



OTTO VON GUERICKE  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG

MB

FAKULTÄT FÜR  
MASCHINENBAU

# **Ideales Informationsmodell für die Übergabe digitaler Anlagenmodelle aus dem Engineering in den Fabrikbetrieb**

## **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

## **Doktoringenieur (Dr.-Ing.)**

von Dipl.Ing. (FH) Martin Langosch  
geb. am 28.03.1984 in Regensburg

genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Gutachter:

- Prof. Dr.- Ing. habil. Arndt Lüder
- Prof. Dr.- Ing. habil. Sanaz Mostagim

Promotionskolloquium am 05.09.2024

## I Kurzfassung

Die Produktion von Automobilen und generell von Gütern ist derzeit einem starken Wandel unterworfen. Dabei wird oft die Digitalisierung der Planung und des Betriebs (Industrie 4.0) als Lösung für die diversen Herausforderungen angesehen. Andererseits fürchten viele Unternehmen den Aufwand und die Komplexität der Digitalisierung. Die Basis der Digitalisierung von Prozessen bildet ein reibungsloser Austausch von Daten über die verschiedenen Prozessschritte hinweg. Dabei fokussieren sich die Industrie als auch die Forschung stark auf die Vernetzung der Toollandschaft in der Produktionsplanung als auch die Vernetzung der Tools auf dem Shopfloor für den Betrieb des Produktionssystems. Jedoch zeigt sich, dass diese beiden Hauptprozesse strikt voneinander getrennt sind und beim Übergang von der Planung in den Betrieb hohe manuelle Aufwände entstehen und dadurch viele I4.0 Anwendungen nie die Pilotphase überschreiten.

Diese Arbeit fokussiert sich gerade auf diesen Übergang und greift hierfür die Anforderungen aus der Betriebsphase auf. Dabei wird analysiert, welche Informationen und damit Daten v.a. die Instandhaltung benötigt, um alle Systeme für die Wartung, das Ersatzteilmanagement und auch Predictive Maintenance automatisiert versorgen und aktualisieren zu können.

Die Grundlage dafür bilden die aktuellen Prozesse sowie vorhandenen Standards, sowohl in der Planung bzw. dem Engineering von Produktionsanlagen als auch der Instandhaltung dieser. Dabei wird sowohl die klassische Instandhaltung (Warten, Reparieren, Ersatzteilmanagement) sowie die auf I4.0 basierenden Lösungen (Anlagenanbindung IoT für Predictive Maintenance) betrachtet. Die Analyse der aktuellen Situation sowohl in der Literatur als auch in der Industrie zeigt, dass gerade für den Übergang von Planung in den Betrieb keine Lösungen vorhanden sind.

Das Lösungskonzept sieht vor, dass die notwendigen Informationen in der Planung bzw. dem Engineering in Form von Datenmodellen bereitgestellt werden, und automatisiert in den Betriebssystemen übernommen werden können. Dafür sind sowohl prozessuale Anpassungen notwendig sowie neue Standards für die Datenmodellierung und die Datentransformation. Gerade die Datentransformation ist von entscheidender Bedeutung, da viele Informationen nicht durch ein eins zu eins Mapping übernommen werden können, sondern aufwändig verändert oder kombiniert werden müssen.

Ein abschließendes Beispiel zeigt die Anwendung der Methode und die technische Machbarkeit auf. Hierbei wird ein repräsentatives, aber fiktives Beispiel aus der Industrie auf Datenebene aufgebaut. Dabei werden sämtliche neu entwickelten Datenstandards angewendet sowie die Datentransformationsregeln verankert. Das Beispiel zeigt, dass ein automatisierter Übergang von der Planung in den Betrieb möglich ist. Entscheidend ist, dass die Ergebnisse dieser Arbeit in die Standardisierung und Normierung einfließen, damit neue Datenstandards und Datentransformationen allen Toolherstellern zugänglich gemacht werden können.

## II Abstract

The production of automobiles and goods in general is currently subject to significant change. The digitalization of planning and operation (Industry 4.0) is often seen as a solution to the various challenges. On the other hand, many companies fear the effort and complexity of digitization. The basis for digitizing processes is an exchange of data across the various process steps. Industry and research are focusing heavily on networking the tool landscape in production planning as well as networking the tools on the shop floor for operating the production system. However, it turns out that these two main processes are strictly separated from one another and that the transition from planning to operation involves a high amount of manual effort, and as a result, many I4.0 applications never exceed the pilot phase.

This work focuses on this transition in particular and addresses the requirements from the operating phase. It analyses which information and thus data, particularly for maintenance, is required in order to be able to automatically supply and update all systems for maintenance, spare parts management and predictive maintenance.

The basis for this is provided by current processes and existing standards, both in the planning and engineering of production plants and in their maintenance. Both traditional maintenance (maintenance, repairs, spare parts management) and solutions based on I4.0 (IoT plant connection for predictive maintenance) are considered. An analysis of the current situation, both in literature and in industry, shows that there are no solutions, particularly for the transition from planning to operation.

The solution concept provides that the necessary information in planning and engineering is provided in the form of data models and can be automatically transferred to the operating systems. This requires both procedural adjustments and new standards for data modeling and data transformation. Data transformation in particular is of decisive importance, as much information cannot be transferred through a one-to-one mapping but must be changed or combined in a complex manner.

A final example shows the use of the method and the technical feasibility. Here, a representative but fictitious example from industry is built up at the data level. All newly developed data standards are applied, and the data transformation rules are used. The example shows that an automated transition from planning to operation is possible. It is crucial that the results of this work are incorporated into standardization and standardization so that new data standards and data transformations can be made available to all tool manufacturers.

# III Inhalt

<b>I Kurzfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>II Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>III Inhalt</b> .....	<b>III</b>
<b>IV Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>V Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>VI Liste der Abkürzungen</b> .....	<b>X</b>
<b>1. Ausgangssituation und Vorgehen</b> .....	<b>1</b>
1.1. <i>Ausgangssituation</i> .....	1
1.1.1. Digitale Fabrik .....	1
1.1.2. Industrie 4.0.....	4
1.1.3. Status Quo .....	6
1.2. <i>Motivation</i> .....	8
1.2.1. Die Sicht der Industrie .....	8
1.2.2. Zukunftsvision „Digitale Fabrik“ .....	8
1.2.3. Veränderung der Instandhaltung .....	9
1.2.4. Fazit .....	10
1.3. <i>Vorgehen</i> .....	11
<b>2. Grundlagen: Aktueller Stand Prozesse und Inhalte</b> .....	<b>12</b>
2.1. <i>Prozesse und Inhalte Anlagenengineering</i> .....	16
2.1.1. Prozess Fabrikplanung .....	16
2.1.2. Inhalte der einzelnen Planungs- und Engineeringdisziplinen .....	23
2.1.3. Digitalisierung in Planung und Engineering von Produktionsanlagen .....	28
2.2. <i>Prozesse und Dateninhalte Instandhaltung</i> .....	29
2.2.1. Klassischer Instandhaltungsprozess .....	32
2.2.2. Vorausschauende Prozesse / Analytics und Smart Maintenance.....	36
2.2.3. Daten in den Instandhaltungsprozessen .....	40
2.2.4. Zusammenwirken von Engineering und Betrieb .....	42
<b>3. Stand der Technik Datenformate und Tools</b> .....	<b>49</b>
3.1. <i>Definition „Digitaler Zwilling“ und „Digitaler Schatten“ und deren Bezug zum Anlagenengineering und Anlagenbetrieb</i> .....	49
3.2. <i>Aktuelle Toolketten</i> .....	51
3.2.1. Im Anlagenengineering.....	52
3.2.2. In Instandhaltungsprozessen.....	53
3.3. <i>Aktueller Stand Datenmodellierung und Standards</i> .....	55

3.3.1.	AML.....	55
3.3.2.	AAS.....	58
3.3.3.	OPC UA Companion Specification .....	60
3.3.4.	eClass.....	64
3.3.5.	Weitere Standards zu Datenmodellen .....	65
3.3.6.	Zusammenwirken der Datenmodelle .....	66
3.4.	<i>Aktueller Übergang zwischen Engineering und Instandhaltung.....</i>	<i>67</i>
<b>4.</b>	<b>Stand der Technik aus Sicht der Industrie .....</b>	<b>70</b>
4.1.	<i>Planung Anlagenengineering .....</i>	<i>71</i>
4.2.	<i>Betrieb und Instandhaltung.....</i>	<i>73</i>
4.2.1.	Ersatzteilverwaltung und Wartungspläne .....	73
4.2.2.	Anlagenanbindung IoT.....	76
4.3.	<i>IT-Zielbilder in der Industrie.....</i>	<i>76</i>
4.4.	<i>Übergang zwischen Anlagenengineering und -betrieb.....</i>	<i>78</i>
<b>5.</b>	<b>Handlungsbedarfe und Forschungsfragen.....</b>	<b>80</b>
5.1.	<i>Prozessualer Übergang vom Anlagenengineering in den Anlagenbetrieb .....</i>	<i>80</i>
5.2.	<i>Notwendige Informationen für die Instandhaltungsprozesse .....</i>	<i>80</i>
5.3.	<i>Automatisierter Datenübergang? .....</i>	<i>81</i>
<b>6.</b>	<b>Idealprozess.....</b>	<b>82</b>
6.1.	<i>Idealprozess mit Fokus auf Daten.....</i>	<i>82</i>
6.2.	<i>Geschäftsobjektmodellierung mit domainübergreifendem Ansatz .....</i>	<i>87</i>
<b>7.</b>	<b>Dateninhalte und Datentransformation .....</b>	<b>91</b>
7.1.	<i>Notwendige Informationen für den Instandhaltungsprozess inkl. Datenverantwortung.....</i>	<i>95</i>
7.1.1.	Notwendige Informationen klassische Instandhaltung .....	96
7.1.2.	Notwendige Informationen I4.0 Use Cases .....	100
7.1.3.	Datenverantwortung und Fazit zu den Anforderungen aus dem Betrieb .....	103
7.2.	<i>Abgleich der geforderten Informationen mit vorhandenen Standards .....</i>	<i>105</i>
7.2.1.	Relevante Normen und Datenmodelle .....	105
7.2.2.	Attribute und deren Inhalte .....	107
7.2.3.	Hierarchie bzw. Struktur des Produktionssystems .....	111
7.3.	<i>Transformationsprozess der Dateninhalte vom Engineering in die Sprache der Instandhaltungssysteme.....</i>	<i>116</i>
7.3.1.	Übersetzung der neutralen Modelle in die Datenmodelle gängiger ERP-Systeme .....	116
7.3.2.	Übersetzung der neutralen Modelle in die Datenmodelle der Konfigurationssysteme für I4.0 Anwendungen.....	119
7.4.	<i>Ergebnis: Prozesse für Ermittlung von Transformationsregeln und Prozess der Durchführung der Datentransformation.....</i>	<i>119</i>
<b>8.</b>	<b>Definition Datenbibliotheken und Validierung anhand einer manuellen Datentransformation aus dem Engineering in ein für Betriebssysteme verständliches Format auf Basis von AML .....</b>	<b>122</b>
8.1.	<i>Definition der Rollenklassen .....</i>	<i>123</i>
8.2.	<i>Aufbau eines Beispiels .....</i>	<i>127</i>

---

8.2.1.	Ausgangssituation, Transformationsregeln und Ziel .....	127
8.2.2.	Modellierung des Datenmodells der Planung in AML .....	128
8.2.3.	Übersetzung in das Betriebsformat als AML-Modell.....	130
8.2.4.	Ergebnis der Verprobung mit AutomationML .....	136
<b>9.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>137</b>
9.1.	<i>Resümee .....</i>	<i>137</i>
9.2.	<i>Ausblick und weiterführender Forschungsbedarf.....</i>	<i>138</i>
9.2.1.	Rückführung aus Betrieb in die Planung.....	138
9.2.2.	Abbildung von Mappingregeln in Datenmodellen.....	139
9.2.3.	Erweiterung Datenmodelle der Instandhaltung.....	139
9.2.4.	Transformationswerkzeuge .....	139
9.2.5.	Menschen und Organisationen im Zusammenhang mit der Digitalisierung .....	139
9.2.6.	Datenökonomie und Energie-optimiertes Planen .....	140
<b>10.</b>	<b>References.....</b>	<b>i</b>
	<b>Anhänge .....</b>	<b>xi</b>
10.1.	<i>Eingabemasken für Equipment - Daten.....</i>	<i>xi</i>
10.2.	<i>Tabelle Daten Instandhaltung inkl. Verantwortung und Abgleich .....</i>	<i>xiv</i>
10.3.	<i>UML Diagramm Datenmodelle und Mapping .....</i>	<i>xvi</i>
10.4.	<i>Beispiel - Instandhaltungsspezifische Rollenklassen mit Mappingregeln in der Ref. Semantic.....</i>	<i>xvii</i>
10.5.	<i>Rollenklassen New in AML Editor .....</i>	<i>xxii</i>

## IV Abbildungsverzeichnis

### Abbildungen

Abbildung 1: Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik [1] .....	2
Abbildung 2: Durchgängiges Datenmanagement über alle Lebensphasen laut VDI-4499 Bl. 2 [2] .....	3
Abbildung 3: Geschichte der Produktion [5] .....	5
Abbildung 4: neue Anwendungsfelder aus Kombination Digitale Fabrik und Industrie 4.0 [13] .....	8
Abbildung 5: Hauptprozesse zur Entstehung und Betrieb von Produktionsanlagen .....	12
Abbildung 6: Veränderung Produktentstehung und Produktionsplanungsprozess [1].....	13
Abbildung 7: Struktur eines Produktionssystems nach [22].....	14
Abbildung 8: Tätigkeiten Engineering / Instandhaltung in Abh. der Anlagenstrukturebene (eigen) .....	15
Abbildung 9: Einordnung der Fabrikplanung in die Unternehmensplanung [24] .....	16
Abbildung 10: Produktentwicklung nach Clarc und Fujimoto [25] .....	18
Abbildung 11: Planungsphasen [25].....	18
Abbildung 12: Phasenmodell Planung und Realisierung [18] .....	19
Abbildung 13: Lebenszyklus Produktionssystem: Wechsel zwischen Engineering und Betrieb nach [23].....	20
Abbildung 14: Detailed Engineering und Simulation im V-Modell [29] .....	21
Abbildung 15: Werkzeuge der Digitalen Fabrik nach [25].....	22
Abbildung 16: Zuordnung Artefakte Engineering / Betrieb zu Hierarchiestufen nach [34].....	23
Abbildung 17: Engineeringprozess von Produktionsanlagen (vereinfacht) .....	24
Abbildung 18: Evolution der digitalen Produktentstehung [46].....	29
Abbildung 19: Instandhaltungsstrategien gemäß [15].....	31
Abbildung 20: Teilprozesse der Instandhaltung (vereinfacht) .....	32
Abbildung 21: Funktionskette Asset Management [55].....	33
Abbildung 22: Grundprinzipien Ganzheitliches Produktionssystem nach [57] .....	35
Abbildung 23: Lebenszykluskosten im Assetmanagement in Anlehnung an VDI 2884 [60]..	37
Abbildung 24: optimale Instandhaltungsstrategie nach [60] .....	38
Abbildung 25: Durchgängiges I4.0 Konzept [17] .....	38
Abbildung 26: Entwicklung der Instandhaltungsstrategien bis zu "Smart Maintenance" [64]	40

---

Abbildung 27: Lebenslaufakte - Informationsquellen über Lebenszyklus [65].....	42
Abbildung 28: Predictive Maintenance mit Digitalem Zwilling nach [70] .....	43
Abbildung 29: Lebenszyklusphasen des Produktionssystems nach VDI 4499 [1] .....	43
Abbildung 30: Produktdatenmanagement im Lebenszyklusmanagement [73].....	45
Abbildung 31: Zusammenhang Produkt und Fabriklebenszyklus nach Westkämper [73] .....	45
Abbildung 32: Fabriklebenszyklusmanagement nach Westkämper [73] .....	46
Abbildung 33: Digitale Produktion nach [74].....	46
Abbildung 34: Production in the Loop Plattform nach [75] .....	47
Abbildung 35: Zusammenwirken Engineering und Betrieb auf Datenebene (vereinfacht) ....	48
Abbildung 36: Digitaler Zwilling / Digitaler Schatten .....	51
Abbildung 37: AML Architektur - CEAX [117] .....	55
Abbildung 38: AML Basics: Internal Elements (Hierarchie und ID) .....	56
Abbildung 39: AML Basics: Attribute .....	57
Abbildung 40: AML Basics: external Reference .....	57
Abbildung 41: Informationsaustausch zweier Partner mit Hilfe der AAS [124] .....	59
Abbildung 42: OPC UA Zielapplikationen [62] .....	60
Abbildung 43: OPC UA Systemarchitektur [62] .....	61
Abbildung 44: OPC UA Objects Organization [125] .....	62
Abbildung 45: OPC UA Functional Group Type [126].....	62
Abbildung 46: OPC UA Überblick Interfaces für Komponenten [126] .....	63
Abbildung 47: OPC UA Hersteller Typenschild [126].....	63
Abbildung 48: eClass - Beispiel Klassifizierung [129] .....	65
Abbildung 49: eClass - Beispiel Attribute [129].....	65
Abbildung 50: Zusammenwirken AAS, AML und OPC UA [131] .....	67
Abbildung 51: Reduktion des digitalen Zwillings gemäß seiner Verwendung (in Anlehnung an [133]) .....	68
Abbildung 52: Einfache Struktur TP und EQUI in Instandhaltungssystemen .....	75
Abbildung 53: Komplexe Struktur TP und EQUI in Instandhaltungssystemen .....	75
Abbildung 54: Zielbild IT Datenaustausch .....	77
Abbildung 55: Pain Points Datenübergang Planung / Engineering zu Betrieb .....	79
Abbildung 56: Prozess mit Beispieldaten je Disziplin (eigene Darstellung).....	84
Abbildung 57: Prozessausschnitt mit exemplarischer Datenanreicherung (eigene Darstellung) .....	85
Abbildung 58: Prozess gesamt mit exemplarischer Datenanreicherung (eigene Darstellung) .....	86
Abbildung 59: Kafka Topics und Events [137].....	87



