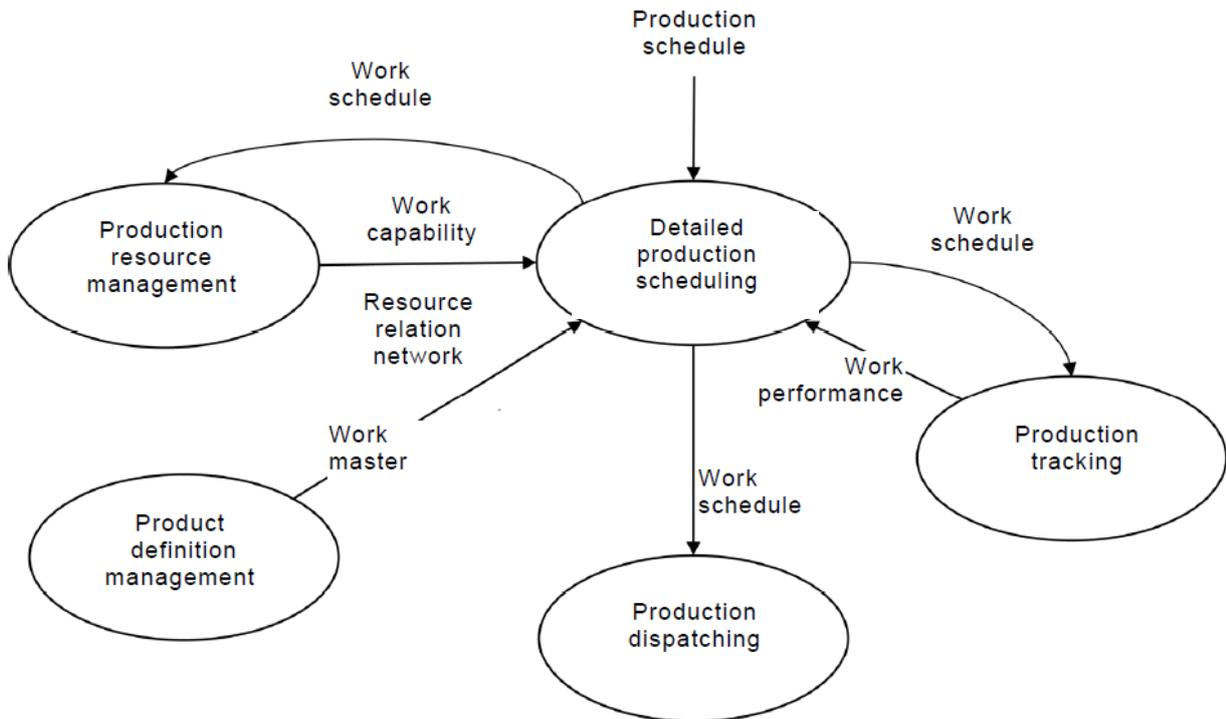
„Die detaillierte Produktionsplanung wird definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die den Produktionsplan aufnehmen und die optimale Nutzung der Ressourcen zur Erfüllung der Anforderungen des Produktionsplans bestimmen. Dies kann die Bestellung von Anforderungen für die minimale Einrichtung oder Reinigung der Ausrüstung, die Zusammenführung von Anforderungen für die optimale Nutzung der Ausrüstung und die Aufteilung von Anforderungen umfassen, wenn dies aufgrund von Losgrößen oder begrenzten Produktionsraten erforderlich ist. Die detaillierte Produktionsplanung berücksichtigt lokale Situationen und die Verfügbarkeit von Ressourcen.“ [5]

6.3.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Production Detailed Scheduling‘ (P_DS) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die zur Planung der Produktion auf Betriebsebene notwendig sind.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Production Detailed Scheduling‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.



IEC

Abbildung 18: ‚Detailed production scheduling activity model interfaces‘ nach Figure 10 IEC 62264-3

6.3.2.1 Use Cases Gruppe P_DS_1: Interaktionen mit externen Systemen

Use Case	Beschreibung
P_DS_1.1	<p>P_DS kann Produktionspläne [<i>~ production schedule</i>] von externen Systemen (z.B. ERP) empfangen und als Planungsbasis für die betriebliche Feinplanung [<i>~ work schedule</i>] verwenden.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von externen Produktionsplänen • Softwarefunktion zur Umwandlung von Produktionsplänen mit Hilfe der Informationen aus P_DM und P_RM in Arbeitspläne • Dienstauftrag ‚Empfange Produktionsplan‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Importiere, Modifiziere, Lösche) ○ Kennzeichnung des Produktionsplans ○ Datei oder URI mit der Spezifikation des Produktionsplans • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Terminkonflikt‘ mit Angabe der besten Alternative ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache wie z.B. ‚Ungültige Spezifikation‘ oder ‚Technologische Fähigkeiten nicht vorhanden‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Produktionsplanformate (z.B. B2MML, Version 7.1) • Leistungsmerkmale der Feinplanungssoftware
<i>Beispiel</i>	<i>Produktionsplan zur Fertigung einer Welle bis zum 26.09.2019.</i>

6.3.2.2 Use Cases Gruppe P_DS_2: Interaktionen mit ‚Product Definition Management‘ (P_DM)

Siehe Kapitel 8.1.2.3 Use Case Gruppe P_DM_3

6.3.2.3 Use Cases Gruppe P_DS_3: Interaktionen mit ‚Production Resource Management‘ (P_RM)

Siehe Kapitel 6.2.2.3 Use Case Gruppe P_RM_3

6.3.2.4 Use Cases Gruppe P_DS_4: Interaktionen mit ‚Production Dispatching‘ (P_D)

Use Case	Beschreibung
P_DS_4.1	<p>P_DS kann Arbeitspläne [<i>~ work schedule</i>] zur Abarbeitung an P_D übergeben.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_D:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Arbeitsplan
<i>Beispiel</i>	<i>P_D übernimmt den Arbeitsplan zur Fertigung einer Welle.</i>

6.3.2.5 Use Cases Gruppe P_DS_5: Interaktionen mit ‚Production Execution Management‘ (P_EM)

Use Case	Beschreibung
P_DS_5.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_EM erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.3.2.6 Use Cases Gruppe P_DS_6: Interaktionen mit ‚Production Data Collection‘ (P_DC)

Use Case	Beschreibung
P_DS_6.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_DC erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.3.2.7 Use Cases Gruppe P_DS_7: Interaktionen mit ‚Production Performance Analysis‘ (P_PA)

Use Case	Beschreibung
P_DS_7.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_PA erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.3.2.8 Use Cases Gruppe P_DS_8: Interaktionen mit ‚Production Tracking ‘ (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_DS_8.1	<p>P_DS übergibt an P_T Arbeitspläne [<i>~ work schedule</i>] als Soll-Vorgaben für den Vergleich von Soll- und Ist-Stand der Produktion.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_T:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Arbeitsplan
<i>Beispiel</i>	<i>P_DS sendet den Arbeitsplan zur Fertigung einer Welle an P_T.</i>
P_DS_8.2	<p>P_DS kann von P_T Informationen über den Stand der Produktion [<i>~ work performance</i>] für Arbeitspläne [<i>~ work schedule</i>] anfordern und zur Korrektur der betrieblichen Feinplanung verwenden.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_T:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Arbeitsfortschritt
<i>Beispiel</i>	<i>P_DS fordert von P_T den Fortschritt der Fertigung der Welle an.</i>

6.4 Produktion Einplanung (Production Dispatching - P_D)

6.4.1 Definition

„Die Produktionsdisposition wird definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die den Produktionsfluss durch die Übertragung von Aufträgen an Ausrüstung und Personal steuern. Dies kann umfassen

Einplanung von Chargen zum Start in einem Batch-Steuerungssystem;

die Terminierung von Produktionsläufen für den Start in Fertigungslinien;

die Festlegung von Standardbetriebszustandszielen in Produktionseinheiten;

Senden von Arbeitsaufträgen an Arbeitsplätze;

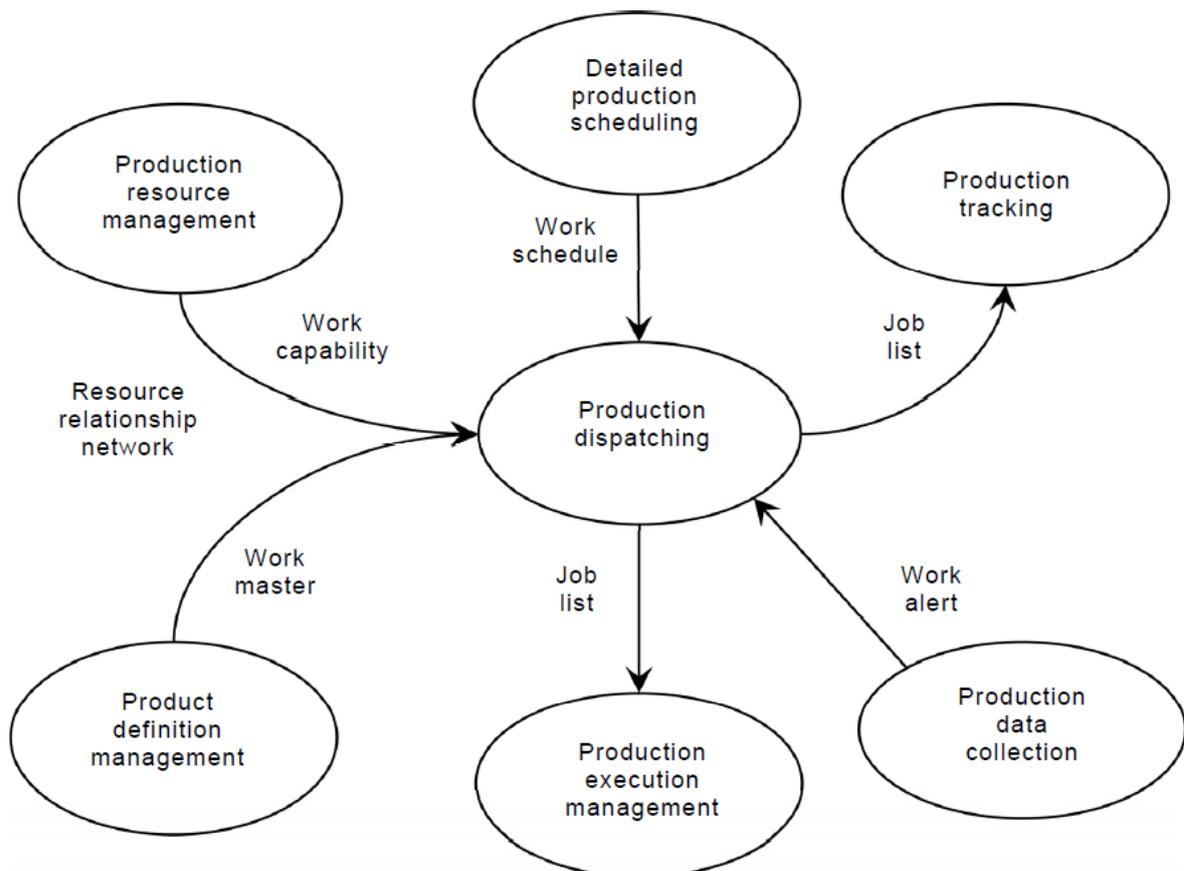
Ausgabe von Arbeitsaufträgen für manuelle Vorgänge.“ [5]

6.4.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Production Dispatching‘ (P_D) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die Informationen vom ‚Production Detailed Scheduling‘ (P_DS) empfangen, Auftragslisten erzeugen und zur Steuerung des Produktionsablaufs an das ‚Production Execution Management‘ weitergeben.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Production Dispatching‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.



IEC

Abbildung 19: 'Production dispatching activity model interfaces' nach Figure 13 IEC 62264-3

6.4.2.1 Use Cases Gruppe P_D_1: Interaktionen mit ‚Product Definition Management‘ (P_DM)

Siehe Kapitel 6.1.2.4 Use Case Gruppe P_DM_4

6.4.2.2 Use Cases Gruppe P_D_2: Interaktionen mit ‚Production Resource Management‘ (P_RM)

Siehe Kapitel 6.2.2.4 Use Case Gruppe P_RM_4

6.4.2.3 Use Cases Gruppe P_D_3: Interaktionen mit ‚Production Detailed Scheduling‘ (P_DS)

Siehe Kapitel 6.3.2.4 Use Case Gruppe P_DS_4

6.4.2.4 Use Cases Gruppe P_D_4: Interaktionen mit ‚Production Execution Management‘ (P_EM)

Use Case	Beschreibung
P_D_4.1	<p>P_D übergibt an P_EM Auftragslisten [<i>~ job list</i>] für die Bearbeitung durch Logistik-Systeme, Personal, Maschinen, Bearbeitungszentren oder Werkstücke in autonomen Fertigungseinrichtungen.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_EM:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Auftragsliste
<i>Beispiel</i>	<i>P_ sendet den Auftrag zur Herstellung der Welle an das P_EM D</i>

6.4.2.5 Use Cases Gruppe P_D_5: Interaktionen mit ‚Production Data Collection‘ (P_DC)

Use Case	Beschreibung
P_D_5.1	<p>P_D empfängt bzw. abonniert von P_DC für die Disposition relevante Fertigungsmeldungen [<i>~ work alerts</i>].</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Fertigungsmeldungen • Softwarefunktion zur Verarbeitung von Fertigungsmeldungen zur Anpassung der Auftragslisten • Dienstauftrag ‚Empfange Fertigungsmeldung‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Art der Meldung (Fertigstellung, Störung, Materialmangel ...) ○ Bezug zur Auftragsliste • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Empfangen‘ ‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Spezifikation von Fertigungsmeldungen
<i>Beispiel</i>	<i>P_DC sendet die Fertigungsmeldung ‚Sägen fertig‘ zum P_D zur Freigabe der Säge für weitere Aufträge</i>

6.4.2.6 Use Cases Gruppe P_D_6: Interaktionen mit ‚Production Tracking‘ (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_D_6.1	P_D übergibt an P_T Auftragslisten [~ job list] für die Nachverfolgung der Produktion Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_T: <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Auftragsliste
Beispiel	P_D sendet den Auftrag zur Herstellung der Welle an das P_T

6.5 Produktion Ausführungsmanagement (Production Execution Management – P_EM)

6.5.1 Definition

„Das Produktionsausführungsmanagement wird definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die die Ausführung der Arbeit lenken, wie durch den Inhalt der Auftragslistenelemente festgelegt. Die Aktivität des Produktionsausführungsmanagements umfasst die Auswahl, den Start und die Bewegung dieser Arbeitseinheiten (z.B. Lose, Teilpartien oder Lose) durch die geeignete Abfolge von Vorgängen zur physischen Herstellung des Produkts. Die eigentliche Arbeit (manuell oder automatisch) ist Teil der Funktionen der Ebene 2.

ANMERKUNG: Die Definition einer Sequenz kann in Form eines detaillierten Produktionsweges erfolgen, der für ein bestimmtes produziertes Produkt spezifisch ist. Bei der Produktionsausführung werden die einzelnen Arbeitseinheiten von einem Vorgang oder einer Stufe zur nächsten bewegt, wobei Dinge wie der tatsächliche Materialverbrauch, die eingesetzten Arbeitsstunden, die Ausbeute und der Ausschuss in jeder Stufe oder jedem Vorgang erfasst und verbucht werden. Dadurch wird der Status und der Standort jedes Loses oder jeder Arbeitseinheit oder jedes Produktionsauftrags zu jedem Zeitpunkt im Werk sichtbar und bietet eine Möglichkeit, externen Kunden den Status eines Auftrags im Werk zu zeigen.

Das Produktionsausführungsmanagement kann Informationen aus früheren Produktionsläufen, die in der Produktionsverfolgung erfasst wurden, nutzen, um lokale Optimierungen durchzuführen und die Effizienz zu steigern“. [5]

6.5.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Production Execution Management‘ (P_EM) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die notwendig sind um den Produktionsprozess zu lenken und ausführen zu können.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen. In der Kommunikation mit den MOM-Ressourcen in der Ebene 2 und 1 werden industriespezifische Funktionen erforderlich sein, auf die im Rahmen dieser Darstellung nicht eingegangen werden soll.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Production Execution Management‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.

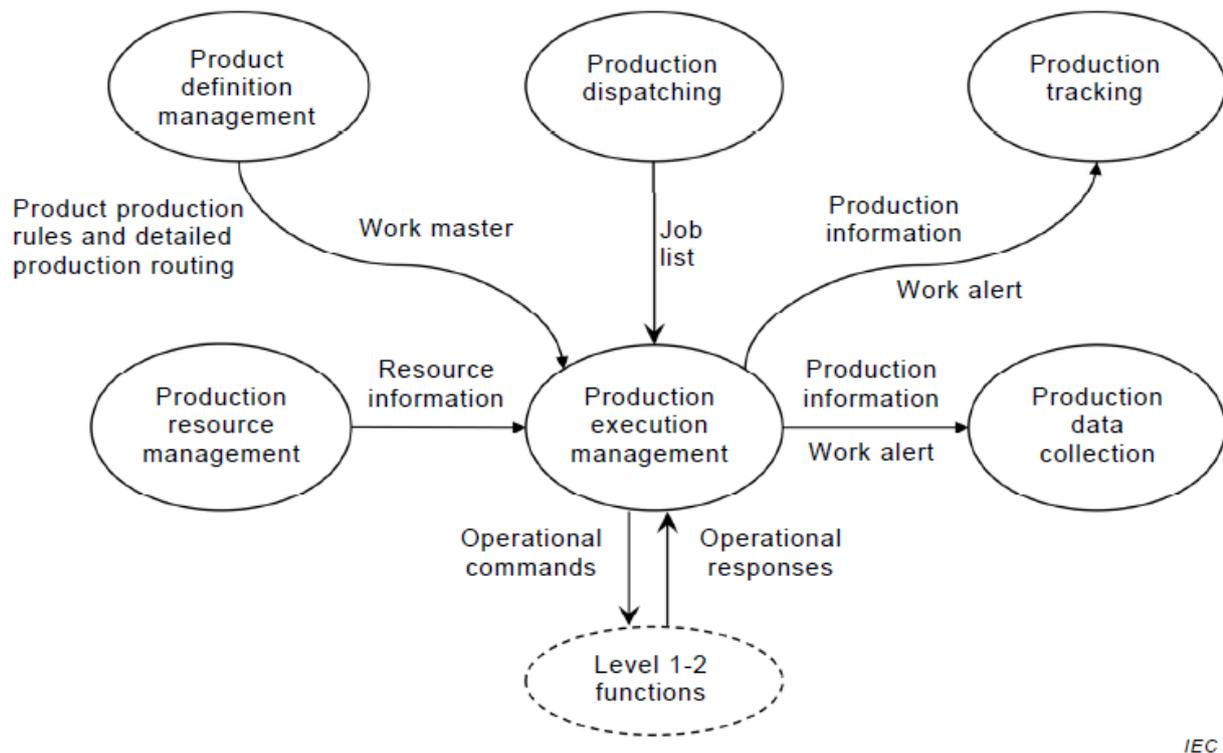


Abbildung 20: 'Production execution management activity model interfaces' nach Figure 16 IEC 62264-3

6.5.2.1 Use Cases Gruppe P_EM_1: Interaktionen mit 'Product Definition Management' (P_DM)

Siehe Kapitel 6.1.2.5 Use Case Gruppe P_DM_5

6.5.2.2 Use Cases Gruppe P_EM_2: Interaktionen mit 'Production Resource Management' (P_RM)

Use Case	Beschreibung
P_EM_2.1	P_EM fragt bei P_RM zur Bearbeitung notwendige Informationen über den aktuellen Zustand der in der Auftragsliste [<i>~ job list</i>] enthaltenen Ressourcen an. Erforderliche Dienste und Merkmale vergleichbar mit Kapitel 6.2.2.4 Use Case Gruppe P_RM_4
<i>Beispiel</i>	<i>Ist die vorgesehene Drehmaschine X jetzt (nach dem Ende des Sägens) wie geplant frei?</i> <i>Belege Drehmaschine X</i>

6.5.2.3 Use Cases Gruppe P_EM_3: Interaktionen mit ‚Production Detailed Scheduling (P_DS)‘

Use Case	Beschreibung
P_EM_3.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_DS erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.5.2.4 Use Cases Gruppe P_EM_4: Interaktionen mit ‚Production Dispatching‘ (P_D)