---

Abbildung 60: Prozess zur Definition von Geschäftsobjekten basierend auf Idealprozess (eigen) .....	89
Abbildung 61: Zusammenwirken Prozess, IT und Geschäftsobjekte bzw. Topics (eigen) ....	90
Abbildung 62: Prozess zur Ermittlung des Datenmodells / der Datenverantwortung und der Transformationsregeln (eigene Darstellung) .....	91
Abbildung 63: Farbcodes UML-Diagramm .....	93
Abbildung 64: "Usage" Beziehung in UML-Diagramm.....	94
Abbildung 65: Hinweise und Verantwortung UML Diagramm .....	94
Abbildung 66: Zielbild UML-Diagramm inkl. Mapping gesamt .....	95
Abbildung 67: Wartungsplan Teil 1 SAP [135].....	98
Abbildung 68: Wartungsplan Teil 2 SAP [135].....	98
Abbildung 69: Wartungsplan Teil 3 SAP [135].....	99
Abbildung 70: Manueller Prozess Abgriff Diagnosewerte für I4.0 .....	101
Abbildung 71: OPC UA Datenzuweisung in Inray OPC UA Router [142].....	102
Abbildung 72: Klasse "Equipment" .....	107
Abbildung 73: Klassen "Wartungsplan", "Arbeitsplan", "Vorgang" und "Material" .....	108
Abbildung 74: Klasse "OPC UA Config" .....	108
Abbildung 75: Klassen "Component Type - NEW" und "Component Instance - NEW" .....	109
Abbildung 76: Klassen "Component - Maintenance Descr. NEW .....	109
Abbildung 77: Klasse StructAutProdSystem – NEW .....	110
Abbildung 78: Strukturbaum zur Abbildung einer Anlagenhierarchie [156].....	112
Abbildung 79: Beispiel AML Hierarchie .....	113
Abbildung 80: Beispiel AML-Hierarchie erweitert .....	114
Abbildung 81: Beispiel AML-Hierarchie inkl. Rollenklassen.....	114
Abbildung 82: Beispiel AML Hierarchie inkl. Internal Link.....	115
Abbildung 83: Gesamtprozess Ermittlung Dateninhalte und Transformationsregeln (eigen) .....	119
Abbildung 84: Detailsicht Vorgang "Integration Transformationsregeln ..." (eigen).....	120
Abbildung 85: operativer Prozess der Datenübergabe und -transformation (eigen) .....	121
Abbildung 86: Beispielanlage.....	128
Abbildung 87: Aufbau Beispiel - Objekte und Hierarchie in AML .....	129
Abbildung 88: Aufbau Beispiel - Rollenklassen .....	130
Abbildung 89: Aufbau Beispiel - Attribute aus Rollenklassen .....	130
Abbildung 90: Aufbau Beispiel - spezifische Rollenklassen Instandhaltung.....	132
Abbildung 91: Aufbau Beispiel - Semantic Relations im AML Editor.....	133
Abbildung 92: Aufbau Beispiel - Semantic Relations im XML-Format .....	134
Abbildung 93: Aufbau Beispiel - Objekte der Instandhaltung.....	135

Abbildung 94: Aufbau Beispiel - fertige Instanz Instandhaltung.....	136
Abbildung 95: SAP Equipment Kopfdaten.....	xi
Abbildung 96: SAP Equipment Allgemeine Daten .....	xi
Abbildung 97: SAP Equipment Standortdaten.....	xi
Abbildung 98: SAP Equipment Standortdaten.....	xi
Abbildung 99: SAP Equipment Kontierung.....	xii
Abbildung 100: SAP Equipment Bezugsdaten .....	xii
Abbildung 101: SAP Equipment Herstellerdaten .....	xii
Abbildung 102: SAP Equipment Dokumente .....	xii
Abbildung 103: SAP Equipment Garantieinformationen .....	xiii
Abbildung 104: SAP Equipment Garantieinformationen .....	xiii
Abbildung 105: SAP Equipment Bestandsinformationen.....	xiii
Abbildung 106: SAP Equipment Strukturierung.....	xiv

## V Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation von Datenaustauschformaten gemäß VDI-4499 Bl.3 [4] .....	4
Tabelle 2: Strukturebenen Produktionssystem nach [23] .....	14
Tabelle 3: Zusammenfassung Inhalte Planungsschritte .....	27
Tabelle 4: OPC UA Objekte und Variablen Roboter [128] .....	64
Tabelle 5: OPC UA Variablen aus dem Betrieb Roboter [128] .....	64
Tabelle 6: AutomationML Eclass integration [155] .....	111
Tabelle 7: Zuordnung Objekte Technischer Platz / Equipment (eigen) .....	117
Tabelle 8: TagTable in AutomationML AR APC [158].....	123
Tabelle 9: Interface Tag in AutomationML AR APC [158].....	124
Tabelle 10: AML Rollenklasse NEU OPC UA Config (eigen).....	125
Tabelle 11: AML Rollenklasse NEU Comp_MaintDescriptionAdvanced (eigen).....	125
Tabelle 12: AML Rollenklasse NEU Comp_InstanceInformationAdvanced (eigen) .....	126
Tabelle 13: AML Rollenklasse NEU Comp_TypeInformationAdvanced (eigen).....	126
Tabelle 14: AML Rollenklasse NEU StructProdSystemAdvanced (eigen) .....	126
Tabelle 15: Übersetzung Technischer Platz / Equipment für Beispiel.....	128

## **VI Liste der Abkürzungen**

AML: Automation ML (Automation Markup Language)

CAD: Computer Aided Design (computergestütztes Erstellen von Zeichnungen)

CAE: Computer Aided Engineering

CAX: Computer Aided X (allgemein computergestützte Prozesse)

I 4.0: Industrie 4.0

DT: Digitaler Zwilling

DIN: Deutsches Institut für Normung

SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung

VIBN: Virtuelle Inbetriebnahme

VDI: Verein Deutscher Ingenieure

OPC UA: Open Platform Communication Unified Architecture

ERP: Enterprise Resource Planning

IEC: International Electrotechnical Commission

UUID: Universal Unique Identifier

GUID: Global Unique Identifier

TP: Technischer Platz in SAP Systemen

EQUI: Equipment in SAP Systemen

SIPOC: Methode zur Prozessanalyse (Supplier, Input, Process, Output, Customer)

# 1. Ausgangssituation und Vorgehen

## 1.1. Ausgangssituation

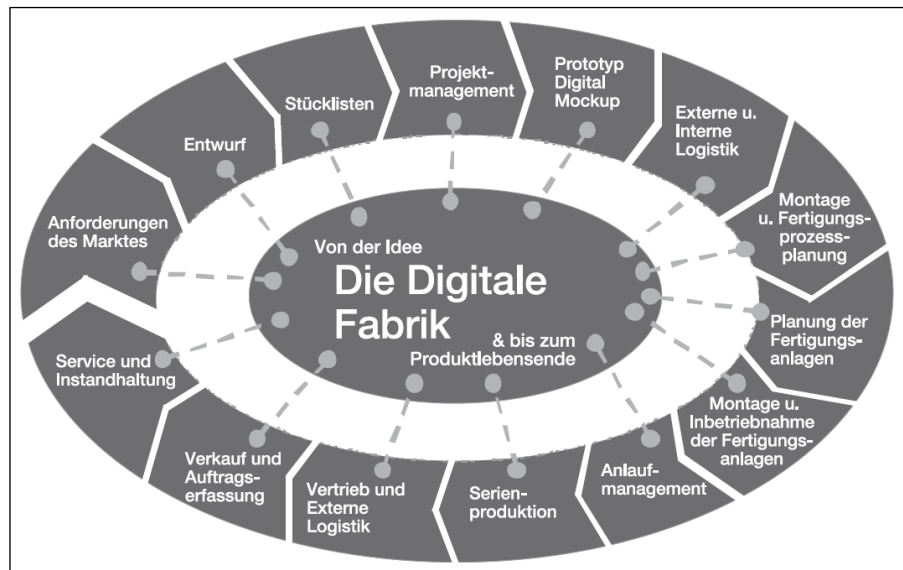
Die Digitalisierung im Produktionsbereich wird seit vielen Jahren vorangetrieben. Die persönliche Erfahrung zeigt, dass die Einordnung der wichtigsten Begriffe sowie die zeitliche Einordnung wichtiger Veränderungen der Vergangenheit, und der damit verbundenen objektiven Bewertung des Status Quo entscheidend für weiterführende Entwicklungen und Diskussionen sind.

### 1.1.1. Digitale Fabrik

Die Industrie befindet sich bereits seit nun über 10 Jahren in einem digitalen Transformationsprozess. Bereits im Jahre 2008 wurden die Grundlagen der Digitalen Fabrik in der VDI Richtlinie 4499 Blatt 1 [1] beschrieben. Die in der Richtlinie beschriebene Motivation ist bis heute die gleiche geblieben. Die immer komplexeren Produkte, sowie die immer kürzeren Zyklen bei deren Integration in den Produktionsprozess, machen neue Vorgehensweisen notwendig [1]. Gerade der aktuelle Wandel in der Automobilindustrie unterstreicht diese Motivation nochmals. Die immer kürzeren Innovationszyklen bei den Fahrzeugtechnologien fordern eine immer schnellere Integration dieser Technologien und Produkte in den Produktionsprozess.

Damals wurde bereits erkannt und festgelegt, dass unter der Digitalen Fabrik ein komplexes Zusammenwirken von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen für den gesamten Planungsprozess verstanden werden muss, sowie eine Anwendung bis zum Produktlebensende möglich ist. Ferner ist ein Zusammenspiel zwischen Produkt, Prozess und Ressource entscheidend. Der jedoch entscheidendste Anspruch ist die Integration aller dabei relevanter Informationen in einem durchgängigen Datenmanagement [1].

Mögliche Anwendungsgebiete und der Anspruch, viele Informationen vom Entwurf bis in den Instandhaltungsbetrieb mit einem Datenmanagement zu verknüpfen sind in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1: Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik [1]**

Die VDI Richtlinie 4499 [1] definiert unter anderem auch die für diese Arbeit entscheidende Lebenszyklusphasen von Produktionssystemen:

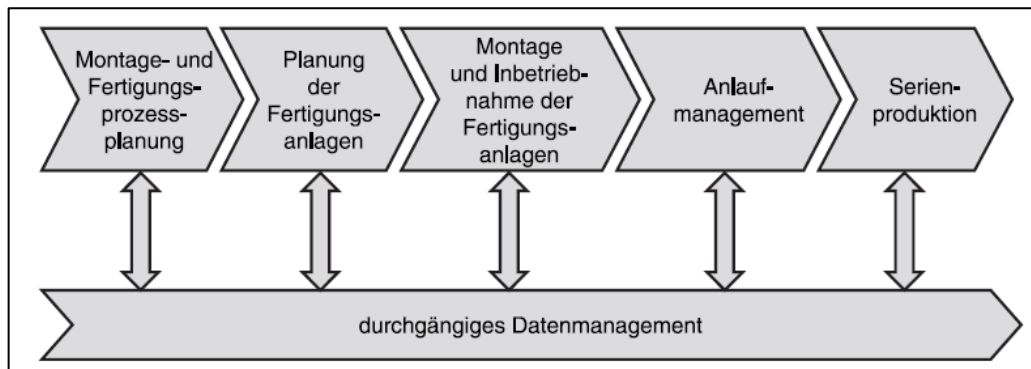
- **Produktionsplanung:** Dies beinhaltet alle Prozesse des Engineerings des Produktionssystems vom ersten Entwurf bis zum Aufbau in der Fabrik.
- **Produktionsanlauf:** Hierbei liegt der Fokus auf der Inbetriebsetzung und damit auf einem schnellen Hochlauf. Der Produktionsanlauf kann durch geeignete Simulationen unterstützt werden.
- **Produktionsbetrieb:** Der Fokus liegt hier auf der Herstellung und Lieferung des Produkts. Das Produktionssystem muss instandgesetzt und kontinuierlich verbessert werden.

Blatt 1 der VDI 4499 betrachtet im Weiteren überwiegend den Planungsprozess sowie die dafür notwendigen Prozessänderungen und organisatorischen Maßnahmen. Hinsichtlich der Einführung einer Systemarchitektur sowie beim Design eines Datenmanagements werden lediglich mögliche Beispiele aufgezeigt, sowie eine grobe Auflistung der Anforderungen beschrieben.

Im Jahr 2011 erschien das Blatt 2 der VDI Richtlinie 4499 [2]. Der Fokus liegt hierbei auf dem digitalen Fabrikbetrieb; also dem Aufbau und der Nutzung der geplanten und realisierten Produktionssysteme.

Ein entscheidender Anspruch in Blatt 2 ist wieder das durchgängige Datenmanagement zwischen allen planenden und betreibenden Disziplinen und Anwendungen (siehe Abbildung 2). Die beiden letzten Prozessschritte (Anlaufmanagement und Serienproduktion) stellen

bereits den Übergang des Produktionssystems in den Betrieb dar. Ab hier werden die Prozesse der Instandhaltung relevant.



**Abbildung 2: Durchgängiges Datenmanagement über alle Lebensphasen laut VDI-4499 Bl. 2 [2]**

Das durchgängige Datenmanagement ermöglicht z.B. die effiziente Nutzung von Simulationen (virtuelle Inbetriebnahme,...), eine erfolgreiche reale Inbetriebnahme, sowie ein optimiertes Anlaufmanagement [2]. Ein erfolgreicher Anlauf von Produktionssystemen steht eng mit einem erfolgreichen Übergang von Informationen und dem Managen von Wissen im Zusammenhang [3].

Die VDI-Richtlinie beschreibt hier die notwendigen Voraussetzungen für ein entsprechendes Datenmanagement:

- Konzepte für Datenmodelle: Hierbei wird zwischen zwei Varianten unterschieden. Eine zentrale Datenbasis und ein dezentraler Ansatz. Beim zentralen Ansatz werden alle Daten aller beteiligter Tools an einer Stelle gehalten. Daraus sind Probleme bei der Kompatibilität und der firmenübergreifenden Kollaboration zu erwarten, wenn verschiedene Tools von unterschiedlichen Herstellern entwickelt werden. Der dezentrale Ansatz ermöglicht die Datenhaltung im jeweiligen Datenformat des Toolherstellers und sorgt mit normierten Schnittstellen und Methoden für die gegenseitige Bereitstellung von Informationen.
- Infrastruktur: für die entsprechenden Konzepte der Datenmodelle müssen passende IT – Infrastrukturen aufgebaut werden. Wichtig ist, dass die unterschiedlichen Sprachen der Tools (siehe dezentraler Ansatz) ineinander übersetzt bzw. gemappt werden können.

In Blatt 3 der VDI Richtlinie 4499 aus dem Jahr 2016 werden das Datenmanagement und die Systemarchitektur behandelt [4]. Der Fokus liegt hierbei auf vorbereitende „organisatorische“ Maßnahmen, der Konzepterstellung, dem Datenmodell, sowie der Vorgehensweise bei der Umsetzung.

Dabei werden Datenaustauschformate in 4 Klassen unterteilt, wie in Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1: Klassifikation von Datenaustauschformaten gemäß VDI-4499 Bl.3 [4]**

Klassifikation der Datenaustauschformate	Beispiele
Herstellerspezifische (proprietäre) Formate	DXF, 3DS, 3D XML
De-facto-Standards	Format Wavefront Object (.OBJ); PLM XML
Herstellerunabhängige, nicht standardisierte Datenformate	IGES, AutomationML
Herstellerunabhängige, standardisierte Datenformate	STEP, VRML, CAEX, JT

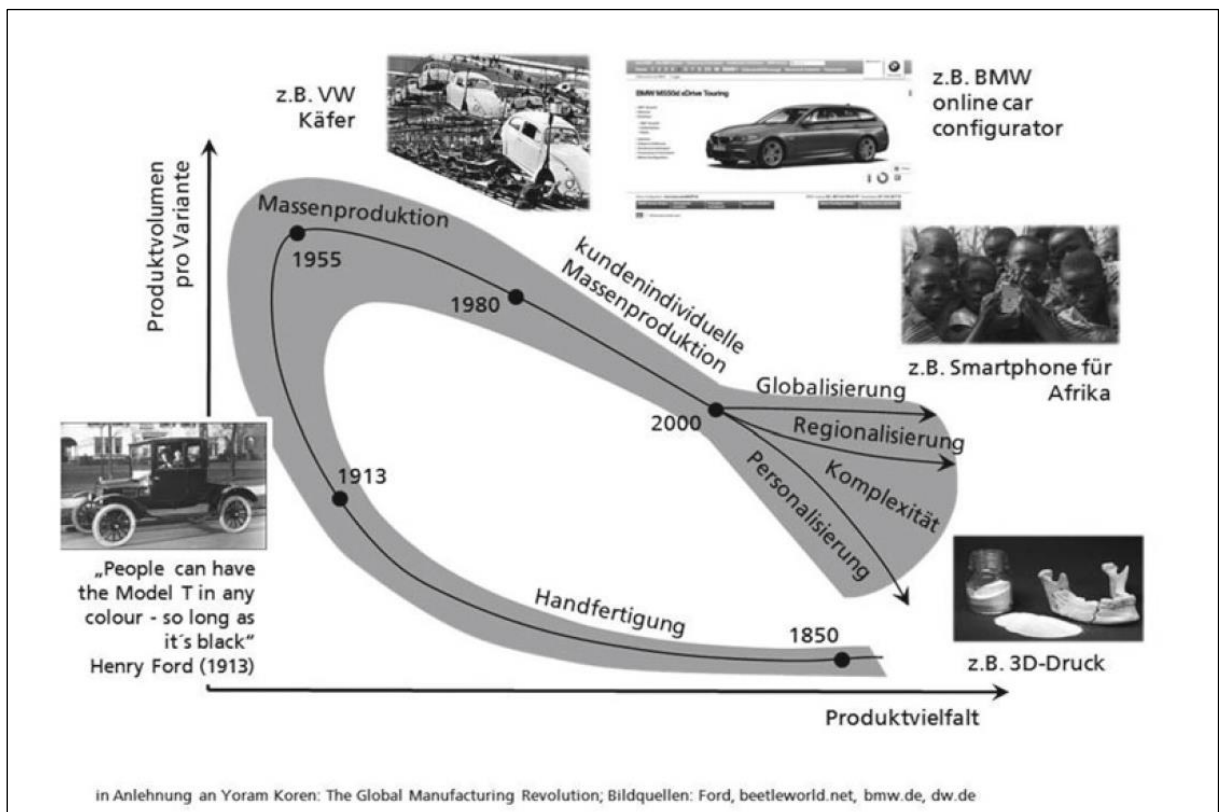
In der Industrie haben sich die De-facto-Standards durch eine hohe Marktdurchdringung etabliert und werden von den meisten Tools unterstützt. Herstellerunabhängige, nicht standardisierte Formate werden von vielen Herstellern und Nutzergruppen gemeinsam entwickelt, unterliegen aber keiner formalen Standardisierung. Die herstellerunabhängigen, standardisierten Datenformate sind hingegen mit entsprechenden Normen abgesichert [4].

Im Weiteren sind in Blatt 3 der VDI-Richtlinie Prozesse zum Vorgehen sowie technische Empfehlungen aufgeführt, jedoch keine konkrete Umsetzung beschrieben.

### **1.1.2. Industrie 4.0**

Neben der Standardisierung von Datenmodellen sowie der Digitalisierung der Planung wird die Produktion in der Industrie seit einigen Jahren von einem zweiten Themenfeld geprägt: Industrie 4.0

Aufgrund immer höherer Nachfrage an produzierte Güter, sowie dem stetigen Kostendruck in der Produktion und der steigenden Individualisierung müssen hierbei etablierte Verfahren überdacht werden [5].



**Abbildung 3: Geschichte der Produktion [5]**

Abbildung 3 stellt in einer weit verbreiteten Art die Entwicklung der Produktvielfalt und des Produktvolumens pro Variante in Abhängigkeit der Zeit dar.