Siehe Kapitel 6.4.2.4 Use Case Gruppe P_D_4

6.5.2.5 Use Cases Gruppe P_EM_5: Interaktionen mit ‚Production Data Collection‘ (P_DC)

Use Case	Beschreibung
P_EM_5.1	P_EM sendet produktionsrelevante Informationen und Fertigungsmeldungen an P_DC Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_DC: <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Produktionsinformation
<i>Beispiel</i>	<i>P_EM sendet die Fertigungsmeldung ‚Sägen fertig‘ zu P_DC</i>

6.5.2.6 Use Cases Gruppe P_EM_6: Interaktionen mit ‚Production Analysis‘ (P_A)

Use Case	Beschreibung
P_EM_6.1	Kein direkter Datenaustausch mit P_A erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>n.a.</i>

6.5.2.7 Use Cases Gruppe P_EM_7: Interaktionen mit ‚Production Tracking‘ (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_EM_7.1	P_EM sendet produktionsrelevante Informationen und Fertigungsmeldungen an P_T Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_T: <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Produktionsinformationen
<i>Beispiel</i>	<i>P_EM sendet die Fertigungsmeldung ‚Sägen fertig‘ zu P_T</i>

6.5.2.8 Use Cases Gruppe P_EM_8: Interaktionen mit Ressourcen der Ebene 2 und 1

Use Case	Beschreibung
P_EM_8.1	<p>P_EM setzt die von P_D empfangenen Auftragslisten in Steuerungsanweisungen um und kommuniziert mit den MOM relevanten Ressourcen der Ebenen 2 und 1.</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von MOM Ressourcen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Anweisungen
<i>Beispiel</i>	<i>P_EM lädt das NC Programm und startet das Drehen</i>
P_EM_8.2	<p>Umgekehrt setzen MOM relevante Ressourcen Fertigungsrückmeldungen an P_EM ab.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case muss der folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ‚Rückmeldung‘ mit Aufrufparametern wie , <ul style="list-style-type: none"> ○ Job-Kennung‘ ○ Status‘ (Start, Läuft, Stopp, Abbruch, Fertig), • mit der Dienstantwort , <ul style="list-style-type: none"> ○ Erfolg‘ oder , ○ Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Spezifikation von Fertigungsmeldungen
<i>Beispiel</i>	<i>Die Drehmaschine meldet ‚Fertig‘</i>

6.6 Produktion Datensammlung (Production Data Collection – P_DC)

6.6.1 Definition

„Unter Produktionsdatenerfassung versteht man die Erfassung von Aktivitäten, mit denen Produktionsdaten für bestimmte Arbeitsprozesse oder bestimmte Produktionsanforderungen erfasst, zusammengestellt und verwaltet werden. Fertigungssteuerungssysteme behandeln im Allgemeinen Prozessinformationen wie Mengen (Gewicht, Einheiten usw.) und zugehörige Eigenschaften (Raten, Temperaturen usw.) sowie Geräteinformationen wie Steuerungs-, Sensor- und Aktorstatus. Die verwalteten Daten können Sensorwerte, Ausrüstungszustände, Ereignisdaten, vom Bediener eingegebene Daten, Transaktionsdaten, Bedieneraktionen, Nachrichten, Berechnungsergebnisse von Modellen und andere Daten umfassen, die für die Herstellung eines Produkts von Bedeutung sind. Die Datenerfassung ist von Natur aus zeit- oder ereignisbasiert, wobei Zeit- oder Ereignisdaten hinzugefügt werden, um den gesammelten Informationen einen Kontext zu geben.“ [5]

6.6.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Production Data Collection ‘ (P_DC) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die die Informationen empfangen, speichern ,verwalten und zur Verfügung stellen, die notwendig sind, um die Produktion zu steuern, zu dokumentieren und zu analysieren.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Production Data Collection‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.

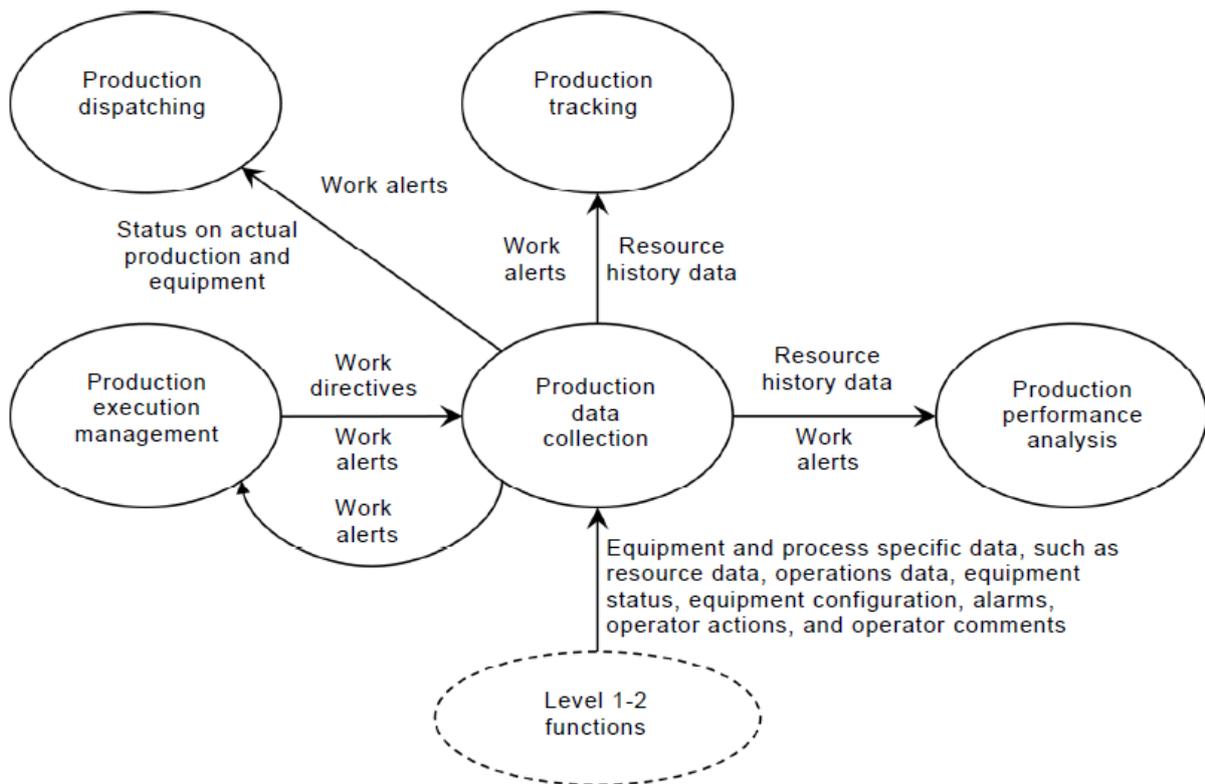


Abbildung 21: 'Production data collection activity model interfaces' nach Figure 17 IEC 62264-3

6.6.2.1 Use Cases Gruppe P_DC_1: Interaktionen mit Ressourcen der Ebene 2 und 1

Use Case	Beschreibung
P_DC_1.1	<p>P_DC empfängt von den MOM Ressourcen der Ebene 2 und 1 produktionsrelevante Informationen wie Maschinen- und Betriebsdaten.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von maschinen- und produktionsrelevanten Informationen. Idealerweise eine Client-Applikation vergleichbar OPC-UA Part 9 (Alarms and Conditions) die von den MOM Ressourcen (Ereignis-Server) die Daten nach einem definierten Standard empfängt. <p>Anmerkung: Für die Maschinendaten existiert der Standard ‚MTconnect‘ der auch als OPC-UA Companion Standard verfügbar ist.</p> <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützter Standard für Betriebs- und Maschinendatenerfassung (z.B. MTconnect für Maschinendaten)
Beispiel	P_DC empfängt von der Drehmaschine Maschinen- und Betriebsdaten

6.6.2.2 Use Cases Gruppe P_DC_2: Interaktionen mit ‚Production Execution Management‘ (P_EM)

Siehe auch Kapitel 6.5.2.5 Use Case Gruppe P_EM_5

Use Case	Beschreibung
P_DC_2.1	<p>P_DC empfängt von P_EM relevante Fertigungsanweisungen [<i>~ work directives</i>].</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Fertigungsanweisungen • Dienstaufruf ‚Empfange Fertigungsanweisung‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fertigungsanweisung ○ Bezug zur Auftragsliste • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Empfangen‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Standards für Fertigungsanweisungen
<i>Beispiel</i>	<i>P_EM sendet die Fertigungsanweisung ‚Sägen starten‘ zu P_DC zur Speicherung der Produktionshistorie</i>
P_DC_2.2	<p>P_DC sendet an P_EM relevante Fertigungsmeldungen [<i>~ work alerts</i>].</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Fertigungsmeldungen • Dienstaufruf ‚Empfange Fertigungsmeldung‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fertigungsmeldung (Fertigstellung, Störung, Materialmangel ...) ○ Bezug zur Auftragsliste • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Empfangen‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Standards für Fertigungsmeldungen
<i>Beispiel</i>	<i>P_EM sendet die Fertigungsmeldung ‚Sägen fertig‘ zu P_DC zur Speicherung der Produktionshistorie</i>

6.6.2.3 Use Cases Gruppe P_DC_3: Interaktionen mit ‚Production Dispatching‘ (P_D)

Siehe Kapitel 6.4.2.5 Use Case Gruppe P_D_5

6.6.2.4 Use Cases Gruppe P_DC_4: Interaktionen mit ‚Production Performance Analysis‘ (P_PA)

Use Case	Beschreibung
P_DC_4.1	<p>P_DC sendet auf Anfrage von P_PA gesammelte, produktionsrelevante Informationen und Fertigungsmeldungen zur Lesitungsanalyse an P_PA.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zur Bereitstellung von Historischen Daten • Dienstauftrag ‚Liefere Fertigungsdaten ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Abfragefunktion ○ Bezug zur Auftragsliste • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Erfolg‘ und angefragte Daten ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Standards für Datenabfragefunktionen
<i>Beispiel</i>	<i>P_DC sendet die Zeit der Belegung der Säge an P_PA</i>

6.6.2.5 Use Cases Gruppe P_DC_5: Interaktionen mit ‚Production Tracking‘ (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_DC_5.1	<p>P_DC sendet gesammelte, produktionsrelevante Informationen und Fertigungsmeldungen an P_T</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_T:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Produktionsinformationen
<i>Beispiel</i>	<i>P_DC sendet die Fertigungsmeldung ‚Sägen fertig‘ zu P_T</i>

6.7 Produktionsleistungsanalyse (Production Performance Analysis – P_PA)

6.7.1 Definition

„Die Produktionsleistungsanalyse ist definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die Leistungsinformationen analysieren und an Geschäftssysteme weiterleiten. Dies kann die Analyse von Informationen über Zykluszeiten der Produktionseinheiten, Ressourcenauslastung, Anlagenauslastung, Anlagenleistung, Verfahrenseffizienz und Produktionsvariabilität einschließen. Beziehungen zwischen diesen Analysen und anderen können auch zur Erstellung von KPI-Berichten verwendet werden. Diese Informationen können zur Optimierung der Produktion und des Ressourceneinsatzes verwendet werden. Solche Informationen können nach einem Zeitplan, am Ende von Produktionsläufen oder Chargen oder auf Anfrage bereitgestellt werden. Die Analyse der Produktionsleistung ist ein fortdauernder Prozess. Sobald eine Optimierung stattgefunden hat und eine Einschränkung beseitigt wurde, können andere Systemeinschränkungen auftreten. Darüber

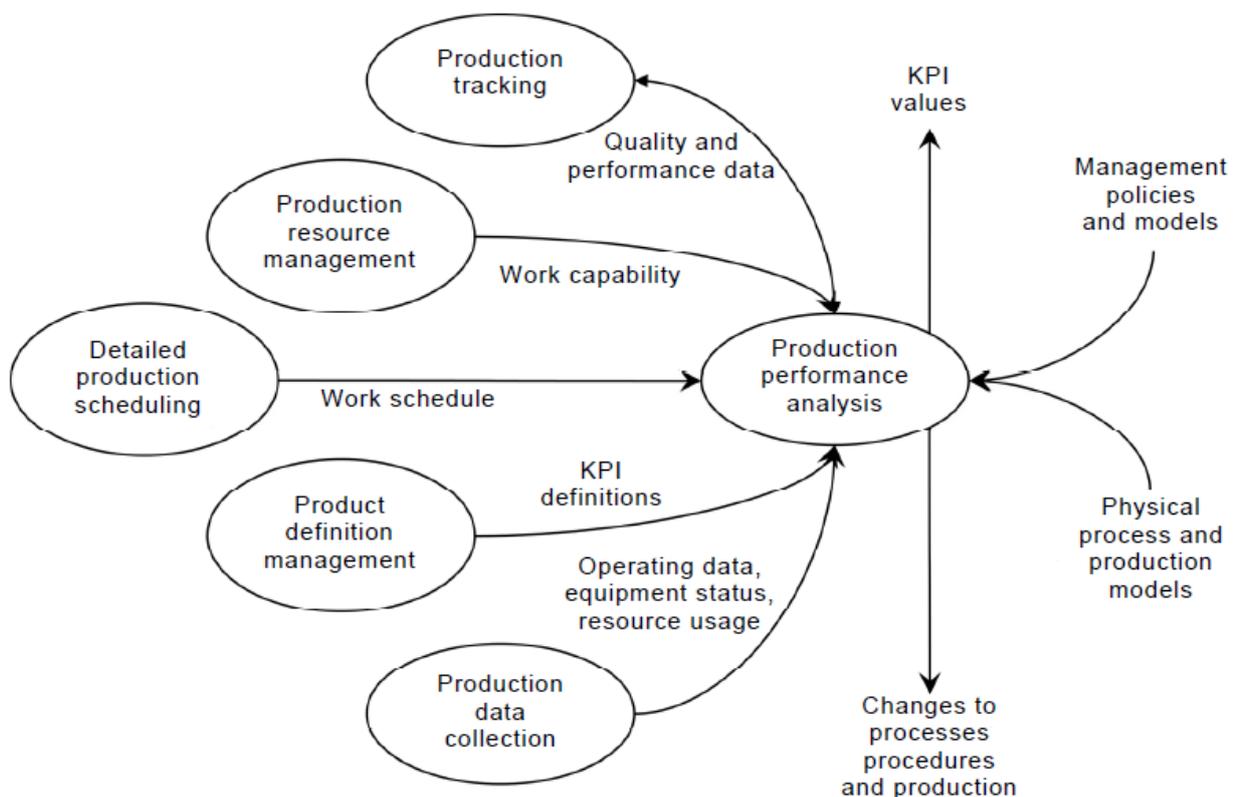
hinaus können sich durch veränderte Marktbedingungen und Produktmixe die Optimierungskriterien und Systemeinschränkungen ändern. In einer sich ändernden Umgebung werden bei der Analyse der Produktionsleistung Durchsatz und Richtlinien und Modelle unter den aktuellen und erwarteten Bedingungen regelmäßig überprüft, um den Systemdurchsatz zu maximieren.“ [5]

6.7.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Production Performance Analysis‘ (P_PA) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die aus den empfangenen Informationen Analysen zur Leistung und Verbesserung der Produktion erzeugen.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen der ‚Production Performance Analysis ‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.



IEC

Abbildung 22: 'Production performance analysis activity model interfaces' nach Figure 20 IEC 62264-3

6.7.2.1 Use Cases Gruppe P_A_1: Funktionen zum Anlegen bzw. Importieren von Geschäfts- und Prozess-Modellen und Erzeugen von Berichten

Use Case	Beschreibung
P_A_1.1	<p>P_A benötigt für die Leistungsanalyse Modelle der Geschäfts- und Produktionsprozesse (Simulationen, Digitaler Zwilling, Algorithmen) diese müssen in P_A angelegt bzw. importiert werden können.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Anlegen und Importieren von Leistungsanalyse-Modellen • Dienstauf Ruf ‚Empfange Analyse-Modell ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Bezeichnung und Art des Modells und Definition des Modells ○ Anwendungsbereich (Prozesse, Produkte) • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Modellstandards
<i>Beispiel</i>	<i>Sollzeit für die Herstellung der Welle</i>
P_A_1.2	<p>P_A liefert auf Anfrage von außen Analysedaten</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktionen zur Leistungsanalyse und definierte Berichts-Templates; • Dienstauf rufe ‚Liefere Bericht‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Angeforderter Bericht ○ Berichts Objekt • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ mit den angeforderten Berichtsdaten ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache wie z.B. ‚Objekt passt nicht zu Bericht‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Berichte
<i>Beispiel</i>	<i>Ist-Sollvergleich des Auftrags</i>

6.7.2.2 Use Cases Gruppe P_A_2: Interaktionen mit ‚Production Data Collection ‘ (P_DC)

Siehe auch Kapitel 6.6.2.4 Use Case Gruppe P_DC_4

Use Case	Beschreibung
P_A_2.1	<p>P_A empfängt für die Analyse von P_DC Maschinen- und Betriebsdaten.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Maschinen- und Betriebsdaten • Dienstauftrag ‚Empfange Daten ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Art der Daten und enthaltene Informationen ○ Bezug zur Auftragsliste • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Empfangen‘ ‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Maschinen- und Betriebsdatenformate
<i>Beispiel</i>	<i>P_DC sendet die Dauer der Belegung der Säge an P_A</i>

6.7.2.3 Use Cases Gruppe P_A_3: Interaktionen mit ‚Product Definition Management ‘ (P_DM)

Siehe Kapitel 6.1.2.7 Use Case Gruppe P_DM_7

6.7.2.4 Use Cases Gruppe P_A_4: Interaktionen mit ‚Production Detailed Scheduling ‘ (P_DS)

Siehe Kapitel 6.3.2.7 Use Case Gruppe P_DS_7

6.7.2.5 Use Cases Gruppe P_A_5: Interaktionen mit ‚Production Resource Management ‘ (P_RM)

Siehe Kapitel 6.2.2.6 Use Case Gruppe P_RM_6

6.7.2.6 Use Cases Gruppe P_A_6: Interaktionen mit ‚Production Tracking ‘ (P_T)

Use Case	Beschreibung
P_A_6.1	<p>P_A sendet für P_T relevante Analysenergebnisse an P_T</p> <p>Erforderlicher Zugriff auf Dienst von P_T:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Empfange Analysen
<i>Beispiel</i>	<i>P_A sendet die für die Produktion der Welle ermittelten Herstellkosten an P_T</i>

6.8 Produktion Verfolgung (Production Tracking – P_T)

6.8.1 Definition

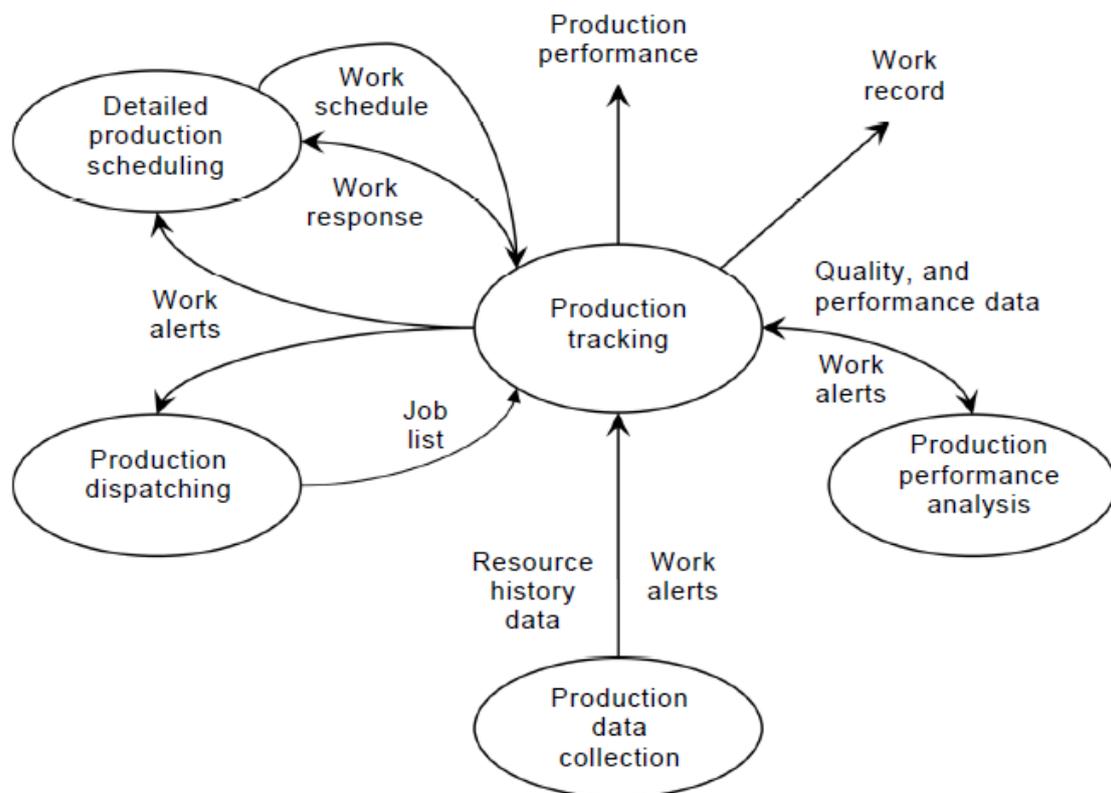
„Die Produktionsverfolgung wird definiert als die Sammlung von Aktivitäten, die die Produktionsreaktion für die Ebene 4 vorbereiten. Dazu gehört die Zusammenfassung und Berichterstattung von Informationen über Personal und Ausrüstung, die tatsächlich zur Herstellung des Produkts eingesetzt wurden, über das verbrauchte und produzierte Material sowie über andere relevante Produktionsdaten wie Kosten und Ergebnisse der Leistungsanalyse. Die Produktionsverfolgung liefert auch Informationen zur detaillierten Produktionsplanung und zu den Planungsaktivitäten der Ebene 4, so dass die Pläne auf der Grundlage der aktuellen Bedingungen aktualisiert werden können.“ [5]