Hierbei ist zu erkennen, dass zu Beginn in Handfertigung eine hohe Produktvielfalt realisiert wurde. Mit der Einführung z.B. von Fließbandarbeit wurde die Massenproduktion vorangetrieben. Daraus ergab sich jedoch die Einschränkung, dass die Produkte einem Standard folgten, und somit die Produktvielfalt abnahm, aber im Gegenzug die Volumina pro Variante stark anstiegen.

Danach wurden Produkte für viele Kunden individualisierbar. Ein typisches Beispiel ist hierbei ebenfalls die Automobilindustrie. In Konfiguratoren können Sonderausstattungen gewählt sowie Farben und Felgen ausgesucht werden.

Diese eindeutige Entwicklung setzt sich in der Zukunft nicht mehr fort. Die Industrie muss einen Spagat zwischen verschiedenen Anforderungen meistern. Dies führt dazu, dass neben der standardisierten Massenproduktion auch stark individualisierte Produkte bis zur Losgröße Eins bereitgestellt werden müssen. Ferner ist zu erwarten, dass die Komplexität der Produkte drastisch zunimmt sowie die Innovationszyklen stark verkürzt werden [5, 6].



Diese durch Gesetzte und Verbraucherverhalten getriebene Änderungen führen zu einer gewaltigen Veränderung in den bisher bekannten Produktionssystemen. Die bekannten Produktionssysteme werden sich dafür in smarte Fabriken verwandeln müssen [6].

[5] beschreibt „CPS“ als Basis der Smarten Fabrik. Diese cyber-physischen Systeme zeichnen sich laut [5] durch folgende Eigenschaften aus:

- Es handelt sich um Objekte, Geräte, ... aber auch um Produktionsanlagen und Logistikkomponenten.
- Sie können untereinander z.B. über das Internet kommunizieren.
- Sie erfassen die Umwelt mit Sensorik. Die erfassten Daten können mit weltweiten Informationen ausgewertet werden.
- Menschen können über Schnittstellen mit den CPS interagieren.
- Sie können sich selbst optimieren und im Zusammenspiel mit dem Menschen eigenständig Probleme lösen und sich in Echtzeit optimieren.

Gerade der letzte Punkt nimmt in der Industrie einen wichtigen Platz ein. Die hohe Nachfrage und die hohe Komplexität im Produktionssystem wirken sich in der Regel negativ auf die Robustheit derer aus. Daher sind selbstlernende Optimierungsmöglichkeiten wie z.B. die vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance) ein wichtiger Baustein.

Das Handbuch Industrie 4.0 [5] beschreibt weiter die Auswirkungen dieser CPS auf die Planung von Fabriken. Dabei bilden die Planung und die Umsetzungen einen Regelkreis. Dabei setzt die Planung auf realitätsnahen verschiedenen Modellen (z.B. Menschmodell) auf, die miteinander verschmelzen.

### **1.1.3. Status Quo**

Die VDI-Richtlinie 4499 beschreibt somit das ideale Bild der Digitalen Fabrik vom Entwurf bis zum Produktionsende. Auf ihrer Basis wurden im letzten Jahrzehnt viele Konzepte und prototypische Umsetzungen vorangetrieben. Die persönliche Erfahrung zeigt jedoch, dass ein industrieller Einsatz in der Fläche derzeit nicht erkennbar ist. Dies gilt v.a. für das Idealbild des durchgängigen Datenmanagements.

In Bezug auf Industrie 4.0 zeigt die Erfahrung aus der Praxis, dass zu diesen Themengebieten viele wertvolle Innovationen entstehen. Predictive Maintenance sowie entsprechende KI - Anwendungen werden in vielen Pilotenanwendungen umgesetzt. Dennoch zeigt sich in der Praxis, dass dies teuer erkauft wird. Der Aufbau der Systeme ist komplex und fordert einen hohen Einsatz hochqualifizierter Arbeitskräfte die in vielen manuellen Schritten die Lösungen aufbauen.

Mehrere Umfragen und Studien schätzen den aktuellen Status der Digitalisierung bzw. der Umsetzung von Industrie 4.0 folgendermaßen ein:

In „Industrie 4.0: Status Quo und Perspektiven“ [7] geben die meisten Unternehmen einen zu hohen Investitionsbedarf und ein zu wenig qualifiziertes Personal als größte Hindernisse von Industrie 4.0 an. Der Nutzen wird hingegen nicht angezweifelt.

In der „Studie Industrie 4.0“ [8] werden folgende Ergebnisse publiziert:

- Bisherige I4.0 Projekte sind am Ende erfolgreich
- Aber über 60% der Projekte verlaufen mit Problemen
- An Datendurchgängigkeit und Datensicherheit werden hohe Erwartungen gestellt bzw. werden gefürchtet
- In 63 % der Unternehmen kommt es zu starken oder sehr starken Investitionssteigerungen durch I4.0
- Bei den organisatorischen Herausforderungen dominieren fehlende Fähigkeiten der Mitarbeiter sowie die Veränderung von Unternehmensorganisationen oder Geschäftsprozessen

In „Digitalisierungsindex Mittelstand 2019/2020 - Der digitale Status Quo des deutschen Mittelstands“ [9] werden ebenfalls die hohen Investitionskosten, die Sicherstellung des Datenschutz bzw. der IT-Sicherheit sowie Zeitmangel als Gründe ermittelt, warum die Digitalisierung ein langfristiger Kraftakt ist.

Die Studien zeigen, dass die 4. industrielle Revolution und das Internet of Things in den Unternehmen hoch priorisiert, aber auch hoch brisantes Thema geworden sind. Um diese aber erfolgreich meistern zu können ist es entscheidend, dass die Erfolgsquote der Projekte steigt, die Kosten stark reduziert werden und die Mitarbeiter die Veränderungen verstehen und treiben. Die ersten beiden Aspekte können durch einen stärkeren Fokus auf den automatisierten Aufbau bzw. die automatisierte Konfiguration von I4.0 Systemen unterstützt werden. Diese bedingt eine höhere Investition in die Schaffung von Grundlagen für einen entsprechenden Datenaustausch (siehe Kapitel 2.2.4 und 3.4).

## 1.2. Motivation

Die Digitalisierung ist sowohl in der Industrie, der Politik, der Forschung und der gesamten Gesellschaft ein omnipräsentes Thema. Die Europäische Kommission hat mit dem „Horizon Europe“ Programm die Forschungs- und Innovationsfelder der kommenden Jahre für Europa identifiziert. Dabei stellt die Digitalisierung im Industrieumfeld eine wichtige Basis für zukünftige Innovationen wie beispielsweise Data Analytics, Artificial Intelligence aber auch intelligente Energiesysteme dar [10].

### 1.2.1. Die Sicht der Industrie

Eine nun über 15-jährige Berufserfahrung dauerhaft in der Entwicklung und Planung von Produktionsanlagen sowie im Bereich der Digitalisierung der Planung haben mir vor Augen geführt, dass die Ziele der Digitalen Fabrik sowie Industrie 4.0 (siehe Kapitel 1.1) noch lange nicht erreicht sind. Ein durchgängiges Datenmodell ist nicht etabliert und der Aufbau von Industrie 4.0 Anwendungen verursacht einen hohen Aufwand [11].

Die berufliche Praxis und Expertengespräche haben gezeigt, dass gerade bei den Instandhaltungsprozessen derzeit eine erhebliche Verschwendung durch die hohe Zahl an manuellen Datentransformationen stattfindet. Das Potential wird hier stark unterschätzt. Der aktuelle Stand wird in den Kapiteln 2.2.4 und 3.4 im Detail beschrieben.

### 1.2.2. Zukunftsvision „Digitale Fabrik“

[12] beschreibt in „Zukunftspapier „Die Digitale Fabrik als Basis für Industrie 4.0 – Chancen und Nutzenpotenziale““ den Nutzen der Digitalen Fabrik für die Industrie 4.0.

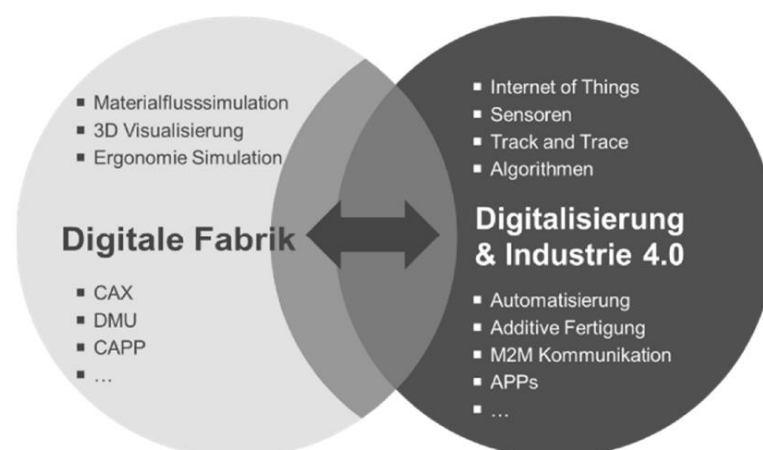


Abbildung 4: neue Anwendungsfelder aus Kombination Digitale Fabrik und Industrie 4.0 [13]

Abbildung 4 zeigt neue Anwendungsfelder und das Zusammenwirken der Digitalen Fabrik mit Industrie 4.0.

Es werden klar die Potentiale beschrieben, die durch eine Bereitstellung der Digitalen Fabrik für Industrie 4.0 über ein gemeinsames Datenmanagement entstehen:

- Bereitstellung von Planungsmodellen: Die Daten aus der Digitalen Fabrik können zur Konzeption und Dimensionierung von I4.0 – Use Cases genutzt werden.
- Digitale Fabrik als Enabler für die „wandlungsfähige Fabrik“: Kleine Losgrößen bedingen eine schnelle und kostenminimale Produktionsplanung. Die digitale Fabrik ermöglicht dies.
- Integration von Daten aus dem Fabrikbetrieb in die Digitale Fabrik: Die Digitale Fabrik kann durch ein gemeinsames Datenmanagement mit Informationen aus dem Betrieb angereichert werden.
- Digitale Fabrik liefert Teilmodelle für Digitale Zwillinge.
- Digitale Fabrik als Testumgebung für Industrie 4.0-Anwendungen: Die virtuelle Inbetriebnahme in der Anlagenplanung und dem Anlagenengineering ist eine bewährte Methode. Dies kann mit Daten der digitalen Fabrik auf I4.0 Anwendungen ausgeweitet werden.

### **1.2.3. Veränderung der Instandhaltung**

Eine zentrale Rolle im Fabrikbetrieb stellt die Instandhaltung dar. Die Instandhaltung wartet und verändert das Produktionssystem und verantwortet dessen Verfügbarkeit [14, 15]

Mit den industriellen Revolutionen verändert sich das Bild des Instandhalters und des Instandhaltungsprozesses [16]:

In der ersten industriellen Revolution handelte es sich meist um mechanische Maschinen mit bewegten Komponenten. Gerade die mechanischen Systeme litten unter hohem mechanischem Verschleiß. Daher war eine Instandsetzung bei Fehlfunktion oder Defekt eine bekannte Tätigkeit. Jedoch gab es weder spezielle Prozesse, Fachkräfte noch Strategien dafür. Meist wurden die Tätigkeiten direkt vom Produktionspersonal durchgeführt [16].

In der zweiten industriellen Revolution wurden die Aufgaben von Produktion und Instandhaltung getrennt. Die Instandhalter wurden seitdem speziell für ihre Aufgabe geschult. Zusätzlich hielt die Elektrik zunehmend Einzug in die Maschinen, was eine weitere Spezialisierung notwendig machte. Nicht zuletzt durch die vielen Kriege in Zeiten der 2. Industriellen Revolution wurden die Instandhaltungsmaßnahmen in Form von Wartungs- und Inspektionsplänen festgelegt und dokumentiert [16].

In den Zeiten nach den beiden Weltkriegen sind gerade in Amerika und Japan neue Instandhaltungsprozesse eingeführt worden. Neben der normalen Behebung von Störungen

und Defekten wurden präventive Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt. Getrieben wurde die Entwicklung durch höhere Ansprüche an Qualität und Verfügbarkeit [16].

Diese „Übergangsphase“ mündete in die dritte industrielle Revolution.

Die steigende Automatisierungstechnik ist hierbei die bedeutendste Veränderung. Richtet man den Blick auf die Instandhaltung, so wurden erstmals die Grundlagen der Instandhaltung in Industrienormen beschrieben und festgesetzt. Die größte Veränderung im Aufgabenbild ist aber dessen Erweiterung um das stetige Weiterentwickeln und Anpassen der Maschinen und Anlagen sowie die ersten Grundzüge der vorhersehenden Instandhaltung. Die steigende Automatisierungstechnik führte gegen Ende der dritten industriellen Revolution dazu, dass Zustände von Anlagen und Maschinen überwacht werden können [16].

Die derzeit im Gange befindliche vierte Industrielle Revolution basiert auf einer deutlichen stärkeren Vernetzung aller Datenpunkte sowie einer Analyse von großen Datenmengen. Dies ermöglicht genauere Vorhersagen bei sich abzeichnenden Defekten oder Wartungsarbeiten. Der Instandhalter bekommt somit ein weiteres Aufgabengebiet hinzu. Die Digitalisierung. Dies wird flankiert durch neue Geschäftsmodelle und Prozesse. Systeme lernen selbständig und KIs planen Instandhaltungsmaßnahmen [16].

Der Instandhalter wird somit mehr und mehr zu einem Manager über die Assets (Bauteile) einer Maschine oder Anlage und muss Schritt für Schritt für diese neue Welt qualifiziert werden [17]. Ferner ist der „Digitale Zwilling“ das Schlüsselement für die neuen Prozesse in der digitalen Instandhaltung [17].

Der hauptsächliche Treiber hinter den stetigen Veränderungen der Instandhaltung sind höhere Qualitätsanforderungen, die steigenden Ziele hinsichtlich Verfügbarkeit und die gesteigerte Umsetzungsgeschwindigkeit [16].

#### **1.2.4. Fazit**

Die vorhergehenden Kapitel haben die Veränderungen sowohl im Bereich der Digitalen Fabrik wie auch im Instandhaltungsprozess sowie im Umfeld von Industrie 4.0 aufgezeigt.

Die zentrale Erkenntnis daraus ist, dass sowohl der Engineerings- bzw. Planungsprozess der Produktionssysteme sowie die Prozesse in der Betriebsphase von den jeweiligen Nutzergruppen getrennt voneinander betrachtet und optimiert werden. Das Zusammenwirken wird dabei oft als Zukunftsvision mit erheblichen Potentialen von beiden Nutzergruppen beschrieben.

Jedoch gibt es zu dieser Herausforderung noch keine Lösung. Ohne diese „Brücke“ zwischen Engineering bzw. Planung und der Betriebsphase werden sämtliche Digitalisierungslösungen weiterhin auf massiven manuellen Transformationen beruhen. Dies birgt das Risiko, dass

gerade die Digitalisierung in der Betriebsphase (Instandhaltung, Industrie 4.0) aus Kosten und Know-How Gründen eine Limitierung erfährt.

Es muss daher zwingend diese „Brücke“ aufgebaut werden. Diese Arbeit bildet hierfür die Grundlage in Form eines idealen Datenmodells sowie Lösungen für die Datentransformation inkl. einer konkreten Umsetzung in einem industrienahen Beispiel.

### **1.3. Vorgehen**

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf Datenmodellen sowie Prozessen rund um die Produktionsplanung und den Produktionsbetrieb. Das Ziel ist es, das Vorgehen für die Ermittlung der relevanten Informationen zu definieren sowie Lösungen für die Übersetzung der Daten in das Zielformat zu erarbeiten.

Daher werden in Kapitel 2 die Grundlagen mit dem Fokus auf die Prozesse erläutert. Diese Grundlagen grenzen damit auch den Betrachtungsumfang dieser Arbeit ein. Die Prozesse definieren indirekt auch den Datenfluss sowie die Toollandschaft. Daher ist die Transparenz über die Prozesse entscheidend für die spätere Datenmodellierung.

Kapitel 3 befasst sich mit dem aktuellen Stand der Technik. Der Fokus liegt auf gängigen Datenmodellen sowie entsprechenden Toolketten in den einzelnen Prozessen. Ferner werden die Definitionen von „Digitaler Zwilling“ und „Digitaler Schatten“ für diese Arbeit geschärft. Ziel ist es, einen Überblick über vorhandene Lösungen zu erhalten, um später Bedarfe an Neuentwicklungen zu erkennen.

Kapitel 4 gibt einen Einblick über aktuelle Toolketten in der Industrie. Die Erkenntnisse basieren auf persönlicher Expertise sowie auf einer Vielzahl von Workshops und Interviews mit den jeweiligen Spezialisten in ihrer Disziplin. Der Blickwinkel aus der Industrie zeigt, wie reif die vorhandenen Lösungen sind und wie breit sie eingesetzt werden. Außerdem können darüber die Anforderungen direkt vom Anwender aufgenommen werden.

Aus den Kapiteln 1 bis 4 wird in Kapitel 5 der entsprechende Handlungsbedarf ermittelt. Dieser Handlungsbedarf führt direkt zu den konkreten Forschungsfragen, die mit dieser Arbeit beantwortet werden.

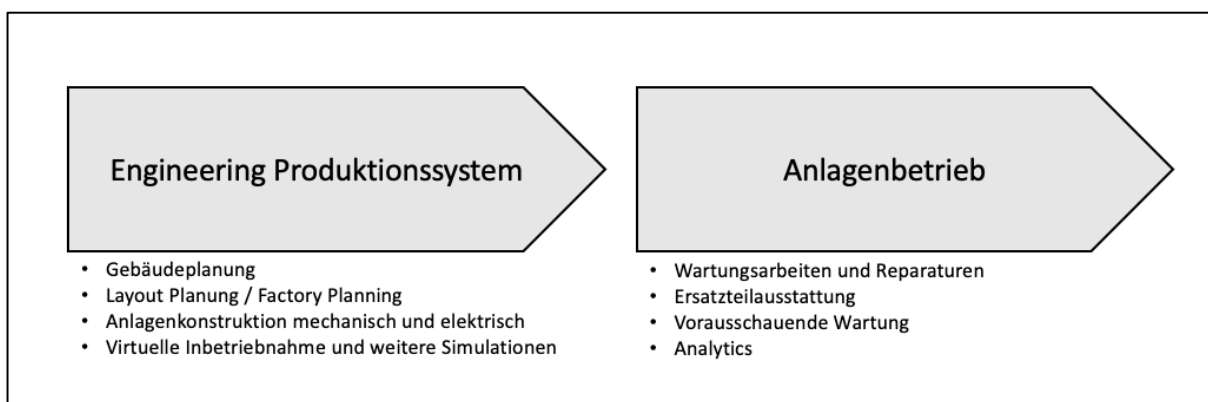
Das Kapitel 6 und die folgenden Kapitel beinhalten die Lösung der Forschungsfragen inkl. einer prototypischen Umsetzung der Datentransformationen. Hierbei definieren die Prozesse wieder den Inhalt der Daten. Die Umsetzung soll die Durchführbarkeit des neuen Prozesses belegen sowie u.U. weitere Anforderungen hervorbringen.

Da diese Arbeit die Grundlage für weitere Felder bietet, werden die Ergebnisse in Kapitel 9 zusammengefasst und der weiterführende Forschungsbedarf beschrieben.

## 2. Grundlagen: Aktueller Stand Prozesse und Inhalte

Im Themenfeld des Produktionssystems, z.B. einer Fahrzeugfertigung, wird in vielen Unternehmen und deren Prozessen stark zwischen zwei Hauptprozessen unterschieden. Im ersten Hauptprozess, der Anlagenentstehung oder auch dem Anlagenengineering bzw. der Anlagenplanung, entsteht das Produktionssystem. Darin sind alle Schritte von der Gebäudeplanung über die ersten Layoutskizzen bis hin zur mechanischen und elektrischen Konstruktion sowie der Softwareentwicklung enthalten. Nach der erfolgreichen Inbetriebnahme wird das Produktionssystem oder die einzelne Produktionsanlage an den Betreiber übergeben. Mit der Inbetriebnahme erfolgt der Übergang in den 2. Hauptprozess, den Anlagenbetrieb. Der Betreiber verantwortet die Schulung und Einweisung der Mitarbeiter, die Bedienung der Produktionsanlagen sowie Wartung und Reparatur der Produktionsanlagen. Seit einigen Jahren hat der Betreiber durch Industrie 4.0 Errungenschaften wie Predictive Maintenance außerdem eine neue Verantwortung für Daten und deren Analyse erhalten (siehe Kapitel 1.2.3.).

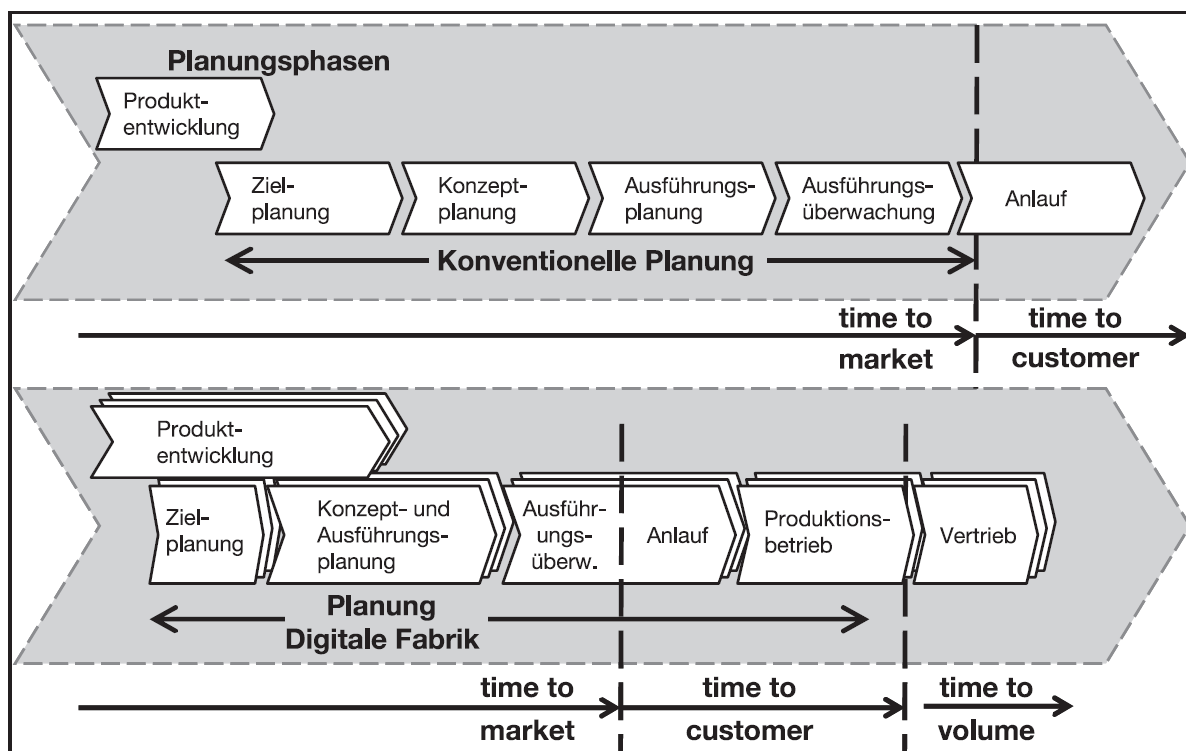
Beide Hauptprozesse werden von den jeweiligen Nutzergruppen mehr und mehr digitalisiert [18, 19] [17, 20, 21]. Da die Nutzergruppen unterschiedliche Ziele verfolgen, unterschiedliche Ausbildung erhielten und in unterschiedlichen Unternehmensbereichen organisiert sind, sind die digitalen Lösungen derzeit selten miteinander kompatibel. Auch in externen Gremien und Verbänden werden die beiden Hauptprozesse oft voneinander getrennt betrachtet.



**Abbildung 5: Hauptprozesse zur Entstehung und Betrieb von Produktionsanlagen**

Bei einem genaueren Blick auf die Dateninhalte der beiden Hauptprozesse lässt sich aber feststellen, dass viele Informationen voneinander abhängen. Dies führt dazu, dass derzeit eine Vielzahl an Informationen von den Betreiberorganisationen händisch aus dem Anlagenengineering übernommen werden, was fehleranfällig und aufwändig erscheint. Bei einer Änderung der Produktionsanlage stehen die Planungs- und die Engineeringdisziplinen vor der Herausforderung, die im Betrieb veränderten Daten wieder in den Engineeringprozess zurückzuführen; ebenfalls manuell.

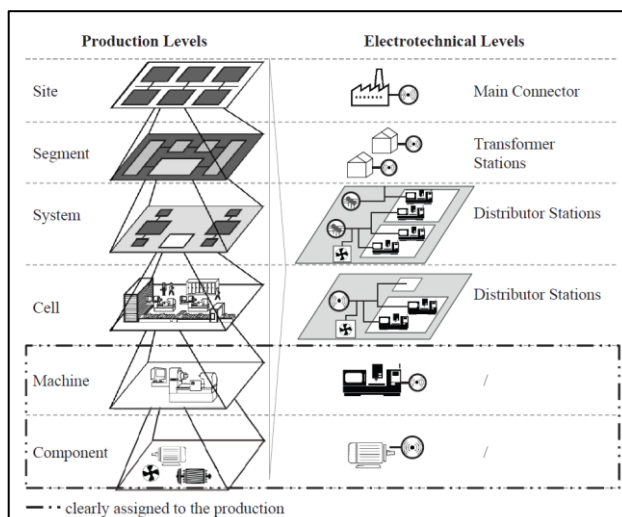
Die VDI 4499 stellt in Blatt 1 [1] bereits eine Kombination aus der Ausführungsüberwachung (also einem stark planerischen Bezug) und des Anlaufs (konkreter Übergang an die Instandhaltung) als zukünftigen Prozess dar. Abbildung 6 zeigt die Planungsphasen der Konventionellen Planung sowie die Planung unter den Bedingungen der Digitalen Fabrik, in der die Prozesse parallelisiert werden, und damit die Planungszeit inkl. der Übergabe in den Produktionsbetrieb deutlich verkürzt werden. Bevor jedoch ein perfekter Übergang von instandhaltungsrelevanten Daten aus dem Engineering in den Betrieb definiert werden kann, müssen beide Hauptprozesse genauer betrachtet werden.



**Abbildung 6: Veränderung Produktentstehung und Produktionsplanungsprozess [1]**

Dabei ist entscheidend, dass das Produktionssystem bzw. eine Produktionsanlage auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen betrachtet werden kann. [22] beschreibt die Struktur wie in Abbildung 7 dargestellt. Dabei wird das Produktionssystem in mehrere Strukturebenen eingeteilt. Vom Werk (Standort) bis zur einzelnen Komponente (z.B. Motor oder Sensor) eines bestimmten Herstellers. Details zur Struktur des Produktionssystems und zu dessen Auswirkungen auf die Datenwelt werden in Kapitel 7.2.3 behandelt.





**Abbildung 7: Struktur eines Produktionssystems nach [22]**

Je nach Strukturebene werden in der praktischen Anwendung unterschiedliche Informationen für unterschiedliche Tätigkeiten herangezogen. Damit ist es entscheidend, dass diese Ebenen zwischen Engineering und Instandhaltung abgestimmt bzw. übersetzbar sind. Nur auf diese Weise können die korrekten Informationen an der erwarteten Strukturebene hinterlegt werden. Eine weitere Unterteilung der verschiedenen Ebenen wird in [23] behandelt. Dabei werden 9 Layer identifiziert (siehe Tabelle 2: Strukturebenen Produktionssystem nach [23])

**Tabelle 2: Strukturebenen Produktionssystem nach [23]**

	Layer	Characterization
9	Production network	Includes the strategic and long term sales planning of the products of a company
8	Factory	Considers the entire range of activities and facilities required to produce end products or an intermediate good
7	Production line	Enables a distinction among different sections of a production system which are producing and processing components of the end product using different manufacturing technologies
6	Production line segment	Connection of different Work Units via buffers. Thereby, disturbances within the product/component/material flow can be controlled
5	Work unit	Executes the smallest non-divisible process in producing the end product
4	Work station	Represents the manufacturing related realization of a set of value adding and auxiliary functions required for the smallest non-divisible process
3	Function group	Represents the technical realization of one value adding or auxiliary function required for the smallest non-divisible process
2	Component	Enables the smallest non-divisible process
1	Construction element	Are not enabling the fulfillment of the smallest non-divisible process directly but enable the Component to provide their functionality

Abbildung 8 zeigt einen reduzierten Überblick über die Tätigkeiten, die durch das Engineering und die Instandhaltung auf der jeweiligen Strukturebene durchgeführt werden. Diese Vereinfachung nutzt einen Großteil der Layer aus [23], spiegelt aber eine reale Situation aus der Praxis wieder. Für die späteren Kapitel wird diese vereinfachte Variante herangezogen.

	<b><u>Engineering:</u></b>	<b><u>Instandhaltung:</u></b>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; width: 100%;">Werk</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; width: 80%;">Gebäude / Fertigungsbereich</div>	Architektur, Gebäudeplanung, Fabrikplanung	Verortung der Anlagen in Gebäuden / Produktionsstruktur
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; width: 60%;">Anlagenkennung</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; width: 70%;">Station</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; width: 50%;">Funktionseinheit</div>	Anlagenengineering nach Disziplinen: Layout, Mechanik, Elektrik	Störungsbehebung / Wartung. Nutzung Handbuch, Stromlaufpläne, Software und Zeichnungen
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; width: 40%; background-color: #ffff00;">Komponente</div>	Komponentenauslegung, Komponentenauswahl, technische Daten	Ersatzteilbeschaffung und Wartung, Obsoleszenzmanagement, Ersatzteilstrategien

**Abbildung 8: Tätigkeiten Engineering / Instandhaltung in Abh. der Anlagenstrukturebene (eigen)**

## 2.1. Prozesse und Inhalte Anlagenengineering

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den notwendigen Daten aus Sicht der Instandhaltungsprozesse. Aus diesem Grund wird der Planungsprozess lediglich oberflächlich beschrieben. Es werden lediglich die Informationen dargestellt, die für das Gesamtverständnis einer Anlagenentstehung und der damit verbundenen Anforderungen aus dem Instandhaltungsprozess notwendig sind.

### 2.1.1. Prozess Fabrikplanung

Das Anlagenengineering oder auch die dafür notwendigen planerischen Aspekte werden in der Literatur oft mit der Fabrikplanung oder der digitalen Produktentstehung gleichgesetzt.

Die ganzheitliche Fabrikplanung nach Pawellek [24] beschreibt die gesamte Unternehmensplanung und die Entstehung eines neuen Produkts als komplexes Zusammenwirken von Produktinformationen, der Technologie, der Organisation, der Mitarbeiter sowie der Finanzen und der Anlagentechnik (siehe Abbildung 9).

Das Fabrikmanagement, die Kontrolle des Planungserfolges und der kontinuierliche Verbesserungsprozess werden außerhalb der Fabrikplanung verortet und dem Betrieb zugeordnet [24].

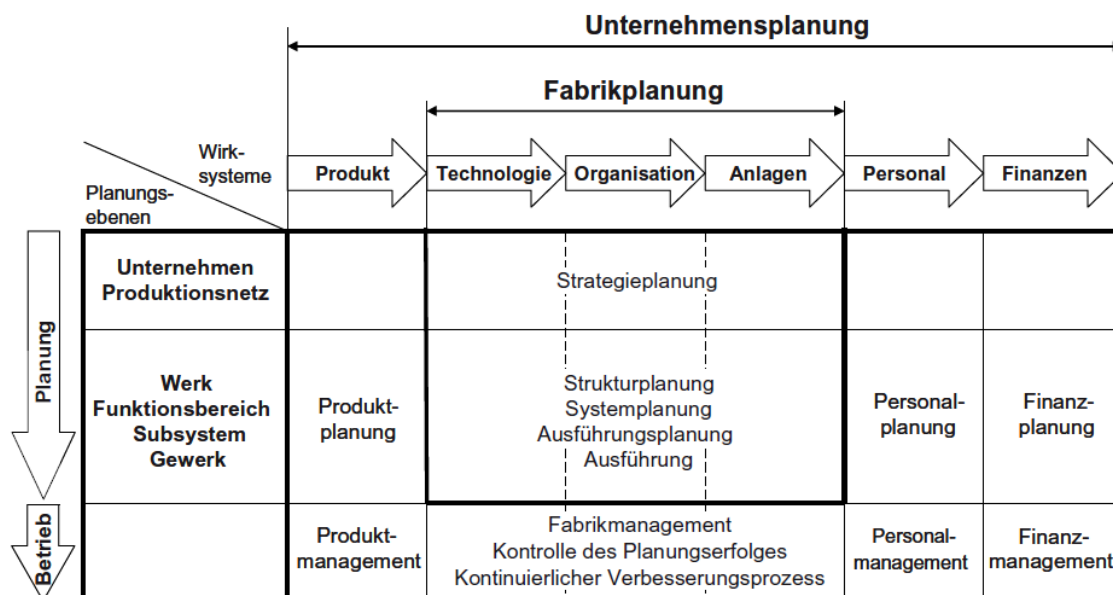
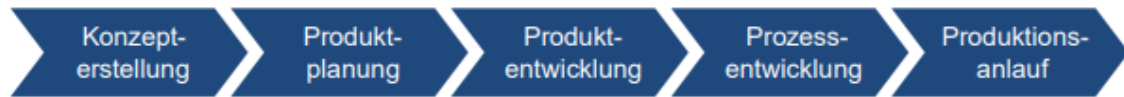


Abbildung 9: Einordnung der Fabrikplanung in die Unternehmensplanung [24]

Für das Anlagenengineering sind folgende Schritte der Fabrikplanung nach [24] relevant:

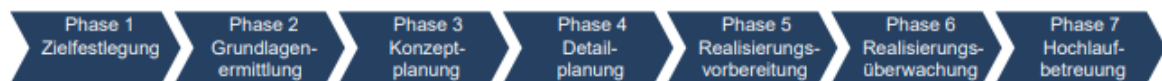
- Die Strukturplanung verknüpft alle Elemente des Fabriksystems. Dazu zählen Funktionseinheiten aus der Produktion, Logistik sowie Hilfsbereiche (Instandhaltung, Versorgung, ...) und Verwaltungs- und Personalbereiche. Die Strukturplanung ist sowohl bei Neuplanungen als auch Erweiterungsplanungen, Rationalisierungsplanungen und Sanierungsplanungen anzuwenden. Das erste Ergebnis der Strukturplanung sind Prinziplayouts, die die einzelnen Funktionseinheiten in einer Darstellung vereinen. Das abschließende Groblayout enthält u.a. alle Fabrikstrukturen wie Gebäude, Leitungen, Flächen, Wege, Straßen, Quellen, Senken und Produktionselemente der Fabrik. Dabei sind vorhandene Gegebenheiten (Brownfield) und auch spezifische Anforderungen des Betreibers oder auch des Landes (Normen / Gesetze) zu berücksichtigen.
- Die Systemplanung leitet aus der Strukturplanung konkrete Projekte ab. Die Basis dafür bilden die Funktionseinheiten der Strukturplanung, welche in Funktionssysteme (z.B. Lager, Montage, Transport, ...) unterteilt werden. Die Systemplanung erfolgt noch herstellerneutral und somit ohne konkreten Auftragnehmer für das Engineering der Anlagentechnik. Das Ergebnis der Systemplanung sind genau definierte Systemlösungen und eine Unterteilung in Gewerke. Die in der Strukturplanung erstellten Groblayouts werden um Details bis hin zu einzelnen Anlagenteilen (Förderer, Roboter, ...) oder Logistikelementen (Lagerfächer, ...) angereichert. Die Systemplanung findet immer für ein definiertes Zielwerk statt. Dies bedeutet, dass vorhandene Gegebenheiten detailliert in die Planung integriert werden müssen. Während der Systemplanung wird auch eine Kostenschätzung durchgeführt, für die es essenziell ist, ob vorhandenes Produktionsequipment weiterverwendet, umgebaut oder komplett erneuert werden muss. Daher ist für die Systemplanung die Rückführung von Informationen aus der Instandhaltung zum Zustand der vorhandenen Systeme essenziell.
- Die Ausführungsplanung detailliert die Gewerke, schreibt diese aus und verantwortet die Realisierung bis zur Inbetriebnahme. Innerhalb dieser Phase findet das Detailengineering beim möglichen Lieferanten statt. Der Planungsprozess beinhaltet an dieser Stelle die Ausführungsüberwachung, wo hingegen der Auftragnehmer die gesamte Konstruktion, Dokumentation und Inbetriebnahme durchführt. Je nach Größe und Komplexität der Veränderung oder des Neubaus des Produktionssystems werden einzelne Gewerke untereinander koordiniert, damit das Optimum des Gesamtsystems gewährleistet ist. Somit sind die planenden Rollen für die Systemintegration zuständig. Während der Ausführungsplanung werden die späteren Betriebsstellen (z.B. Instandhaltung) intensiv eingebunden, um spezifische Anforderungen berücksichtigen sowie notwendige Qualifizierung frühzeitig planen zu können.

In den meisten Fällen ist die Produktentwicklung der Grund für den Aufbau oder die Veränderung des Produktionssystems. Somit ist das Design des Produktionssystems entscheidend von der Produktentwicklung abhängig oder wird durch diese getrieben. [25] beschreibt die Produktentwicklung u.A. nach Clarc und Fujimoto (siehe Abbildung 10). Der Fokus liegt auf der Konzeption und Entwicklung des Produkts sowie der dazugehörigen Prozesse. Die Umsetzung der Prozesse mündet in den Anlauf der Produktion.