6.8.2 Beschreibung des Teilmodells

Das Teilmodell ‚Production Tracking‘ (P_T) umfasst alle Funktionen / Dienste innerhalb des Produktionsmanagements, die aus den empfangenen Informationen die Nachverfolgbarkeit der Produktion und die Kenntnis ihres aktuellen Stands ermöglichen.

Das Teilmodell soll die folgenden Use Cases abdecken und die in der MOM Komponente implementierte Software die dazu notwendigen Funktionen / Dienste zur Verfügung stellen.

Die nachfolgende Darstellung ist der IEC26264 – Teil 3 entnommen und stellt die Schnittstellen zwischen dem ‚Production Tracking‘ und den anderen Aktivitäten des Produktionsmanagements dar.



IEC

Abbildung 23: 'Production tracking activity model interfaces' nach Figure 18 IEC 62264-3

6.8.2.1 Use Cases Gruppe P_T_1: Interaktionen mit ‚Production Data Collection ‘ (P_DC)

Siehe auch Kapitel 6.6.2.5 Use Cases Gruppe P_DC_5

Use Case	Beschreibung
P_T_1.1	<p>P_T empfängt bzw. abonniert von P_DC für die Nachverfolgung der Produktion erforderliche Produktionsinformationen [<i>~ work response</i>] und Arbeitsbenachrichtigungen [<i>~ work alerts</i>].</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktionen zum Empfangen und zur Bearbeitung von Produktionsinformationen und von Arbeitsbenachrichtigungen • Dienstaufruf ‚Empfange Produktionsinformation ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Art der Information ○ Informationsobjekt ○ Informationsinhalt • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Empfangen‘, ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Standards für Produktionsinformationen
<i>Beispiel</i>	<i>P_T erhält von P_DC die Produktionsinformation ‚Sägen fertig‘</i>

6.8.2.2 Use Cases Gruppe P_T_2: Interaktionen mit ‚Production Dispatching‘ (P_D)

Siehe auch Kapitel 6.4.2.6 Use Case Gruppe P_D_6.

Use Case	Beschreibung
P_T_2.1	<p>P_T empfängt bzw. abonniert von P_D Auftragslisten [~ <i>job list</i>] für die Nachverfolgung der Produktion.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Auftragslisten • Softwarefunktion zur Verarbeitung von Auftragslisten für die Nachverfolgung der Produktion • Dienstauftrag ‚Empfange Auftragsliste‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Neu, Update, Löschen) ○ Inhalt der Auftragsliste • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Empfangen‘, ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>P_T erhält von P_D die Auftragsliste für die Fertigung der Welle</i>
P_T_2.2	<p>P_T sendet erhaltene Arbeitsbenachrichtigungen [~ <i>work alerts</i>] unaufgefordert zu P_D und P_S zu deren Verarbeitung</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Arbeitsbenachrichtigungen von P_DC und zur Weiterleitung an P_D und P_DS • Dienstauftrag ‚Sende Abonnement‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Abonnierte Objekte ○ Anfragender Abonnent • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ und Bestätigung des Abonnements ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Abonnements
<i>Beispiel</i>	<i>P_T erhält von P_D und P_DS die Abonnement-Anfrage Arbeitshinweise an sie zu senden.</i>

6.8.2.3 Use Cases Gruppe P_T_3: Interaktionen mit ‚Production Detailed Scheduling‘ (P_DS)

Siehe auch Kapitel 6.3.2.8 Use Cases Gruppe P_DS_8

Use Case	Beschreibung
P_T_3.1	<p>P_T empfängt bzw. abonniert von P_DS Arbeitspläne [<i>~ work schedule</i>] für die Nachverfolgung der Produktion.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Empfangen von Arbeitsplänen • Softwarefunktion zur Verarbeitung von Arbeitsplänen für die Nachverfolgung der Produktion • Dienstauftrag ‚Empfange Arbeitsplan ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Zweck (Neu, Update, Löschen) ○ Inhalt des Arbeitsplans • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Arbeitsplanformate
<i>Beispiel</i>	<i>P_DS sendet den Arbeitsplan der Fertigung der Welle an P_T für die Nachverfolgung des Stands der Fertigung</i>
P_T_3.2	<p>P_T liefert auf Anfrage von P_DS den Arbeitsfortschritt [<i>~ work response</i>] für einen Arbeitsplan [<i>~ work schedule</i>] für die Aktualisierung der Planung.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zur Erfassung und zum Liefern des Arbeitsfortschritts gegenüber dem Arbeitsplan • Dienstauftrag ‚Liefere Arbeitsfortschritt ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Arbeitsplan • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ und angefragte Daten ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>P_DS fragt den Arbeitsfortschritt zum Arbeitsplan der Welle an und P_T sendet zurück, dass der Arbeitsschritt ‚Sägen‘ abgeschlossen ist und dass der Auftrag auf eine freiwerdende Drehmaschine wartet.</i>

6.8.2.4 Use Cases Gruppe P_T_4: Interaktionen mit ,Production Analysis ‘ (P_A)

Siehe auch Kapitel 6.7.2.6 Use Cases Gruppe P_A_6

Use Case	Beschreibung
P_T_4.1	<p>P_T empfängt bzw. abonniert von P_A für die Nachverfolgung der Produktion erforderliche Analysedaten.</p> <p>Erforderliche Dienste von P_A:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Analyse Daten <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine zusätzlichen Merkmale erforderlich
<i>Beispiel</i>	<i>P_T erhält von P_A die Herstellkosten der Welle</i>

6.8.2.5 Use Cases Gruppe P_T_5: Funktionen zur Auswertung und Erstellen von Berichten

Use Case	Beschreibung
P_T_5.1	<p>P_T benötigt für Tracking und Tracing Modelle der Produktionsprozesse. Diese müssen in P_T angelegt bzw. importiert werden können.</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktion zum Anlegen und Importieren von Tracking / Tracing Modellen • Dienstaufruf ‚Empfange Tracking Modell ‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Bezeichnung und Art des Modells und Definition des Modells ○ Anwendungsbereich (Produktion, Produkte) • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Modellstandards
<i>Beispiel</i>	<i>Nachverfolgung der für die Produktion verwendeten Materialien</i>
P_T_5.2	<p>P_T liefert auf Anfrage von außen Tracking / Tracing Berichte</p> <p>Dienste: Für die Realisierung des Use Case müssen die folgenden Dienste als Softwarefunktionen implementiert und über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Softwarefunktionen zur Tracking / Tracing-Analyse und definierte Berichts-Templates; • Dienstaufträge ‚Liefere Bericht‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Angeforderter Bericht ○ Berichts Objekt • Dienstantworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ mit den angeforderten Berichtsdaten ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache wie z.B. ‚Objekt passt nicht zu Bericht‘ <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Berichte
<i>Beispiel</i>	<i>Nachverfolgung der für die Produktion verwendeten Materialien</i>

7 Teilmodelle für interoperable I4.0 MOM Ressourcen-Komponenten

Ressourcen im Sinn des Betriebsmanagements sind die für die Produktion notwendigen und begrenzt vorhandenen Mittel deren Gebrauch für die Produktion verwaltet und geplant werden müssen. Dies sind im Wesentlichen, Personal, Material inklusive Fertigungshilfsmittel und technische Ausrüstungen (Equipment). Jeder Mitarbeiter, jedes Material im Lager, jede Maschine stellt nach der Definition von I4.0 ein Asset dar und benötigt um an der I4.0 Kommunikation beteiligt zu sein eine Verwaltungsschale.

Die Verwaltungsschale eines Assets vom Typ ‚Personal‘ (eines Mitarbeiters) müsste beispielsweise in ihren Teilmodellen folgende MOM relevanten Merkmale zur Verfügung stellen (siehe auch Nr. 8 in Abb. 6):

- Qualifikationen des Mitarbeiters
- Stundensatz
- Verfügbarkeit (nach Schichtplan anwesend und im fraglichen Zeitraum für keinen anderen Auftrag reserviert)
- Möglichkeit zum Reservieren des Mitarbeiters für einen Auftrag und dessen geplanten Zeitraum
- Möglichkeit zum Empfangen von Arbeitsaufträgen
- Möglichkeit zur Rückmeldung der Arbeitsleistung

Erfolgte die Kommunikation im MOM-System entsprechend der in Kapitel 3.3.1 „Kommunikation auf der Basis von Merkmalen“ oder Kapitel 3.3.2 „Kommunikation über vordefinierte Transaktionen (IEC 62264 – Teil5) dargestellten Art, so wäre im MOM Ressourcen-Teilmodell lediglich die Implementierung von Merkmalen, etwa in einer Datenbank, erforderlich. In diesem Fall wäre die aufrufende MOM Aktivität allein für die Interpretation der Merkmale verantwortlich und müsste alle Personalklassen bzw. -instanzen (Mitarbeiter) einzeln betrachten.