**Abbildung 10: Produktentwicklung nach Clarc und Fujimoto [25]**

Zur Vorbereitung auf den Produktionsanlauf definiert [25] mehrere Phasen (siehe Abbildung 11). Die Ziele in Phase 1 leiten sich von dem Produkt und der Prozessgestaltung ab. Im Fokus stehen hier Qualität, Verfügbarkeit und Kosten, sowie spezifische Randbedingungen. Nach der Ermittlung der Fertigungsgrundlagen (inkl. Ver- und Entsorgung) in Phase 2 entsteht die Konzeptplanung in Phase 3. Diese umfasst vergleichbar mit der Strukturplanung nach [24] das Prinzip Layout sowie das Groblayout mit vergleichbarem Inhalt. Die anschließende Detailplanung beinhaltet die Detaillierung der einzelnen Fertigungseinheiten sowie die Ableitung konkreter Projekte. Auch dies ist vergleichbar mit der Systemplanung nach [24]. Die Phasen 5, 6 und 7 beinhalten die Ausschreibung der Gewerke sowie deren Überwachung im Realisierungszeitraum und die Betreuung des Hochlaufs. Dies ist vergleichbar mit der Ausführungsplanung nach [24].



**Abbildung 11: Planungsphasen [25]**

Sowohl [24] als auch [25] fokussieren sich auf den Planungsprozess. In der Ausführungsplanung nach [24] bzw. den Phasen 5 bis 7 nach [25] muss ein Auftragnehmer die Produktionsanlage im Detail konstruieren und in Betrieb setzen.

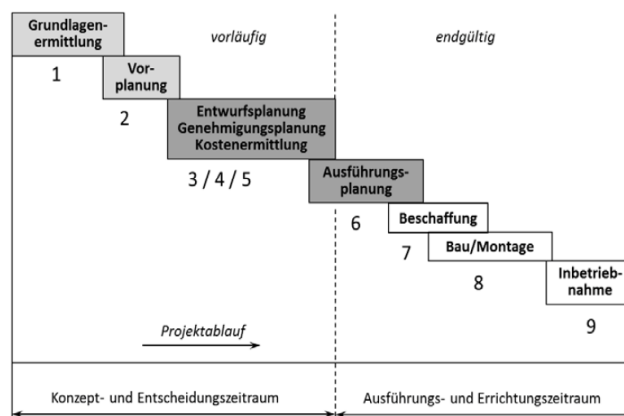
In „Engineering Verfahrenstechnischer Anlagen“ [18] strukturiert die Anlagenplanung und das Anlagenengineering in insgesamt 9 Phasen (siehe Abbildung 12) . Im ersten Teil, der Konzeptplanung, befinden sich folgende 6 Phasen:

- Projektvorbereitung und Grundlagenermittlung,
- Vorplanung
- Entwurfsplanung
- Genehmigungsplanung
- Kostenermittlung
- Ausführungsplanung

Die Realisierung umfasst weitere 3 Phasen:

- Beschaffung
- Bau / Montage

- Inbetriebnahme



**Abbildung 12: Phasenmodell Planung und Realisierung [18]**

Die VDI-Richtlinie 3695 beschreibt in mehreren Blättern das Engineering von Anlagen. Das Vorgehensmodell für Projektträger wird in vier Phasen unterteilt [26]:

- Akquisition: Im Unterschied zu der Vergabetätigkeit in den planenden Organisationen liegt hier die Angebotserstellung und Auftragsannahme aus Sicht eines Lieferanten im Fokus.
- Planung: Planungsschritte vom Groben zum Feinen.
- Realisierung: Detailed Engineering der Produktionsanlage inkl. aller Dokumentation
- Inbetriebnahme: Inbetriebnahme der Produktionsanlage inkl. Übergabe an den Auftraggeber.

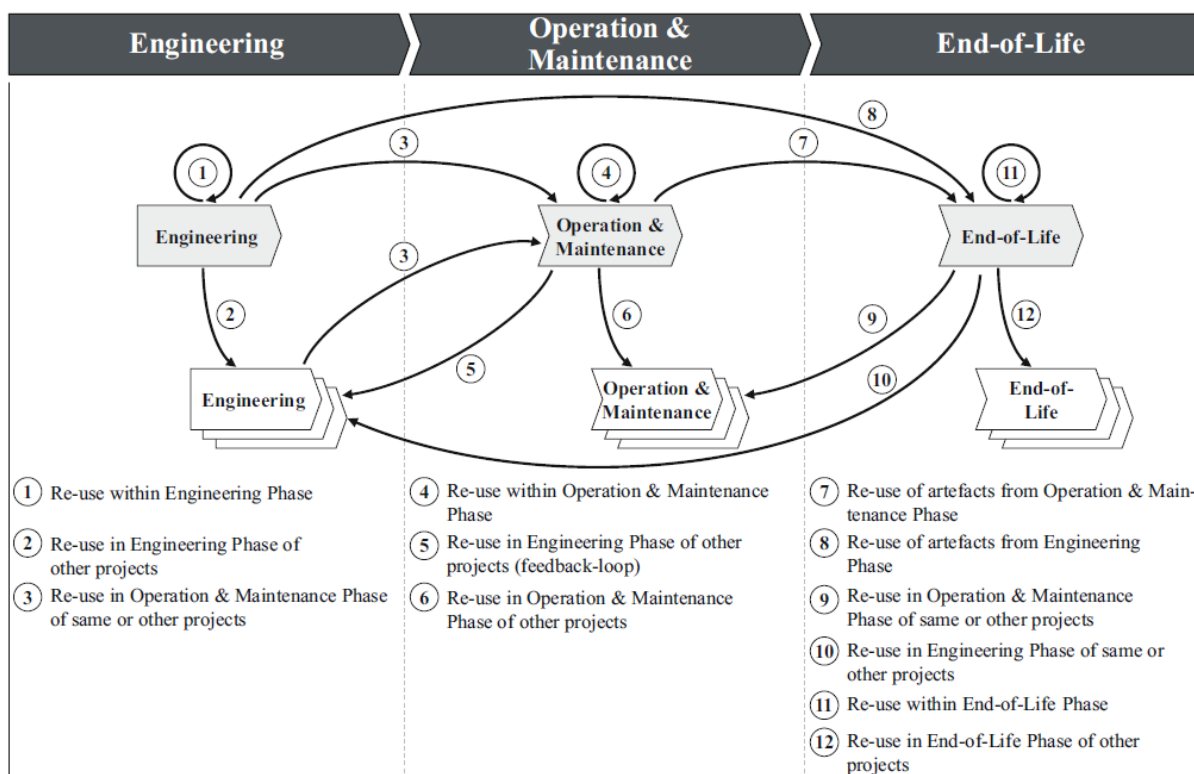
Die Richtlinie betrachtet dabei auch mögliche Chancen und Risiken beim Vorgehensmodell mit den beschriebenen Phasen. Wichtigstes Element zur Vermeidung der Risiken ist dabei die detaillierte Klärung von Schnittstellen sowie die Festlegung von Hierarchien und Strukturen [27]. Daraus lässt sich ableiten, dass die Rolle des Systemintegrators (siehe oben) entscheidend für den Erfolg der Projekte ist. Diese Rolle übernimmt die Gesamtkomposition des Designs auf Basis der einzelnen Projektergebnisse und -bestandteile. Hierbei kann die Systemintegration auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden. Gemäß Abbildung 14 kombiniert die Systemintegration die einzelnen Engineeringdisziplinen. In der beruflichen Praxis ist auch eine Systemintegration zur Kombination verschiedener Gesamtanlagen zu einem Produktionssystem notwendig.

In Blatt 3 der Richtlinie [27] werden Möglichkeiten zur Optimierung des Engineeringprozesses aufgeführt. Hierbei stehen Modelle und Beschreibungssprachen im Fokus (siehe Kapitel 2.1.3)

Die einzelnen Planungsschritte gemäß [18] sind vergleichbar mit denen nach [24] und [25]. Auch die grobe Beschreibung aus Sicht von Projektträgern (Auftragnehmern) wie in der VDI-

Richtlinie 3695 beschrieben, zeigt keine signifikanten Unterschiede auf. Zusammenfassend besteht die Planungsaktivität immer aus mehreren Phasen oder Schritten, die sich vom groben Entwurf bis zu einer detaillierten Beschreibung von einzelnen Gewerken ziehen. Danach schließt in allen Fällen eine Ausschreibung mit Vergabe sowie die Überwachung des Anlagenengineerings an. Die Inbetriebnahme oder deren Überwachung schließen den Planungsprozess ab.

Jedoch ist der Prozess der Anlagenentstehung und Übergabe in den Betrieb nicht rein linear. Im gesamten Anlagenleben können mehrere Veränderungen vorgenommen werden, die zu einem Wechsel vom Betrieb zurück in das Engineering führen, wie in Abbildung 13 dargestellt [23].

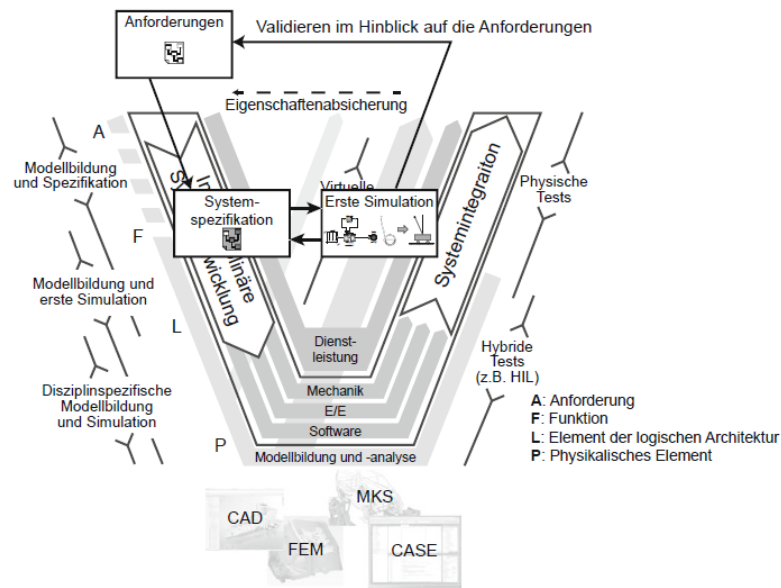


**Abbildung 13: Lebenszyklus Produktionssystem: Wechsel zwischen Engineering und Betrieb nach [23]**

Der weitere Fokus liegt auf den Details zum Engineering, das im Planungsprozess in den Phasen bzw. Schritten der Beschaffung, Realisierung und Ausführung bis hin zur Inbetriebnahme bzw. deren Überwachung geschehen.

Das Detailed Engineering unterteilt sich wiederum in einzelne Disziplinen. Für die Anlagenkonstruktion relevant sind die Mechanik (inkl. Hydraulik / Pneumatik), die Elektrik und die Erstellung der Anlagensoftware (SPS, Roboter und sonstige) sowie die Parametrierung von Geräten. Dies wird wiederum mit einzelnen Simulationen flankiert [28]. Auch hierbei

handelt es sich um einen Prozess, in dem die Detailtiefe Schritt für Schritt gesteigert wird. Abbildung 14 zeigt die Einordnung der einzelnen Disziplinen des Detailed Engineering inkl. der im Detaillierungsgrad steigenden Simulationen im V-Modell.



**Abbildung 14: Detailed Engineering und Simulation im V-Modell [29]**

Die Mechanikkonstruktion konstruiert auf Basis der groben Layoutentwürfe die einzelnen Elemente der Maschine oder Anlage. Mit Hilfe von CAD Werkzeugen werden verschiedene Modelle erstellt [30]. 2D – Modelle werden für die Fertigung der einzelnen Teile erstellt. 3D – Modelle dienen als kompletten Zusammenbau inkl. der Darstellung aller Verbindungselemente. Die Mechanische Konstruktion enthält somit bewegte Teile inkl. deren Aktoren.

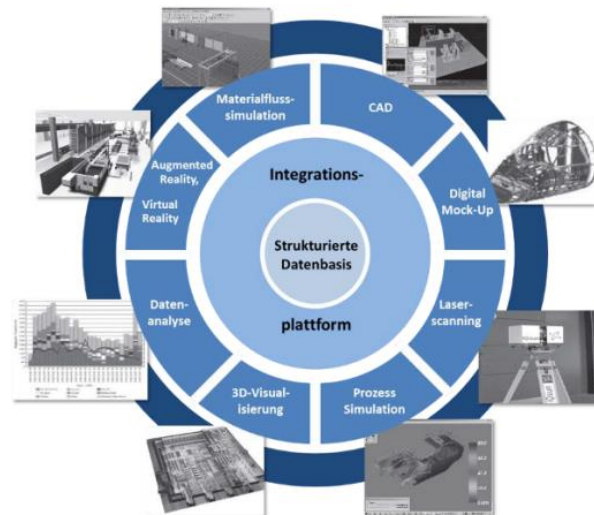
Die Elektrik und Elektronik stellt elektrische Verbindungen und die elektrische Verarbeitung von Signalen dar [31]. Mit Hilfe von E-CAD Werkzeugen können aus einzelnen elektrischen Komponenten gesamte Systeme erstellt werden. Das Ergebnis sind in der Regel Verdrahtungspläne sowie die dazugehörigen elektrischen Stücklisten

Eine zentrale Steuereinheit übernimmt die Auswertung von Inputs (z.B. Signale einer Sensors) sowie die Ansteuerung der Outputs (z.B. Freigaben oder Geschwindigkeiten von Motoren) [29]. Zu den einzelnen Disziplinen sind entsprechende Simulationen vorhanden. Dabei können der Materialfluss, Kollisionen und Erreichbarkeiten sowie die Funktion der Software abgesichert werden. [29, 32].

Ein weiterer entscheidender Aspekt sowohl im Detailengineering als auch später bei der Datenmodellierung ist die Wiederverwertbarkeit von Konstruktionen und damit die Variantenreduktion für spätere Betriebsprozesse [33].



Kerber [25] unterscheidet detailliert die einzelnen Disziplinen, die mit Layoutplanung und mechanischer Konstruktion in Zusammenhang stehen. Abbildung 15 zeigt die hierfür relevanten Elemente. Die hierfür notwendigen CAD Daten müssen dafür um Kinematik Informationen angereichert werden.



**Abbildung 15: Werkzeuge der Digitalen Fabrik nach [25]**

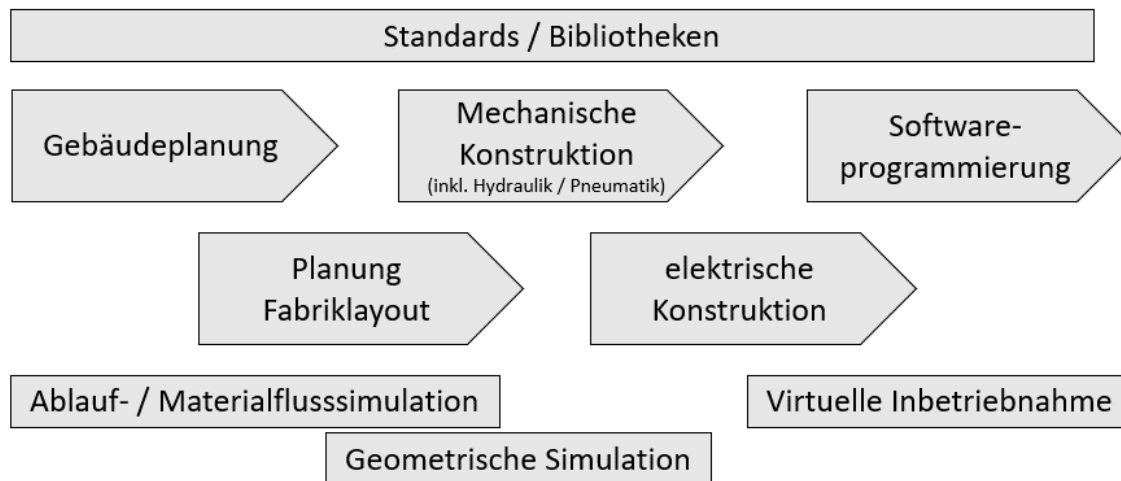
[34] ordnet die Artefakte der Engineeringphase den unterschiedlichen Hierarchien des Produktionssystems zu. Dabei wird das 9-stufige Schichtenmodell aus Tabelle 2 zu Grunde gelegt. In [35] werden sämtliche Artefakte der einzelnen Hierarchien bis ins Detail beschrieben. Dabei werden Textdokumente, Tabellen aber auch exakte Dateiformate beschrieben.

Layer	Engineering-Phase										Operation- & Maintenance Phase			End-of-Life-Phase	
9. Production Network											Supplier management				
											Investment plan				
8. Factory											Product mix			General Information	
											Capacity plan			Production System Relevant Information	
7. Production Line											Material stock				
											Human labor plan				
6. Production Line Segment											Product related process sequencing				
											Resource monitoring				
5. Work Unit											Process supervision				
											Production data acquisition				
4. Work Station											Quality control				
											Process control				
3. Function Group											Product identification				
											Sensor/actor control			Component Relevant Information	
2. Component											Product data acquisition			Material Relevant Information	
1. Construction Element															

Abbildung 16: Zuordnung Artefakte Engineering / Betrieb zu Hierarchiestufen nach [34]

### 2.1.2. Inhalte der einzelnen Planungs- und Engineeringdisziplinen

Abbildung 17 stellt zusammenfassend die wesentlichen Disziplinen der Anlagenplanung und des Detailed Engineering und aller weiteren vorhergehenden Kapitel dar. Dabei handelt es sich um fünf Planungs- bzw. Engineeringsschritte, die durch drei Simulationsarten flankiert werden. Bekannte Artefakte der Planung oder des Engineerings werden in Form von Bibliotheken beigesteuert. Die Basis hierfür bilden entsprechende Standardisierungstätigkeiten der jeweiligen Unternehmen. Diese Standardisierungstätigkeit wird von einigen Partnern im Forschungsprojekt DIAMOND vorabgetrieben [36]. DIAMOND bildet somit eine wichtige Basis bei der Beschreibung der Prozesse in der Planung bzw. dem Engineering (siehe Abbildung 17)



**Abbildung 17: Engineeringprozess von Produktionsanlagen (vereinfacht)**

Dabei generieren die fünf Planungs- und Engineeringschritte neue Informationen aus Sicht der Anlagenkonstruktion. Die Simulationen konsumieren die meisten Informationen und dienen als Prüfung für die Qualität der Planungs- und Engineeringschritte.

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Disziplinen bezüglich deren Inhalt grob beschrieben. Als Basis dienen die Benutzerhandbücher sowie die persönliche Anwendung der entsprechenden Tools der Disziplinen. Da der Fokus dieser Arbeit auf den Belangen der Instandhaltung liegt, werden die einzelnen Disziplinen nicht im Detail betrachtet, sondern der Hauptfokus auf die für die Instandhaltung relevanten Inhalte gelegt.

Die Gebäudeplanung plant, wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, die Infrastruktur und ist somit der Anfangspunkt des Engineerings. Für den weiteren Verlauf des Engineerings sind vor allem Informationen relevant, die für die Installation der Anlagentechnik notwendig sind. Gemäß des Benutzerhandbuchs eines in der Automobilindustrie etablierten Tools zur Gebäude und Layoutplanung [37] werden hierbei folgende Informationen generiert und Verwaltet:

- Elemente: Die können einfache geometrische Formen oder auch Bibliothekselemente sein. Damit werden Gebäudewände, Rohrleitungen, Kabel, Flächen (für z.B. Gehwege oder Straßen) dargestellt. Jedoch werden die Elemente in diesem Tool nicht in Hierarchien o. Ä. eingebettet.
- Elementattribute beschreiben die Eigenschaften der Elemente. Dies reicht von Informationen für die Darstellung (z.B. Farben) bis zu freien Informationen der einzelnen Elemente.