Sinnvoll erscheint hier jedoch die Implementierung eines Software-Assets ‚Personalverwaltung‘, welches die einzelnen Mitarbeiter und deren Verfügbarkeit (Schichtplan, Urlaub, Krankheit) verwaltet und in seinem MOM-Ressourcen Teilmodell beispielsweise folgende MOM relevanten Dienste entsprechend Kapitel 3.3.3 „Kommunikation über Aufruf von Diensten“ zur Verfügung stellt:

- Liefere die im System verfügbaren Fähigkeiten / Qualifikationen von Mitarbeitern
- Reserviere für den Produktionsauftrag X (Zeitpunkt und Dauer) einen Mitarbeiter mit der Qualifikation Y

Ähnlich verhält es sich bei einem Asset vom Typ ‚Material‘. Hier müsste die Verwaltungsschale in den Teilmodellen folgende MOM relevanten Merkmale des Materials zur Verfügung stellen (siehe auch Nr. 5 in Abb. 6):

- Charge (Batch, Los, Lot)
- Spezifikation des Materials
- Menge
- Qualitätsdaten
- Kosten
- Verfügbarkeit (vorhanden, oder Lieferung bestätigt und für keinen anderen Auftrag reserviert)
- Möglichkeit zum Verbrauch bzw. zur Erzeugung von Material

Sinnvoll ist auch hier die Implementierung eines Software-Assets „Lager- und Bestandsmanagement“ (siehe Abb. 3), welches die einzelnen Materialien in ihrer Dynamik (Bestandsänderungen durch Wareneingang, Verbrauch, Erzeugung von Halbzeugen oder Intermediaten) verwaltet und in seinem MOM-Ressourcen Teilmodell beispielsweise folgende MOM relevanten Dienste entsprechend Kapitel 3.3.3 „Kommunikation über Aufruf von Diensten“ zur Verfügung stellt:

- Reserviere für den Produktionsauftrag X die Menge Y von Material Z
- Möglichkeit zum Reservieren der Charge(n) für einen Auftrag
- Möglichkeit zum Verbrauch von Material (gegen Auftrag oder Kostenstelle)
- Möglichkeit zum Erzeugen von Bestand an Fertigprodukten, Intermediaten oder Halbzeugen

Für künftige Industrie 4.0 konforme Ressourcen (z.B. eine Maschine) oder Ressourcenverwaltungssysteme wird erwartet, dass der Lieferant eine Verwaltungsschale für das durch ihn bereitgestellte Asset zur Verfügung stellt. Neben den darin implementierten Teilmodellen zur Beschreibung der Eigenschaften des Assets und der Dienste zur Nutzung seiner Funktionalität, sollte wenn das Asset im Zusammenhang mit einem MOM-System genutzt werden soll auch ein Teilmodell für die Kommunikation mit den in Kapitel 8 beschriebenen MOM-Aktivitäten implementiert sein.

Dabei müssen wie in Kapitel 5.2 dargelegt die im digitalen Betriebsmanagement verwalteten und verwendeten Ressourcen (Personal, Material, Equipment) so ausgestattet sein, dass sie mit den Aktivitäten des Betriebsmanagements ohne die Implementierung proprietärer Schnittstellen zusammenwirken können. Die heutige Situation, dass Schnittstellen zu übergeordneten Systemen wie Bearbeitungszentren oder einem MOM System z.B. von Software- oder Maschinenhersteller zu Hersteller unterschiedlich gestaltet sind, entspricht nicht den Anforderungen einer interoperablen Kommunikation unter Industrie 4.0. Deshalb soll in diesem Kapitel aufgezeigt werden, welche Anforderungen bezüglich der MOM Interoperabilität an MOM Teilmodelle für Ressourcen zu stellen sind.

7.1 Standardisierung der zwischen MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen ausgetauschten Daten

Neben der Kommunikation zwischen Aktivitäten und Ressourcen über definierte Dienste, ist hierbei auch die Vereinheitlichung der zu übertragenen Information erforderlich. Dies betrifft insbesondere die industriedomain-spezifischen und ressourcentypischen Definitionen von:

- Fähigkeiten und Eigenschaften
- Arbeitsanweisungen und Ausführungsspezifikationen
- Erfassung der Arbeitsergebnisse

über die verschiedenen Hersteller von MOM-Ressourcen und Ressourcen-Verwaltungssoftware hinweg.

Als Beispiel für Fähigkeiten aus dem Bereich der Fertigungstechnik seien hierfür genannt:

- Die technologischen Verfahren nach DIN 8580 oder vergleichbaren internationalen Standards
- Die Beschreibung der Eigenschaften / Merkmale von Maschinen (siehe Nr. 10 und 11 in Abb. 6) z.B. entsprechend den relevanten Sachmerkmallisten der DIN-Reihe 4000 oder vergleichbaren internationalen Standards
- Werkstoffnummern oder Materialklassendefinitionen für die Beschreibung der Fähigkeiten / Eigenschaften von Materialien und Werkstoffen
- Beschreibung der Fähigkeiten von Mitarbeitern wie Dreher, Fräser, Zerspanungs-techniker, Werkzeugmacher, Prüfer, etc.

Als Beispiel für eine notwendige einheitliche Definition der Arbeitsanweisungen, Ausführungsspezifikationen und Rückmeldung der Arbeitsergebnisse sei vor allem die Tatsache genannt, dass sowohl die Steuerprogramme für Maschinen und technische Ausrüstungen als auch die Laufzeit- und Performancedaten von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich sind.

Standardisierungsbestrebungen hierzu sind gegenwärtig im Gange (z.B. ‚MTConnect‘ [16] bzw. ‚umati‘ [6]) und unbedingt notwendig und sollten zukünftig auch die Aspekte der Kommunikation zwischen MOM-Ressourcen (Maschinen) und MOM-Aktivitäten berücksichtigen:

- Z.B. die Übermittlung der numerischen Steuerungsinformationen von dem ‚Production Execution Management‘ in einer standardisierten Form (z.B. entsprechend DIN 66025/ISO 6983) an die Maschinen
- Standardisierung der Rüst- und Arbeitsanweisungen
- Standardisierung der Rückmeldungen von Maschinen an die MOM Aktivitäten ‚Production Data ...‘ und ‚Maintenance Data Collection‘

7.2 Teilmodelle zur Kommunikation zwischen MOM-Aktivitäten und MOM-Ressourcen

Wie in Kapitel 8 aufgezeigt sind es die folgenden MOM-Aktivitäten, die im direkten Austausch mit MOM-Ressourcen stehen:

- Production Resource Management (P_RM)
- Production Execution Management (P_EM)
- Production Data Collection (P_DC)

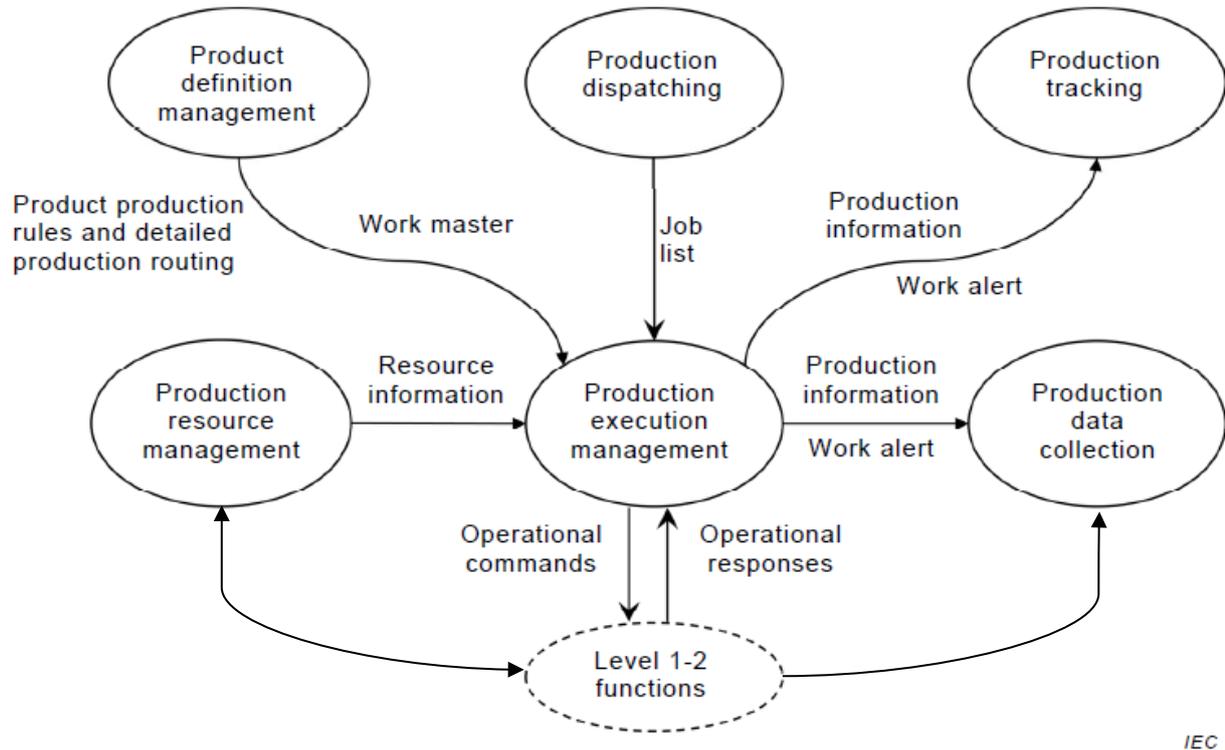


Abbildung 24: 'Production execution management activity model interfaces' nach Figure 16 IEC 62264-3

7.2.1 Production Resource Management (P_RM)

Zur Erfüllung seiner Aufgabe benötigt das Resource Management die folgenden Informationen bzw. Dienste für die Kommunikation mit MOM-Ressourcen:

- Welche Ressourcen gehören zum MOM-System?
- Welche Fähigkeiten bzw. relevanten Eigenschaften besitzen die Ressourcen des Systems?
- Möglichkeit zum Reservieren von Ressourcen

7.2.1.1 Use Cases Gruppe R_RM_1: Funktionen zur Registrierung von Ressourcen

R_RM_1.1	<p>Nach der Instanziierung einer Ressource im MOM-System (Vergabe einer URI; siehe Kapitel 5.4) verwendet die Ressource den Dienst ‚Ressource Registrieren‘ der MOM-Aktivität ‚Production Resource Management‘ (P_RM)</p> <p>Erforderlicher Dienst von P_RM der bei der Instanziierung einer Ressource von der Ressource zwingend aufgerufen werden muss:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell P_RM ein Dienst ‚Ressource Anmeldung‘ als Softwarefunktionen implementiert sein der über definierte Aufrufe und Antworten von neu instanziierten Ressourcen genutzt werden muss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dienstaufwurf ‚Ressource Registrieren‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Anmelden ○ Bezeichnung, Beschreibung, URI der Ressource ○ Art der Ressource (Personal, Material, Equipment) ○ Klassenzugehörigkeit (z.B. Maschinentyp) ○ Fähigkeiten der Klasse mit physikalischen und geometrischen Limitierungen der Fähigkeiten ○ Instanz spezifische Einschränkungen der Fähigkeiten • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützte Standards für die Domain-spezifischen Beschreibungen von Fähigkeiten
Beispiel 1:	<p>Die Drehmaschine ‚DM-4‘ meldet sich beim MOM-System an und teilt mit, dass sie unter der URI https://company.com/company/site/plant/mom/resource/equipment/DM-4 erreichbar ist und zur Klasse INDEX G400 mit folgenden Fähigkeiten gehört:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drehen (Spindeldurchlass = 102 mm, Spannfutter = 315 mm, Drehlänge = 1.600 mm, Vorschub = 50 m/min)
Beispiel 2:	<p>Das Warehouse-Managementsystem ‚WHMS-0‘ meldet sich beim MOM-System an und teilt mit, dass es unter der URI https://company.com/company/site/plant/mom/resource/material/WHMS-0 erreichbar ist und zur Klasse WHMS mit folgenden Fähigkeiten gehört:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefert alle ihm bekannten Material-Definitionen • Liefert Bestandsinformationen • Verarbeitet Bestandsreservierungen und Stornierungen
R_RM_1.2	<p>Nach Änderungen an den Ressourcen verwendet die Ressource den Dienst ‚Ressource Registrieren‘ der MOM-Aktivität ‚Production Resource Management‘</p> <p>Erforderlicher Dienst von P_RM der bei einem Update einer Ressource von der Ressource zwingend aufgerufen werden muss:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell P_RM ein Dienst ‚Ressource Updates‘ als Softwarefunktionen implementiert sein der über definierte Aufrufe und Antworten Updates an Ressourcen dem MOM-System mitteilen kann:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dienstaufwurf ‚Ressource Registrieren‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Update ○ Bezeichnung, Beschreibung, URI der Ressource ○ Art der Ressource (Personal, Material, Equipment) ○ Klassenzugehörigkeit (z.B. Maschinentyp)

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fähigkeiten der Klasse mit physikalischen und geometrischen Limitierungen der Fähigkeiten ○ Instanz spezifische Einschränkungen der Fähigkeiten • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case: Unterstützte Standards für die Domain-spezifischen Beschreibungen von Fähigkeiten</p>
<i>Beispiel</i>	<i>Das Personalverwaltungssystem teilt dem Ressourcen Management mit, dass Mitarbeiterfähigkeiten hinzugekommen oder entfallen sind.</i>
R_RM_1.3	<p>Wird eine Ressource temporär oder dauerhaft außer Betrieb genommen, so meldet sich die Ressource bei der MOM-Aktivität ‚Production Resource Management‘ und deren Dienst ‚Ressource Registrieren‘ ab.</p> <p>Erforderlicher Dienst von P_RM der bei Außerbetriebnahme einer Ressource von der Ressource zwingend aufgerufen werden muss:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell P_RM ein Dienst ‚Ressource Registrieren‘ als Softwarefunktionen implementiert sein der über definierte Aufrufe und Antworten das Abmelden von Ressourcen ermöglicht. Sind die Fähigkeiten der Ressource im System einmalig - nur mit dieser Ressource verbunden - vorhanden, dann werden sie im System gelöscht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dienstauftrag ‚Ressource Abmelden‘ mit Aufrufparametern wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ Abmelden ○ Bezeichnung, Beschreibung, URI der Ressource • Dienstanworten wie: <ul style="list-style-type: none"> ○ ‚Erfolg‘ ○ ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine
<i>Beispiel</i>	<i>Eine Maschine wird außer Betrieb genommen</i>

Aus den bei der Registrierung übermittelten Fähigkeiten der einzelnen Ressourcen erzeugt das Production Resource Management ein Gesamtbild der Fähigkeiten des Produktionssystems, die zum Abgleich mit den Produktionsanforderungen einer Produktspezifikation oder Planungsspezifikation herangezogen werden (siehe Use Cases P_DM2.1 und P_RM2.1).

7.2.1.2 Use Cases Gruppe R_RM_2: Funktionen zur Verwaltung von Ressourcen

R_RM_2.1	<p>Siehe Use Case P_RM_1.1</p> <p>Erforderliche Dienste einer Ressourcenverwaltung des Typs Personal:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell der Ressource Personalverwaltung folgende Dienste als Softwarefunktionen implementiert sein die über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Personal Fähigkeiten <ul style="list-style-type: none"> ○ Alle Fähigkeiten ○ Personal mit bestimmten Fähigkeiten • Liefere Stundensätze <ul style="list-style-type: none"> ○ Alle Stundensätze ○ Stundensätze entsprechend Auswahl • Liefere Schichtpläne / Personalverfügbarkeit <ul style="list-style-type: none"> ○ Schichtplanung für spezifizierten Zeitraum ○ Verfügbarkeit von Personen mit spezifizierter Qualifikation • Reserviere / Storniere Personal <ul style="list-style-type: none"> ○ Reserviere spezifiziertes Personal für Auftrag(szeitraum) ○ Storniere Reservierung <p>mit Dienstantworten entsprechend der angeforderten Information bzw. ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache.</p> <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrie-domain spezifische Standardisierung von Mitarbeiter-Fähigkeiten
<i>Beispiel:</i>	<i>Ein ‚Dreher‘ wird für den Produktionsvorgang des Drehens der Welle reserviert.</i>
R_RM_R1.2	<p>Siehe Use Case P_RM_1.2</p> <p>Erforderliche Dienste einer Ressourcenverwaltung des Typs Material:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell der Ressource Materialverwaltung folgende Dienste als Softwarefunktionen implementiert sein die über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Materialdefinitionen (Fähigkeiten) <ul style="list-style-type: none"> ○ Materialdefinitionen inklusive Kosten ○ Material mit bestimmten Eigenschaften • Liefere Materialverfügbarkeit <ul style="list-style-type: none"> ○ Im Auftragszeitraum verfügbares Material (Bestand und zugesagte Lieferungen) • Reserviere / Storniere Material <ul style="list-style-type: none"> ○ Reserviere spezifiziertes Material für Auftrag ○ Storniere Reservierung • Addiere produziertes Material zum Bestand • Subtrahiere verbrauchtes Material vom Bestand <p>mit Dienstantworten entsprechend der angeforderten Information bzw. ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache.</p> <p>Merkmale: Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrie-domain spezifischer Standard von Equipment Eigenschaften

<i>Beispiel</i>	<i>Reserviere für den Produktionsauftrag X am 26.09.2019 das Halbzeug ‚Stange‘; verbrauche ‚Stange‘, erzeuge ‚Welle‘</i>
R_RM_R1.3	<p>Siehe Use Case P_RM_1.3</p> <p>Erforderliche Dienste einer Ressourcenverwaltung des Typs Equipment:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell der Ressource Equipment folgende Dienste als Softwarefunktionen implementiert sein die über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liefere Equipment Fähigkeiten (Technologisch Fähigkeiten und Randbedingungen) • Liefere Equipment Verfügbarkeit • Reserviere / storniere Equipment für einen Auftrag • Belege Equipment für einen Auftrag • Gebe Equipment frei <p>mit Dienstantworten entsprechend der angeforderten Information bzw. ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache.</p> <p>Merkmale:</p> <p>Folgende Merkmale beschreiben das Teilmodell in Bezug auf den Use Case:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrie-domain spezifischer Standard von Material Eigenschaften
<i>Beispiel</i>	<i>Reserviere für die geplante Zeit des Produktionsauftrag X am 26.09.2019 die Säge ‚S3‘</i>

7.2.2 Production Execution Management (P_EM)

Zur Erfüllung seiner Aufgabe benötigt das Production Execution Management die folgenden Informationen bzw. Dienste für die Kommunikation mit MOM-Ressourcen:

- Übergabe von Ausführungsspezifikationen
- Starten / Unterbrechen / Abbruch der Ausführung
- Rückmeldung des Bearbeitungsstatus wie: ‚in Arbeit‘ / ‚Fertig‘ / ‚Stopp‘ / ‚Fehler‘

7.2.2.1 Use Cases Gruppe R_EM_1: Funktionen zur Steuerung von Ressourcen

R_EM_1.1	<p>Siehe Use Case P_EM_8.1</p> <p>Ressource Personal:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case sollen in der Eben 2 (siehe Abb. 2) industrie-spezifische Systeme zur Mitarbeiterführung in Form von elektronischen Arbeitsanweisungen als Teil der Maschinenbedienung, in Form von Task-Management Lösungen oder einer Batchfahrweise implementiert sein. Die Synchronisation zwischen automatisierten und manuellen Tätigkeiten kann dabei entweder vom Production Execution Management (P_EM) selbst (klassische MES Funktion) ausgeführt werden oder in einem unterlagerten System wie z.B. einem Bearbeitungcenter oder einem PLS Batchsystem als Teil der Ausführung von übergebenen Steueranweisungen erfolgen.</p> <p>Ressource Material:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case sollen in der Eben 2 (siehe Abb. 2) industrie-spezifische Logistiksysteme implementiert sein, die Arbeitsanweisungen zum Materialtransfer vom P_EM) empfangen können und deren Erledigung an das P_EM zurückmelden.</p> <p>Ressource Equipment:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll in der Ebene 2 (siehe Abb. 2) industrie-spezifisches Equipment vorhanden sein, das Arbeitsanweisungen empfangen und ausführen kann und deren Erledigung an das P_EM zurückmeldet.</p> <p>a) Steuerung der Ressourcen</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll im Teilmodell der Ressourcen folgende Dienste als Softwarefunktionen implementiert sein, die über definierte Aufrufe und Antworten von außen nutzbar sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ‚Übernahme Ausführungsspezifikation‘ mit Aufrufparametern wie ‚Job-Kennung‘ und Ausführungsspezifikation • ‚Folge Kommando‘ mit Aufrufparametern wie ‚Job-Kennung‘ und ‚Kommando (‚Start‘, ‚Stopp‘, ‚Abbruch‘) <p>mit der Dienstantwort ‚Erfolg‘ oder ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache</p> <p>b) Rückmeldung der Ressourcen</p> <p>Für die Rückmeldung der Ressourcen an das P_EM sollen die Ressourcen den folgenden Dienst des P_EM nutzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ‚Rückmeldung‘ mit Aufrufparametern wie ‚Job-Kennung‘, und ‚Status‘ (Start, Läuft, Stopp, Abbruch, Fertig), <p>mit der Dienstantwort ‚Erfolg‘ oder ‚Fehler‘ mit Angabe der Ursache</p>
<i>Beispiel:</i>	<i>Das NC-Programm für die Fertigung der Welle wird an die Drehmaschine ‚D5‘ übertragen und diese anschließend vom P_EM gestartet</i>