Eine weitere etablierte Art der Beschreibung von Gebäuden ist das BIM. Bei den Elementattributen beschreibt der Prozess des „Building Information Modeling“ einen Standard [38], der neben den Elementen und Attributen auch eine Einbettung in eine Hierarchie und Abhängigkeiten von Klassen zulässt. Im Laufe der Gebäudeplanung werden dabei die einzelnen Elemente um Eigenschaften wie z.B. Material oder Hersteller angereichert und diese in eine Hierarchie eingebettet.

Die Planung des Fabriklayouts setzt direkt auf der Gebäudeplanung auf und verwendet vergleichbare Werkzeuge. Damit ergibt sich prinzipiell ein vergleichbarer Informationsgehalt. Das Fabriklayout besteht aus mehr Details als das Gebäudelayou. Die Gebäudeplanung fokussiert sich auf die Gebäude und deren Ausstattung, wo hingegen das Fabriklayout einzelne Elemente der Produktionsanlagen enthält. Das Ergebnis der Planung des Fabriklayouts sind somit Elemente der Anlage inkl. Elementattribute (mit dem Informationsgehalt dieser frühen Phase) sowie wiederum deren Einordnung in eine Hierarchie (ein Förderer oder Roboter sind Kinder eines Gebäudes oder einer Fläche). Die Elemente erhalten layoutspezifische Namen oder Bezeichnungen innerhalb der Hierarchie. Jedoch gibt es bei der aktuell verwendeten Toollandschaft keine Klassenmodelle oder eine Möglichkeit der Verkettung der Elemente in einer Hierarchie. Somit handelt es sich nicht um eine komplette Semantik.

Die Ablauf- und Materialflusssimulation dient zur Absicherung der Fabriklayouts. Gemäß [39] werden die Produktionssysteme in Computermodelle abgebildet um den Materialfluss, die Ressourcenauslastung und die Logistikketten zu optimieren. Die Basis dafür bilden Prozessinformationen (Taktzeiten, Geschwindigkeiten, etc.) sowie die hierarchischen Modelle der Fabriken. Diese Modelle werden durch die Planung des Fabriklayouts definiert. Das Ergebnis der Simulation sind keine neuen Konstruktions- oder Layoutmodelle sondern die Fähigkeiten der vorher geplanten Szenarien. Somit konsumiert diese Disziplin die Informationen aus der Gebäude- und Fabrikplanung und bestätigen die gewünschten Fähigkeiten auf Basis des geplanten Szenarios.

In der Mechanische Konstruktion werden die Elemente, wie sie im Fabriklayout dargestellt sind, im Detail auskonstruiert. Gemäß [40] ist das Ergebnis des Konstruktionsprozess eine eindeutige geometrische Beschreibung des Elements inkl. aller Informationen zu Materialien und Fertigungsverfahren in Form von 2D Zeichnungssätzen (zur Fertigung) und 3D CAD Modellen. Die Elemente werden untergliedert und in Hierarchien geordnet [40]. Somit ergibt sich erneut eine weitere Detaillierung der aus der Layoutplanung generierten Elemente mit ihren Elementattributen und der Einordnung in der Hierarchie. Weitere Elemente, die wegen dem geringen Detaillierungsgrad in der Layoutplanung noch nicht generiert wurden, werden in Form von mechanischen Stücklisten bereitgestellt. Die Elemente erhalten konstruktionsspezifische Namen oder Bezeichnungen innerhalb der Hierarchie. Die Konstruktionsdaten von Einzelkomponenten, die bereits mehrfach verwendet wurden oder von Herstellern der Komponenten bereitgestellt werden, können in Form einer Bibliothek abgelegt und verwendet werden.

Die Geometrische Simulation fokussiert sich auf die Überprüfung von Kollisionen und Erreichbarkeiten auf Basis der vorhergehenden mechanischen Konstruktion. Unter Hinzunahme von Roboterprogrammen können auch deren Bewegungsfähigkeiten und Taktzeiten simuliert und analysiert werden [41]. Um aus der statischen Konstruktion ein bewegtes Modell zu entwickeln, muss für jede Bewegungsachse ein entsprechendes Koordinatensystem sowie deren Abhängigkeit voneinander angelegt werden (Kinematisierung) [41]. Somit ist diese Simulation kein reiner Datenkonsument, sondern generiert für die bestehenden Konstruktionselemente die notwendigen Kinematikinformationen.

Während der elektrischen Konstruktion liegt der Fokus auf allen elektrischen Komponenten und Verbindungen. Gemäß [42] entstehen somit Verdrahtungspläne mit allen elektrischen Bauteilen, Steck und Kabelverbindungen sowie den entsprechenden Stücklisten aller Kabel und Bauteile. Die Elektrokonstruktion stellt laut [42] auch die Topologie des Feldbus (z.B. Profinet) sowie den entsprechenden Adressraum der Ein- und Ausgänge der Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) dar. Man spricht in diesem Fall von der „Hardwarekonfiguration“. Die Elemente erhalten elektrokonstruktionsspezifische Namen oder Bezeichnungen innerhalb einer spezifischen Hierarchie. Die Vorlagen von Einzelkomponenten, die bereits mehrfach verwendet wurden oder von Herstellern der Komponenten bereitgestellt werden, können in Form einer Bibliothek abgelegt und verwendet werden. Gemäß [42] spricht man hierbei von „Makros“.

Die Softwareprogrammierung implementiert den größten Teil der Funktion des automatisierten Systems. Über entsprechende Programmiersprachen werden logische Funktionen realisiert, die auf Basis verschiedener Eingangssignale entsprechende Ausgangssignale setzen [43]. Dabei kann es sich sowohl um direkte Ein- und Ausgänge auf der Steuerung selbst, Ein- und Ausgänge auf Feldbusebene oder auch die Kommunikation zu MES Systemen handeln. Die Kommunikation über OPC UA fällt ebenfalls unter diese Kategorien. Die Bustopologie und die Adressbereiche der entsprechenden Geräte wird in der „Hardwarekonfiguration“ festgelegt. Diese steht in direkter Verbindung zur „Hardwarekonfiguration“ der elektrischen Konstruktion. Eine SPS spezifische Erweiterung dieser „Hardwarekonfiguration“ sind die Gerätebeschreibungen. Diese enthalten alle notwendigen Informationen zur Konfiguration des entsprechenden Geräts sowie alle Kommunikationsparameter. Die Ergebnisse der Softwareprogrammierung sind gemäß [43] eine Hardwarekonfiguration mit der genauen Bezeichnung von allen Ein- und Ausgängen und Kommunikationsprotokollen sowie die entsprechende Steuerungslogik.

Die Virtuelle Inbetriebnahme befindet sich am Ende der Engineeringkette. Das Ergebnis der virtuellen Inbetriebnahme ist eine Aussage über die Funktionstüchtigkeit bzw. die Fehlerfreiheit der entsprechenden Steuerungslogik. Die Details sind in Wissenschaft und Industrie hinlänglich bekannt und werden an dieser Stelle nicht weiter beschrieben. Die virtuelle Inbetriebnahme ist dabei der Hauptkonsument aller bisher anfallenden Informationen aus dem Engineeringprozess. Laut [44], [45] und [46] werden folgende Informationen für den entsprechenden Zweck konsumiert:

- Fabriklayout und mechanische Konstruktion inkl. Kinematik für die Modellierung der entsprechenden funktionalen 3D-Umgebung
- Hardwarekonfiguration aus der elektrischen Konstruktion bzw. der Softwareprogrammierung zur Konfiguration der Treiberbindung vom virtuellen Modell zum Steuerungssystem
- Ein- und Ausgangsbeschreibung zur Verknüpfung mit entsprechenden Verhaltensmodellen

Alle diese Informationen müssen hierfür einer eindeutigen Bezeichnungssystematik sowie einer entsprechenden Hierarchie folgen. Tabelle 3 fasst die in diesem Kapitel und in Kapitel 2.1.1 dargestellten Inhalte für die vereinfachte Hierarchie dar.

**Tabelle 3: Zusammenfassung Inhalte Planungsschritte**

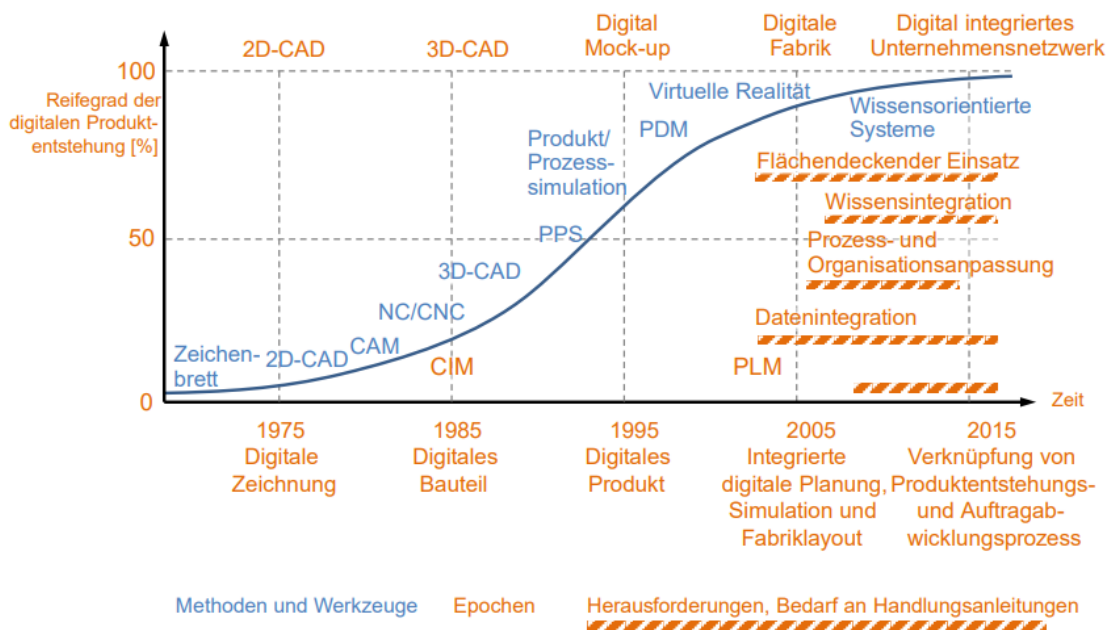
Planungsschritt	Inhalt	Beispiele
Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gebäude inkl. aller für das Gebäude relevanter Ausstattungen.</li> <li>• Fokus auf Architektur.</li> <li>• Bereitstellung in Zukunft vermehrt im BIM. Damit sind Attribute und Hierarchien für diese Elemente vorgesehen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hallensäule als Objekt mit Attributen wie z.B. Werkstoff, Traglast, ...</li> <li>• Rohrleitung als Objekt mit Attributen</li> </ul>
Fabriklayout	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flächen innerhalb des Gebäudes</li> <li>• Anlagentechnik, manuelle Arbeitsplätze, Hilfskonstruktionen für den Arbeitsplatz</li> <li>• Logistikflächen und Verkehrsflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialbereitstellung für Logistik am Montageband</li> <li>• Fördertechnik in 2D und 3D auf Basis von Bibliothekselementen</li> </ul>
Mechanik (inkl. Pneumatik und Hydraulik)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Konstruktion im Detail</li> <li>• Fokus auf Anlagentechnik</li> <li>• Definition der konkreten mechanischen Komponenten (Hersteller / Artikel)</li> <li>• Komponenten und Verbindungen Pneumatik / Hydraulik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konkrete Konstruktion eines Förderers mit allen Komponenten</li> <li>• 3D Konstruktion mit Kinematik</li> <li>• Komponenten mit Attributen wie Hersteller, ...</li> </ul>
Elektrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrische Komponenten</li> <li>• Elektrische Verbindungen</li> <li>• Bustopologie und -adressen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabelverbindungen zwischen Anschlüssen</li> <li>• Elektrische Komponenten mit Attributen</li> <li>• Profinetverbindungen inkl. IP-Adressen</li> </ul>
Software	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablauffähiges Steuerungsprogramm und Roboterprogramm</li> <li>• Parameter für die Parametrierung von Komponenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TIA Portal (diverse Sprachen) oder Kuka Robotercontroller</li> <li>• Parameter für Frequenzumrichter (Motordaten, Sicherheitsfunktionen, ...)</li> </ul>

### **2.1.3. Digitalisierung in Planung und Engineering von Produktionsanlagen**

Der beschriebene Prozess und die entsprechenden Inhalte der Planung und des Engineerings von Produktionsanlagen werden in der Regel mit entsprechenden Softwaretools und einem digitalen Datenaustausch erbracht.

Die VDI Richtlinie 4499 stellt hierfür fest, dass CAx Prozessketten eine wesentliche Voraussetzung für eine durchgängige digitale Planung ist [1]. Dies ermöglicht, dass die Ergebnisse der vorangegangenen Planungs- und Engineeringphasen in Form von Daten oder Modellen direkt in den nächsten Planungsschritt oder Engineeringsschritt übernommen werden kann. [1] stellt weiter fest, dass die von den einzelnen Disziplinen generierten Informationen und Modelle allen Beteiligten zur Verfügung gestellt werden muss um manuelle, nicht wertschöpfende Tätigkeiten und die daraus entstehenden Fehler zu reduzieren.

Kerber beschreibt in [25] wie die einzelnen CAD Daten über den gesamten Planungsprozess in einem Fabrik-DMU (Digital Mock Up) zusammengefasst werden kann und für eine virtuelle Absicherung des Planungsprozesses (mit Fokus auf CAD Modelle) verwendet wird. Dafür wurden Daten aus der Gebäudeplanung inkl. der TGA, gescannte Punktwolken, Fabriklayouts und Detailkonstruktionen von Anlagenzellen in eine gemeinsame Datenbasis überführt. Der Erfolg solcher Projekte hat die sich stark veränderte Reife der digitalen Produktentstehung als Grundlage. Abbildung 18 stellt die Entwicklung des Reifegrads der digitalen Produktentstehung über die letzten 50 Jahre gemäß [47] dar. Dies verdeutlicht die rasante Entwicklung vom Zeichenbrett über 3D-CAD Anwendungen zur virtuellen Realität. Ebenso sind die Handlungsbedarfe bezüglich Datenintegration deutlich erkennbar.



**Abbildung 18: Evolution der digitalen Produktentstehung [47]**

Wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, besteht der gesamte Planungs- und Engineeringprozess nicht alleine aus der Verbindung von Layout und Konstruktionsdaten. Vielmehr ist das Zusammenspiel aus Layout, Konstruktion und Elektrik das Ziel der kompletten Datenintegration innerhalb der CAx Welt. Darauf basierend wird mit dem Steuerungs- und Regelfentwurf die Softwareprogrammierung eingeleitet. [48]

Diese Vielzahl an einzelnen Modellen und Informationen gilt es in eine gemeinsame Sprache oder ein gemeinsames Gesamtmodell zu überführen, das neben den einzelnen Attributen auch das Zusammenwirken der disziplinspezifischen Inhalte berücksichtigt. Ein Beispiel hierfür ist CAEX [49] [50], was die Grundlage für Automation ML bildet (siehe Kapitel 3.3.1),

## 2.2. Prozesse und Dateninhalte Instandhaltung

Die fertig konstruierte und in Betrieb genommene Produktionsanlage wird nach Beendigung des Planungsprozesses in den Fabrikbetrieb übergeben.

Der Fabrikbetrieb wird von Schenk [14] folgendermaßen definiert:

*„Fabrikbetrieb mit den Aufgaben Betreiben, Lenken und Steuern der Abläufe (einschließlich Instandhaltung und Service) in der Fabrik muss die Zielvorgaben des Unternehmens durch eine sozial-ökonomische und ökologische (ressourcen-) effiziente Aufbau- und Ablauforganisation im partizipativ-transparenten Zusammenwirken der*



*Komponenten Mensch, Technik und Organisation sowie Kooperation innerhalb und außerhalb der Fabrik sichern.“*

Für diese Arbeit wird auf die Belange der Instandhaltung fokussiert. Organisatorische Themen und Qualitätsaspekte sowie die Lieferkette können im Anschluss mit ähnlichen Konzepten betrachtet werden.

Laut DIN 31051 [51] umfasst die Instandhaltung alle technischen und administrativen Maßnahmen zum Erhalt oder der Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustands einer Produktionsanlage. Sie wird in vier Grundmaßnahmen unterteilt [51]:

1. Wartung
2. Inspektion
3. Instandsetzung
4. Verbesserung

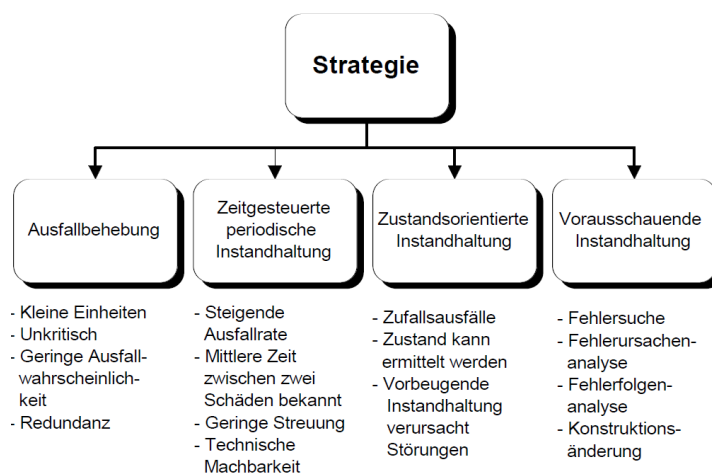
Damit müssen folgende Hauptziele der Instandhaltung nach [52] erfüllt werden:

- *„Die Anlage soll sicher sein, d. h. von ihr darf keine Gefahr ausgehen.“*
- *„Die Anlage soll verfügbar sein, d. h. sie muss den Betrieb aufnehmen können.“*
- *„Die Anlage soll zuverlässig sein, d. h. sie soll den Betrieb störungsfrei durchführen können.“*
- *„Der Wert der Anlage soll erhalten werden, d. h. sie soll eine hohe Restlebenserwartung haben.“*

Es werden hierfür verschiedenen Instandhaltungsarten unterschieden [52]:

- Zeitbasierte Instandhaltung: In vorgegebenen Intervallen werden gewisse Maßnahmen durchgeführt.
- Zustandsbasierte Instandhaltung: Anhand eines definierten Verschleißbilds werden definierte Maßnahmen durchgeführt.
- Ausfallbasierte Instandhaltung: Nach dem Ausfall einer Funktion oder eines Bauteils werden Ersatzmaßnahmen oder Reparaturen durchgeführt.

[15] unterteilt die Instandhaltungsstrategien gemäß Abbildung 19. Gegenüber [52] ist festzustellen, dass bereits die „Vorausschauende Instandhaltung“ berücksichtigt wurde.