7.2.3 Production Data Collection (P_DC)

7.2.3.1 Use Cases Gruppe R_DC_1: Funktionen zur Datensammlung von Ressourcen

R_DC_1.1	<p>Siehe Use Case P_DC_1.1</p> <p>Ressource Personal:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case sollen in der Eben 2 (siehe Abb. 2) industrie-spezifische Systeme zur Mitarbeiterführung in Form von elektronischen Arbeitsanweisungen als Teil der Maschinenbedienung, in Form von Task-Management Lösungen oder einer Batchfahrweise implementiert sein. Es sind diese Systeme die als Daten-Server, die relevanten Daten als OPC-UA Server an den OPC-UA A&C Client des P_DC schicken.</p> <p>Ressource Material:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll die Materialverwaltungssoftware als OPC-UA Daten-Server die relevanten Daten an den OPC-UA A&C Client des P_DC schicken.</p> <p>Ressource Equipment:</p> <p>Für die Realisierung des Use Case soll das Equipment in der Ebene 2 (siehe Abb. 2) als OPC-UA Daten-Server die relevanten Daten in standardisierter Form (siehe Kapitel 8.1) an den OPC-UA A&C Client des P_DC schicken.</p>
<i>Beispiel:</i>	<i>Die Drehmaschine ‚D5‘ sendet Ihre Betriebsdaten im von MTConnect definierter Form über OPC-UA A&C an den OPC-UA A&C Client</i>

8 Zusammenfassung und Handlungsempfehlung

Ausgangspunkt dieses Diskussionspapiers war die Aufforderung des ZVEI Führungskreis Industrie 4.0 an die AG MES des ZVEI sich mit der Thematik Verwaltungsschale für MES auseinanderzusetzen. Zusammen mit dem AK 931.0.2 ‚Unternehmensmodelle‘ der DKE hat die AG MES des ZVEI diese Herausforderung angenommen und nun die Ergebnisse in diesem Diskussionspapier veröffentlicht.

Manufacturing Execution Systeme wie sie heute auf dem Markt verfügbar sind haben je nach Hersteller und Branche unterschiedliche Ausprägungen, umfassen jedoch im Allgemeinen verschiedene Seiten des Betriebsmanagements (Manufacturing Operations Management; MOM) wie es in der EN/IEC 62264 (Enterprise-control system integration) beschrieben wird. Daher erschien es sinnvoll die gestellte Aufgabe auf Basis dieser Norm anzugehen. Zumal auch unter Industrie 4.0 ein digitalisiertes Betriebsmanagement eine wesentliche Rolle einer *„neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette“* spielen wird.

Die Leitfrage war also, wie können die in der EN/IEC 62264 definierten Aufgaben, Strukturen und Modelle des Betriebsmanagements in Teilmodelle von interoperablen MOM-Komponenten unter Industrie 4.0 abgebildet werden? Die Antwort auf diese Frage war die Bestimmung von Teilmodellen für die in der EN/IEC 62264 beschriebenen 8 Aktivitäten in jedem der 4 Bereiche des Betriebsmanagements Produktion, Lager, Qualität und Wartung (siehe Abbildung 3 und 4). Exemplarisch beschränkt sich das Diskussionspapier dabei auf den Bereich Produktionsmanagement und stellt den Entwurf solcher Teilmodelle für MOM-Aktivitäts-Komponenten im Kapitel 8 (Teilmodelle für interoperable I4.0 MOM Aktivitäts-Komponenten) anhand von ‚Use Cases‘ vor.

DIN EN 62264-1 bezeichnet Betriebsmanagement als die „Aktivitäten der Ebene 3 einer Produktions- oder Fertigungsstätte, die das Personal, die Einrichtungen und das Material innerhalb der Produktion / Fertigung koordinieren“. Die Teilmodelle der Aktivitäten erfordern daher entsprechende MOM Teilmodelle auf der Ressourcen-Seite, die zusätzlich zu den anderen Teilmodellen zur Beschreibung des Assets vorhanden sein müssen, wenn das Asset in ein MOM-System eingebunden werden soll. Kapitel 9 (Teilmodelle für interoperable I4.0 MOM Ressourcen-Komponenten) stellt den Entwurf solcher MOM-Ressource-Teilmodelle anhand von ‚Use Cases‘ vor.

Da die MOM-Aktivitäts-Komponenten sowohl untereinander als auch mit den MOM-Ressource-Komponenten stark verknüpft sind, war die Art der Kommunikation zwischen den Komponenten eine weitere zu beantwortende Frage, die in Kapitel 5.3 (Kommunikation zwischen I4.0 MOM Komponenten) diskutiert wird. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass die Kommunikation so aufgebaut werden sollte, dass der Nutzer eines Assets lediglich die ihm zu Verfügung stehenden operativen Dienste des Assets, nicht aber dessen innere Struktur und operative Logik kennen muss. Die Kommunikation zur Nutzung von Assets soll als Aufruf höherwertiger operativer Dienste erfolgen; nicht aber als das pure Lesen und Beschreiben von Merkmalen, das die operative Logik auf die Client-Seite verlagert.

Für die Beschreibung und Implementierung von I4.0 Teilmodell bedeutet dies, dass sie einen definierten Satz von Merkmalen und Diensten besitzen auf die von außen über die Verwaltungsschale zur Erkundung, Informationsanreicherung und Nutzung der Funktionen eines Assets zugegriffen werden kann.

Beim Entwurf der Teilmodelle in den Kapiteln 8 und 9 wurde deshalb als methodisches Vorgehen versucht die folgenden Fragen zu beantworten:

- Welch ‚Use Cases‘ soll das Teilmodell abdecken?
- Welche Funktionen müssen dafür auf dem Asset implementiert und nutzbar sein?
- Über welche Dienstaufrufe kann ein externer Nutzer diese Funktionen nutzen?
- Welche Antwort liefert das Asset auf die Dienstaufrufe an den Nutzer?
- Welche Merkmale kennzeichnen das Asset in Bezug auf das Teilmodell?

Die im Rahmen dieses Diskussionspapiers vorgelegten Entwürfe von Teilmodellen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, noch auf Standardisierung oder Normung. Im Gegenteil; Ziel war es lediglich exemplarisch anhand des Produktionsmanagements - als nur einem Teil des Betriebsmanagements - aufzuzeigen wie Teilmodelle für das digitale Betriebsmanagement unter Industrie 4.0 definiert werden

können und welcher Aufwand dafür erforderlich ist. Dabei steht das Betriebsmanagement in diesem Papier auch beispielhaft für das Zusammenspiel anderer interoperabler I4.0 Komponenten und Systeme und wirft insgesamt die Frage auf wie kommen wir zu gültigen und verwendbaren Festlegungen der dafür notwendigen Teilmodelle.

Im Fall des digitalen Betriebsmanagements empfehlen die Autoren die mit diesem Papier begonnene Arbeit durch die DKE im Rahmen der Erweiterung und Anpassung der IEC 62264 in die Normung zu überführen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] AG MES des ZVEI, "Industrie 4.0: MES – Voraussetzung für das digitale Betriebs- und Produktionsmanagement," ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V, Frankfurt am Main, April 2017.
- [2] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, "Die deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0," VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt a. M., November 2013.
- [3] B. Gates, "Business @ the Speed of Thought," Warner Books, a Time Warner Company, USA, 1999.
- [4] C. Gifford, The Hitchhiker's Guide to Manufacturing Operations Management: ISA-95 Best Practices Book 1.0, ISA, Ed., 2012.
- [5] International Electrotechnical Commission, IEC, "IEC/EN 62264 Enterprise-control system integration (Parts 1 - 5)," International Electrotechnical Commission, IEC, Geneva.
- [6] "umati (universal machine technology interface)," [Online]. Available: <https://umati.org/>. [Accessed 28 June 2021].
- [7] ZVEI und Plattform Industrie 4.0, "Struktur der Verwaltungsschale," Plattform Industrie 4.0, Berlin, 2016.
- [8] P. I. 4.0, Fortschrittsbericht 2018, Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2018.
- [9] D. S. 91345:2016-04, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0), Beuth Verlag, 2016.
- [10] T. Bangemann, M. Wollschlaeger and U. Epple, "Industrie 4.0 - Definition domänenspezifischer Dienste," in *Automation 2015 - Benefits of Change the Future of Automation*, 2015.
- [11] Plattform Industrie 4.0, Diskussionspapier 'Verwaltungsschale in der Praxis', Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), April 2019.
- [12] Plattform Industrie 4.0, Specification 'Details of the Asset Administration Shell', Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), November 2018.

- [13] Plattform Industrie 4.0, Diskussionspapier 'I4.0 Sprache', Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), April 2018.
- [14] Plattform Industrie 4.0, Specification 'Details of the Asset Administration Shell' Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 3.0RC01), Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), November 2020.
- [15] Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA International), "MESA Resource Library / B2MML," May 2013. [Online]. Available: <https://services.mesa.org/ResourceLibrary/ShowResource/0f47758b-60f0-40c6-a71b-fa7b2363fb3a>.
- [16] MTConnect. [Online]. Available: <https://www.mtconnect.org/getting-started>.
- [17] I. T. 62832-1:2016, Industrial-process measurement, control and automation - Digital factory framework - Part 1: General principles, IEC, 2016.
- [18] Plattform Industrie 4.0, "Relationships between I4.0 Components – Composite Components and Smart Production," 2018.

www.industrialdigitaltwin.org