**Abbildung 19: Instandhaltungsstrategien gemäß [15]**

In diesem Kapitel werden die DIN-Grundmaßnahmen sowie die Instandhaltungsarten unterteilt. Der Grund hierfür liegt in der starken Veränderung der Instandhaltung in den letzten Jahren im Zuge von Industrie 4.0 (siehe Kapitel 1.2.3)

Die Basis für die Analyse der Prozesse und Dateninhalte bilden teils mehrstündige Expertengespräche und mehrtägige Workshops mit entsprechenden Personen aus dem Instandhaltungsumfeld sowie die eigenständige Analyse von vorhandenen Prozessbeschreibungen und deren Umsetzung in den entsprechenden Tools der Instandhaltung.

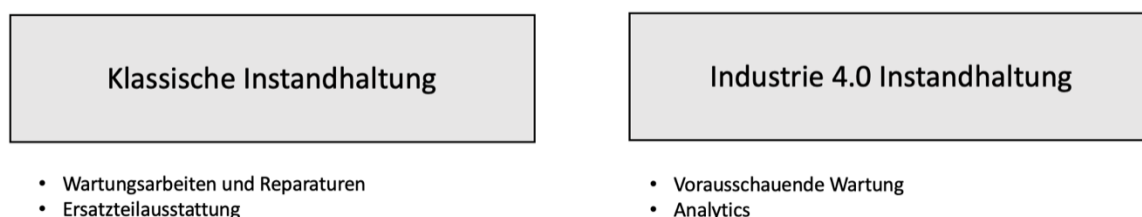
Sowohl die Prozesse als auch die entsprechenden IT-Tools müssen im Instandhaltungsbereich in zwei Kategorien unterschieden werden. Die „klassische Instandhaltung“ verantwortet die Wartung und Reparatur der Produktionsanlagen nach bekannten Mustern. Der Fokus liegt hierbei auf der regelmäßigen Wartung und der Beschaffung und des Verbau von Ersatzteilen sowie den Instandsetzungsmaßnahmen (zeitbasierte und ausfallbasierte Instandhaltung). Dieser Umfang der „klassischen Instandhaltung“ ist auch die aktuell in der DIN 13306 [53] zu Grunde liegende Definition des Begriffs „Instandhaltung“.

Die DIN 77005-1 [54] beschreibt alle notwendigen Daten für den Betrieb und den Aufbau einer Lebenslaufakte. Dabei werden Artefakte von Verträgen über die Inbetriebnahme sowie Informationen aus dem Betrieb verwendet. Auch diese beziehen sich auf die bekannten Methoden der Instandhaltung. Die Details zur Lebenslaufakte werden in Kapitel 2.2.3 erläutert.

Die DIN EN 16646 [55] beschreibt Elemente eines Anlagenmanagements um das Produktionssystem durch alle Lebensphasen optimal zu begleiten. Hierbei werden bei den Anforderungen an ein Anlagenmanagement neben klassischen Instandhaltungsmaßnahmen auch die Leistungsbewertung und Verbesserung aufgeführt [55].

Dies spiegelt sich auch in den Funktionen und Dateninhalten der verwendeten IT-Systeme wieder.

Im Zuge der erweiterten Konnektivität von Produktionsanlagen durch die Digitalisierung im Zuge von Industrie 4.0 wurden weitere Möglichkeiten dafür geschaffen. In diesem Fall melden Produktionsanlagen ihren Status regelmäßig an entsprechende Datenbanken oder Cloud-Speicherplätze. Neuartige Auswertelgorithmen (teils mit Hilfe von KI) nutzen diese Daten für eine komplexe Analyse inkl. der Vorhersage von Störungen (zustandsbasierte Instandhaltung). Dies stellt an die entsprechenden IT-Systeme und die Datenqualität gänzlich neue Anforderungen. Abbildung 20 zeigt beide Teilprozesse der Instandhaltung.



**Abbildung 20: Teilprozesse der Instandhaltung (vereinfacht)**

### 2.2.1. Klassischer Instandhaltungsprozess

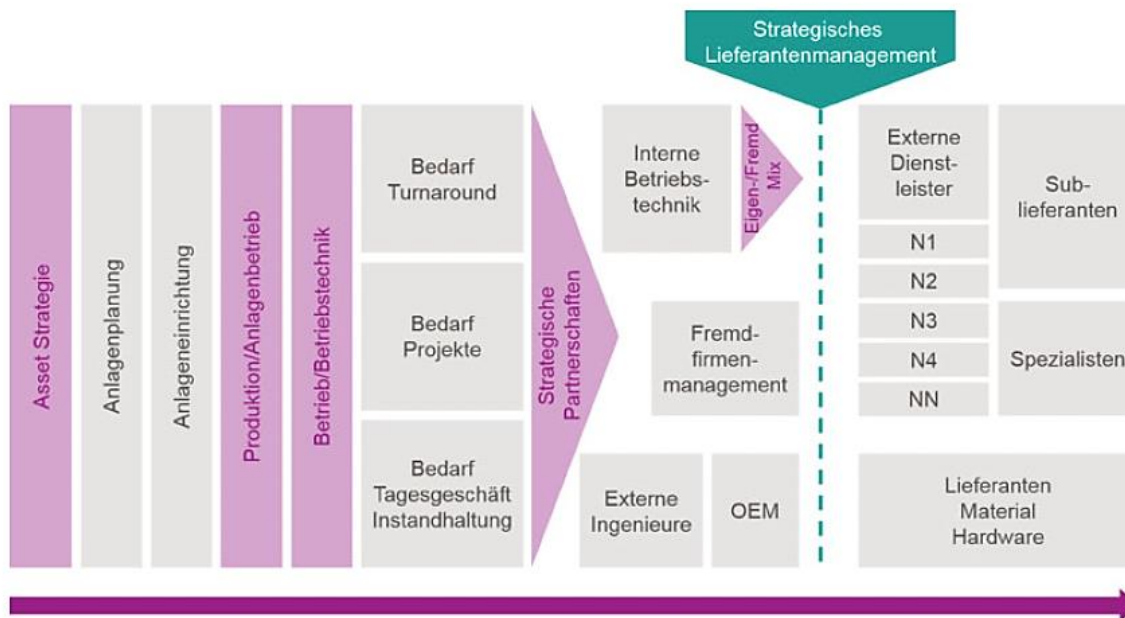
Der klassische Instandhaltungsprozess umfasst im Allgemeinen das Warten, Reparieren und Verbessern von Produktionssystemen und -anlagen.

Eine zentrale Aufgabe ist hierbei das Managen aller in Produktionsanlagen verbauten Komponenten inkl. deren Ersatzteile. Der Instandhalter fungiert somit in der Rolle eines Asset Managers [56]. Ein erfolgreiches Assetmanagement betrachtet den gesamten Lebenszyklus der Produktionsanlagen und beginnt daher bereits in der Planung der entsprechenden Anlagentechnik. Gemäß ISO 55000 gliedert sich das Asset Management in 6 Phasen auf [56]:

- Produktstrategie
- Produktionsstrategie
- Anlagenstrategie
- Errichtung der Anlagentechnik
- Produktions- und Instandhaltungsphase
- Rückbau

Daraus folgt, dass ein erfolgreiches Assetmanagement bereits in der Planungs- und Engineeringphase beginnt.

Abbildung 21 beschreibt den Zusammenhang aller Teilprozesse für ein erfolgreiches Asset Management. Dies zeigt die Komplexität an Prozessen, die aktuell noch nicht über entsprechende Informationsketten verbunden sind [56].



**Abbildung 21: Funktionskette Asset Management [56]**

Da die Anlagenplanung bereits in Kapitel 2.1 ausführlich betrachtet wurde, werden an dieser Stelle die drei letzten Phasen des Asset Managements detaillierter untersucht.

### Errichtung der Anlagentechnik

Die Prozesse zum Engineering und damit dem Design der Anlagentechnik werden in Kapitel 2.1 im Detail beschrieben. Dennoch ist an dieser Stelle die Relevanz der Informationen für den Instandhaltungsbetrieb hervorzuheben. Die Digitale Lebenslaufakte einer Produktionsanlage beginnt maßgeblich in der Planungsphase mit all den verwendeten Komponenten [57]. Die Details zur Lebenslaufakte werden in Kapitel 2.2.3 erläutert.

Somit ist bereits die Auswahl der Komponenten für das Anlagenengineering direkt mit den späteren Instandhaltungsprozessen verknüpft. Ein jedes verwendete Gerät oder eine jede Komponente enthält Informationen für den Instandhaltungsbetrieb, wie z.B. ein elektronisches Typenschild oder gewisse Anhänge (Zeichnungen, Anleitungen, ...).

Das bedeutet, dass der Auswahl der entsprechenden Komponenten im Engineeringprozess (siehe 2.1) eine Standardisierung vorzugehen muss, um effiziente und schlanke Instandhaltungsprozesse zu gewährleisten [57].

### **Produktions- und Instandhaltungsphase**

In dieser Phase nimmt der Instandhalter seine Hauptaufgaben und somit die vier Grundmaßnahmen der DIN 31051 wahr. [56] beschreibt den Instandhalter als „Instandsetzer“ sowie als „ganzheitlichen Anlagenmanager“. Unter „Instandsetzer“ versteht [56] die Reparatur und Instandsetzung von defekten Anlagen, was der dritten Grundmaßnahme „Instandsetzen“ entspricht. Dabei werden defekte Bauteile entfernt, neue Bauteile beschafft (z.B. aus dem Lager) und diese nach einer eventuellen Konfiguration installiert.

Als „ganzheitlicher Anlagenmanager“ versteht [56] folgende Aspekte:

- Lebenszykluskostenoptimierung
- Ressourceneffizienz
- Technologie und Leistungsanpassung
- Verfügbarkeitsoptimierung
- Nachhaltigkeit
- Implementierung neuer Technologien
- IT Sicherheit
- Sicherstellung des Compliance – konformen Anlagenbetriebs

Alle diese Tätigkeiten folgen einem Instandhaltungsmanagement im ganzheitlichen Produktionssystem [58]. Dieses umfasst die in dargestellten Grundprinzipien.

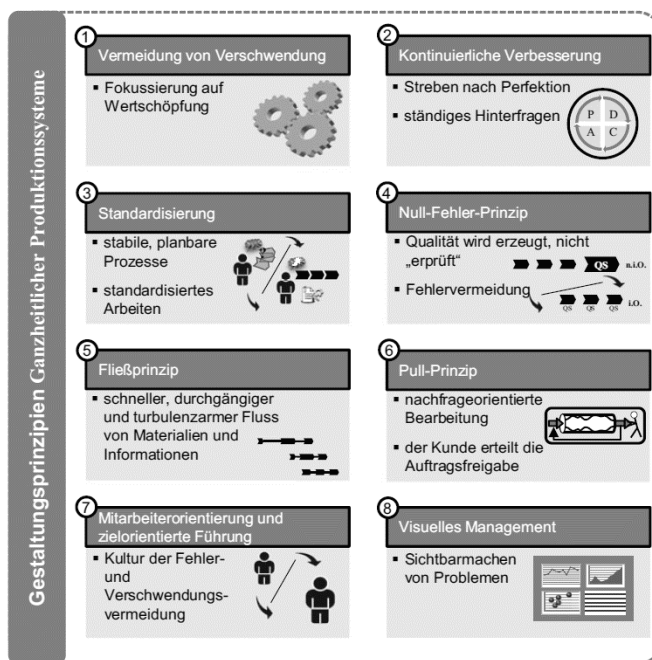


Abbildung 22: Grundprinzipien Ganzheitliches Produktionssystem nach [58]

Auf Basis der zu Beginn des Kapitels genannten Workshops und Experteninterviews wurden folgende Arbeitsschritte identifiziert, die ein Instandhaltungsplaner nach der Inbetriebnahme einer Produktionsanlagen durchführen muss:

- **Ablage der Dokumentation:**  
Die gesamte Anlagendokumentation inkl. aller Handbücher, Ersatzteillisten, Wartungsbeschreibungen, Sicherheitsprotokolle, etc. werden auf einem zentralen Ort für die Betriebsphase abgelegt. Zusätzliche Prüfbücher werden bei Bedarf angelegt.
- **Anlage von Ersatzteilen:**  
Sämtliche von Ausfall und Verschleiß betroffenen Bauteile der Produktionsanlage werden vom Anlagenlieferanten in entsprechenden Listen aufgelistet. Der Instandhaltungsplaner überführt diese in ein zentrales Verwaltungssystem unter Angabe aller für die Bestellung notwendigen Merkmale.
- **Anlage von Wartungsplänen:** Der Hersteller der Produktionsanlage sowie die Hersteller der einzelnen Bauteile definieren Wartungstätigkeiten und Wartungsintervalle. Diese Informationen führen zur Anlage von Wartungsplänen im zentralen Verwaltungssystem der Instandhaltung. Darin sind auch sicherheitskritische regelmäßige Überprüfungen enthalten.
- **Durchführung der Wartungen anhand der Wartungspläne sowie Durchführung der Instandsetzung unter Hinzunahme aller im zentralen Verwaltungssystem und in der Dokumentation verfügbaren Informationen.**
- **Nachfolgeregelung Ersatzteile:** Die Lebensdauer von Produktionsanlagen kann mehrere Jahrzehnte betragen. In diesem Zeitraum werden einige Bauteile der Anlage (v.A. Elektrische Bauteile) vom Hersteller abgekündigt. Dies bedeutet, dass der eins

zu eins Austausch nicht mehr möglich ist. Dafür muss ein passendes Ersatzprodukt gefunden werden sowie eine Strategie zur Anpassung der Produktionsanlage, um dieses neue Bauteil betreiben zu können. Hierbei spricht man vom Obsoleszenz-Management.

### **Obsoleszenz-Management und Rückbau**

Die oben erwähnte Nachfolgeregelung für Ersatzteile sowie der Ersatz ganzer Anlagenteile ist aus Sicht der Experten ein steig größer werdende Herausforderung. [59] beschreibt diesen Umstand und bezeichnet diesen mit dem Begriff Obsoleszenz Management. Das Obsoleszenz Management wird in der VDI-Richtlinie 2882 aufgenommen und darin praktische Konzepte zusammengetragen. [59] fasst die VDI-Richtlinie 2882 hinsichtlich des Begriffs folgendermaßen zusammen:

*„Obsoleszenz bedeutet, dass eine Komponente, eine komplette Baugruppe oder ganze Systeme (Prozesse, Materialien, Software, Produktionseinrichtungen, etc.) während ihrer Nutzungsdauer nicht mehr beschaffbar sind. Betreiber und Lieferant müssen sich schon zum Zeitpunkt der Beschaffung eines Systems gemeinsam Gedanken machen, wie man den Betrieb und die Versorgung mit Ersatzteilen für das System über die gesamte Nutzungsdauer sicherstellen kann.“*

Die Workshops und Experteninterviews haben einen weiteren Aspekt zu der obenstehenden Definition beigesteuert. Unter Obsoleszenz-Management wird im Expertenkreis auch die Herausforderung verstanden, lagernde Bauteile und deren Beschaffungsstrategie an deren Verwendung in Produktionsanlagen anzupassen. Dies bedeutet, dass durch Demontagen von Produktionsanlagen sich auch der Bedarf an gewissen Ersatzteilen ändert. Gerade Altanlagen beinhalten oft bereits abgekündigte Bauteile. Stellt sich die Frage nach einer Bauteilbevorratung aufgrund einer Bauteilabkündigung, ist somit relevant, in welchen Produktionsanlagen diese in den nächsten Jahren noch benötigt werden, und welche dieser Anlagen sowieso in absehbarer Zeit demontiert werden.

### **2.2.2. Vorausschauende Prozesse / Analytics und Smart Maintenance**

Die Aufgaben der Instandhaltung wurden in den letzten Jahren stark verändert. Neue technische Möglichkeiten führen zu einer deutlichen Verbesserung von vorausschauender Wartung sowie des Managements von Assets (siehe Kapitel 1.2.3). Gutsche [60] beschreibt die Veränderung der Instandhaltung als „Wandel hin zu einer Smart Maintenance“ und definiert eine neue Rolle des „Instandhalter 4.0“.

#### **Vorausschauende Wartung dank Analytics**

Abbildung 23 zeigt die Kosten einer Produktionsanlage über den gesamten Lebenszyklus. Gerade die Betriebsphase inkl. ihrer Instandhaltungskosten trägt enorm zu den Gesamtkosten bei. In Hochlohnländern wirken sich hierbei stark die Personalkosten der Instandhalter aus

[61]. Daher müssen die Verfügbarkeit und die Instandhaltungskosten in einen optimalen Punkt gebracht werden.

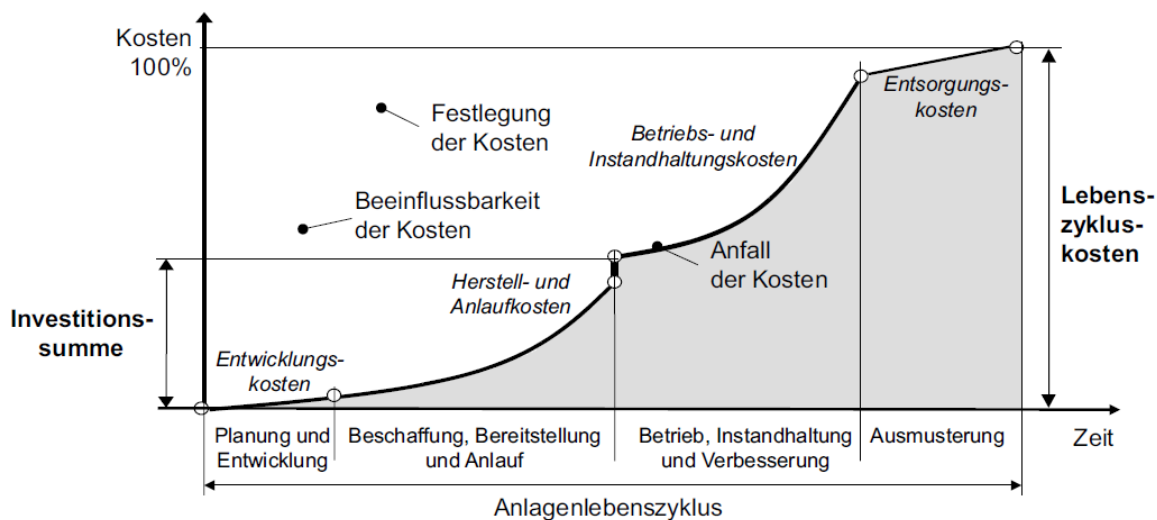


Abbildung 23: Lebenszykluskosten im Assetmanagement in Anlehnung an VDI 2884 [61]

Abbildung 24 zeigt eine Gegenüberstellung der Kosten für Wartung, Instandsetzung sowie der Verfügbarkeit der Produktionsanlage [61]. Eine rein reaktive Instandhaltungsstrategie verursacht wenig Kosten bei Wartungsaufwänden, verursacht aber einen hohen Aufwand bei den Instandsetzungskosten (Reparatur) und führt durch die spontanen Ausfälle der Anlagentechnik zu einer reduzierten Verfügbarkeit. Eine präventive Instandhaltungsstrategie fordert geplante Produktionsunterbrechungen und hohe Kosten bei den Wartungsaufwänden, da mehr gewartet oder getauscht wird als notwendig. Eine zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie zeichnet sich dadurch aus, dass nur notwendige Maßnahmen umgesetzt werden. Da dies geplant durchgeführt wird, ergibt sich auch eine optimale Verfügbarkeit.



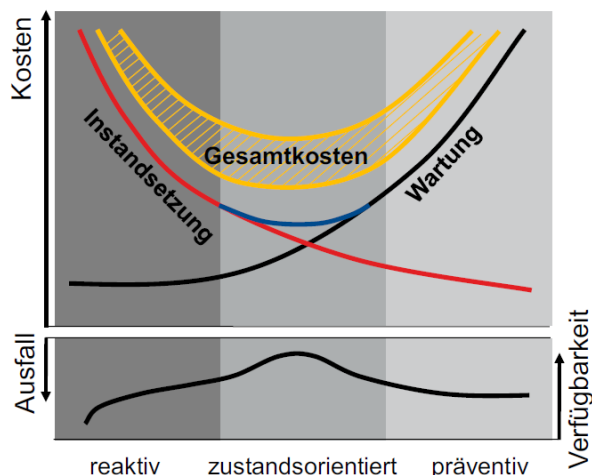


Abbildung 24: optimale Instandhaltungsstrategie nach [61]

Daraus ergibt sich der Anspruch, dass der Zustand der jeweiligen Anlagenteile und Komponenten jederzeit bekannt ist und ein drohender Ausfall frühzeitig vorhergesehen werden kann. Diese Herausforderung gliedert sich in mehrere Schritte. Abbildung 25 zeigt die Herangehensweise von der Erfassung der Informationen bis zur Ableitung von Maßnahmen.

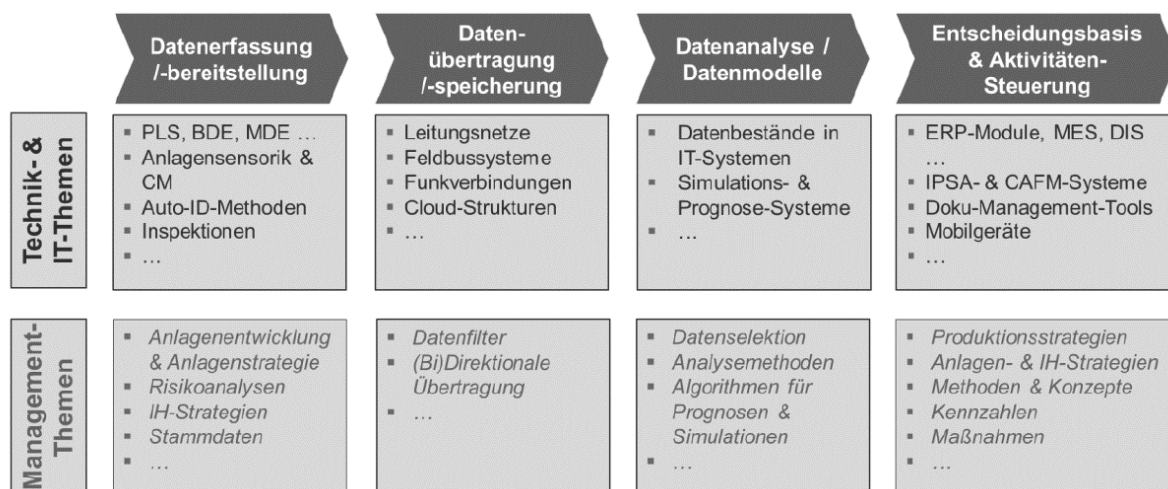


Abbildung 25: Durchgängiges I4.0 Konzept [17]

Der erste entscheidende Aspekt ist die Erfassung der entsprechenden Daten. Dafür sind eine entsprechende Vernetzungsarchitektur und die entsprechenden Austauschformate notwendig [62]. Die zu überwachenden Diagnosewerte und Anlagenzustandsindikatoren müssen gemäß einer Risikoabschätzung ausgewählt werden [17]. Dabei müssen die Fähigkeiten der jeweiligen Bauteile berücksichtigt werden. Zur Überwachung von Betriebszuständen müssen die Bauteile auch über entsprechende Fähigkeiten verfügen [17]. Die entsprechenden

Dateninhalte (Aktualwerte der Bauteile) werden über eine Kommunikationsschicht (z.B. OPC UA) in eine zentrale Datenhaltung übertragen [63]. Neben einer zentralen Datenhaltung werden auch Konzepte zu einer dezentralen Datenhaltung hinsichtlich ihrer Eignung untersucht [64]. Die gemessenen Werte werden zueinander ins Verhältnis gesetzt und unter Hinzunahme weiterer Informationen (Grenzwerte, Erfahrungswerte, Anlagentopologie, Umgebungstemperatur, etc.) unter Verwendung von KI Methoden und Analytics Algorithmen ausgewertet [64]. Anhand der Auswertungen und den damit verbundenen Prognosen zu Störungen und Ausfällen können entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen geplant werden. Die Details zu Industrie 4.0 Anlagentopologien und KI-Methoden sind hinlänglich bekannt und werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert. In den nachfolgenden Kapiteln werden die notwendigen Informationen zur erfolgreichen Umsetzung des beschriebenen Prozesses analysiert.

### **Smart Maintenance**

Die oben erwähnten zustandsabhängigen und präventiven Instandhaltungsstrategien fokussieren sich rein auf das Produktionssystem, also die Ressource. Die Instandhaltungsmaßnahmen werden automatisiert anhand der Anlagenzustände vorgeschlagen. Die Einplanung der Maßnahmen in die aktuelle Produktionsstrategie und organisatorische Gegebenheiten (z.B. Schicht- und Pausenzeiten) übernimmt weiterhin der Mensch (siehe Abbildung 25 „Entscheidungsbasis und Aktivitätensteuerung“).

Werden die Konzept der zustandsabhängigen und präventiven Instandhaltungsstrategien um eine automatisierte Berücksichtigung von Produktionsplanungen und anstehenden Maschinenbelastungen erweitert, spricht man von Smart Maintenance [65]. Abbildung 26 verdeutlicht diese Weiterentwicklung.

Eine Bedingung dafür ist, dass die KI-Methoden und Analytics-Algorithmen nicht nur die Daten der Produktionssysteme (Ressource) auswerten, sondern auch Produktinformationen und Prozessinformationen einbeziehen. Dies bedeutet einen Zugriff auf die entsprechenden Systeme und Informationsquellen in der Produktionsplanung bzw. im Engineerings.

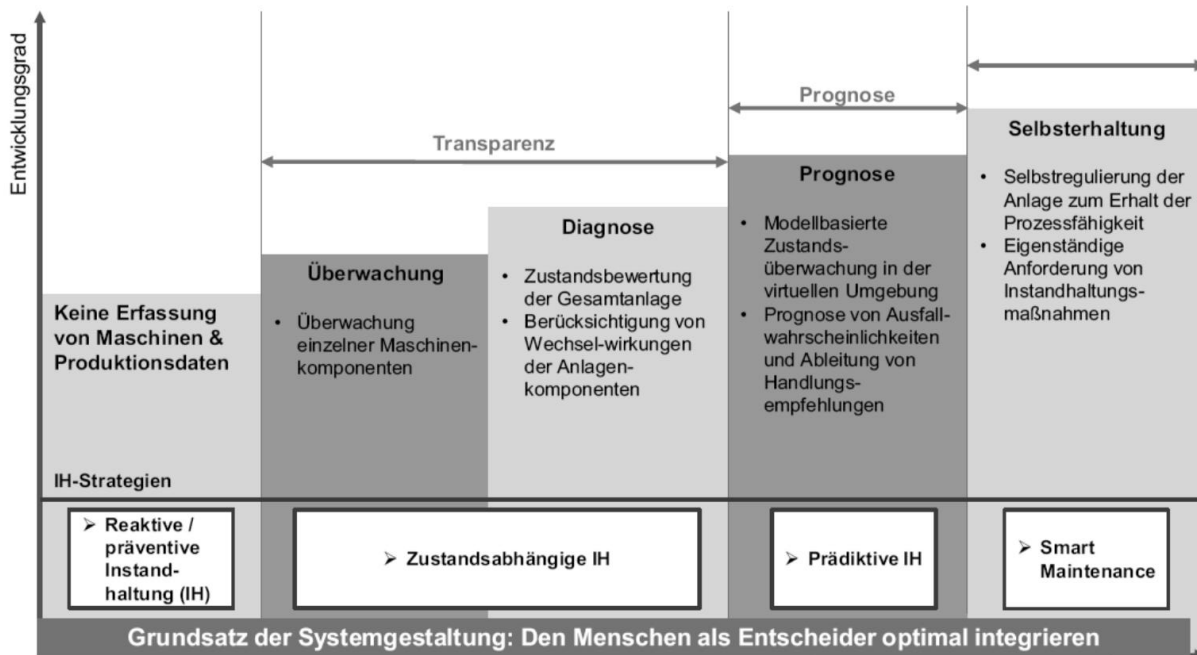


Abbildung 26: Entwicklung der Instandhaltungsstrategien bis zu "Smart Maintenance" [65]

### 2.2.3. Daten in den Instandhaltungsprozessen

Zusammenfassend aus den Kapiteln 2.2.1 und 2.2.2 ist festzustellen, dass für einen erfolgreichen Instandhaltungsprozess Informationen aus der Planungs- und Engineeringphase notwendig sind.

Für die Ablage der Dokumentation und der Engineeringdaten müssen die entsprechenden Dokumente und Dateien den richtigen Elementen der Produktionsanlage zugeordnet werden [54, 66, 67]. Diese Elemente müssen (wie auch im Engineering) in einer Hierarchie organisiert werden. Diese Informationen werden somit der Lebenslaufakte hinzugefügt (siehe unten). Ferner sind die Dokumente und Dateien über Elementattribute entsprechend zu kategorisieren und zu beschreiben. Die Kategorisierung kann hierbei entweder anhand von Disziplinen oder Hierarchien erfolgen. Eine weitere Möglichkeit der Kategorisierung von Dokumenten einer Produktionsanlage ist die VDI 2770 [67].

Für das Anlegen von Ersatzteilen sind die Informationen zu dem entsprechenden Bauteil notwendig [68, 69]. Dabei handelt es sich um eine Digitalisierung des Typenschildes, um das Bauteil eindeutig identifizieren zu können. Somit sind die Elemente mit ihren Elementattributen aus der Engineeringphase notwendig. Ferner müssen die Bauteile eindeutig in der Anlage

identifiziert werden. Daraus ergibt sich, dass die Elemente in einer Hierarchie vorliegen müssen.

Für das Nachfolgemangement von Ersatzteilen bzw. das Obsoleszenz-Management müssen die Ersatzteile zusätzliche Informationen erhalten. Im Laufe des Anlagenlebens müssen die Elemente um Attribute wie Abkündigungsinformationen oder Nachfolgerinformationen angereichert werden.

Predictive Maintenance erfordert, neben den bereits erwähnten Informationen aus den vorherigen Instandhaltungsprozessen, weitere Daten. Die zu messenden Werte und deren Zusammenhang zueinander müssen definiert werden bzw. bekannt sein. Werden Daten einer SPS beispielsweise über OPC UA zur Verfügung gestellt, muss dies inkl. aller Angaben zu Formaten, Bauteilbezug etc. in einem Datenmodell abgelegt werden. Neben der Kenntnis über die Schnittstellen sind auch die Auswertelgorithmen von Bedeutung. Die Literatur zeigt dafür aber keine automatisierte, technische Lösung auf.

Bei Smart Maintenance werden neben den technischen Informationen zur Produktionsanlage noch die Informationen über das Produkt und den Prozess herangezogen. Erst dieses Zusammenwirken gibt Aufschluss darüber, welches Produkt (inkl. technischer Eigenschaften) mit welchem Prozess (Geschwindigkeiten, Taktzeiten, Prozessart, etc.) auf welcher Ressource (Produktionsanlage) gefertigt wurde. Auf dieser Basis wäre eine Regelung von Instandhaltungsmaßnahmen möglich. Die Literatur zeigt dafür aber keine automatisierte, technische Lösung auf.

### **Lebenslaufakte**

Das Ziel, einem Datenobjekt, das für eine Anlage oder ein Bauteil steht, alle Informationen anzuhängen, die im Laufe seines realen Lebenszyklus anfallen ist nicht neu. Die „Lebenslaufakte“ ist eine *„Sammlung von dokumentierten Informationen zu einem Objekt über den gesamten Lebenszyklus in chronologischer Folge“* [54] wobei der Lebenszyklus der *„Anzahl von Phasen, die ein Objekt durchläuft, beginnend mit der Konzeption und endend mit der Entsorgung“* [54] entspricht.

Die verschiedenen Informationen der Lebenslaufakte fallen in unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus an. Die beginnen bereits bei der Planung und Entwicklung der Produktionsanlagen und Enden bei der Entsorgung [54, 66] wie in Abbildung 27 dargestellt.

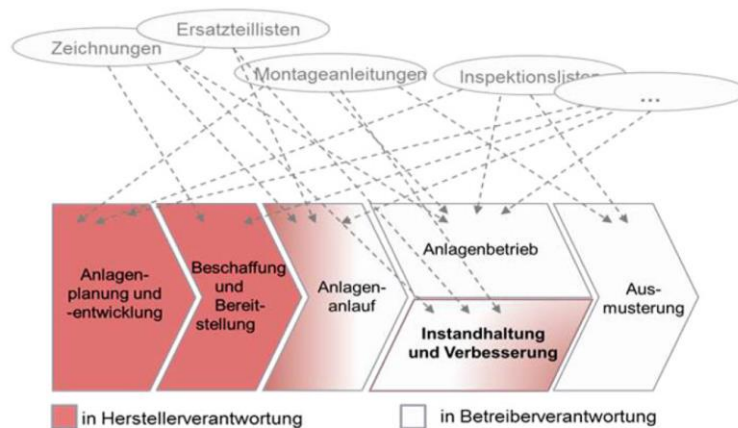


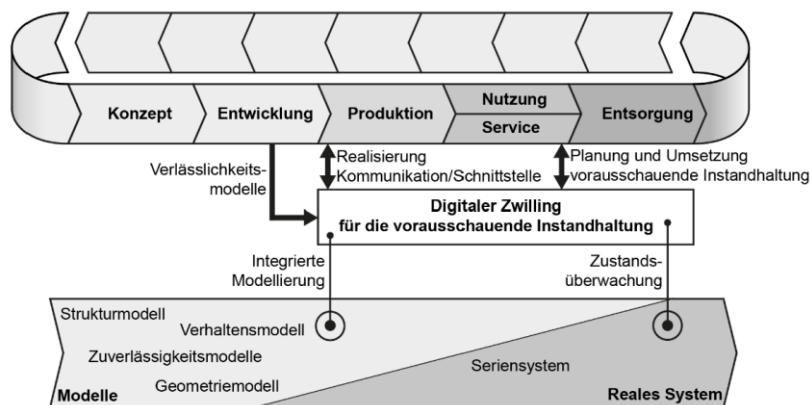
Abbildung 27: Lebenslaufakte - Informationsquellen über Lebenszyklus [66]

## 2.2.4. Zusammenwirken von Engineering und Betrieb

In den vorhergehenden Kapiteln wurden sowohl die Prozesse als auch die groben Inhalte der jeweiligen Planungs-, Engineering- und Instandhaltungsprozesse dargestellt. Die Instandhaltung bezieht den größten Teil der Informationen aus der Planung bzw. dem Engineering der Produktionsanlagen. Daher ist es essenziell, den Informationsübergang zwischen den beiden Hauptprozessen zu betrachten. Aus den Bedarfen an Informationen aus den Instandhaltungsprozessen lässt sich bereits ableiten, dass nur die Verbindung beider Hauptprozesse einen großen Mehrwert bei der Datendurchgängigkeit bietet.

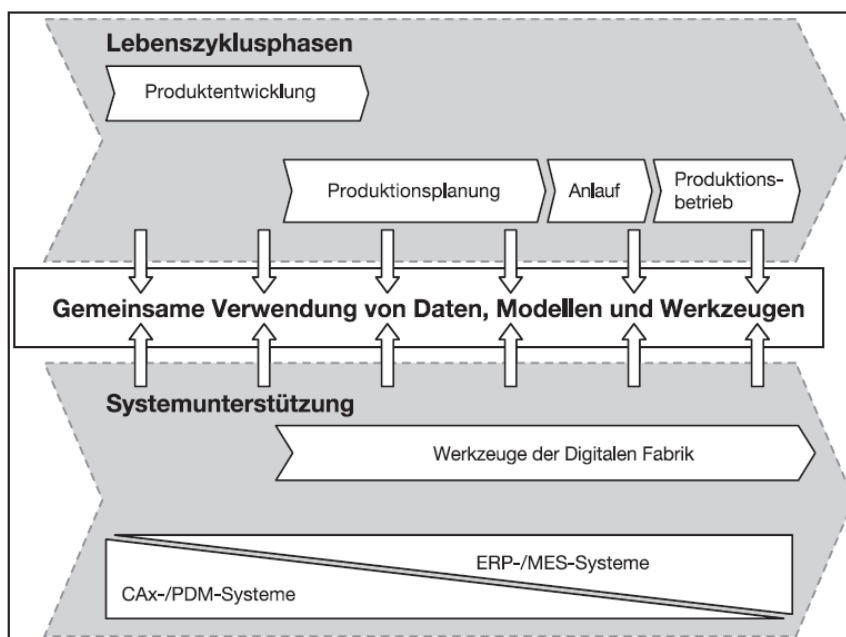
[70] beschreibt den Einsatz eines Digitalen Zwillings zur prädiktiven Instandhaltung. Im Zuge eines kanadisch-deutschen Forschungsprojekts „Closed-Loop-Manufacturing 4.0“ wurde in einer prototypischen Untersuchung ein Regelkreis aufgebaut, der mit Hilfe von aktuellen Maschinendaten und Sensorsignalen der Zerspanungsprozess einer Werkzeugmaschine optimiert wird, sowie die Vorhersage der Restlebensdauer von Maschinenkomponenten von diesen Maschinendaten abgeleitet wird. Die Instandhaltung wird hier im Bereich von Smart Maintenance (vorausschauender Instandhaltung) unterstützt, jedoch nicht beim Aufbau sämtlicher für smart Maintenance relevanter IoT Verbindungen.

[71] untersuchte die Nutzung eines Digitalen Zwillings aus dem Engineering zur Zuverlässigkeitsabschätzung. Dabei wurden, wie in Abbildung 28 dargestellt, Daten aus dem Engineering sowie Verhaltens- und Simulationsmodelle mit Echtzeitdaten kombiniert. Die Fähigkeit des Konzepts wurde anhand eines Wälzlagers prototypisch überprüft. Dabei wurden aus dem Engineering (Entwicklung) Verlässlichkeitsmodelle und Schnittstellendefinitionen sowie das gesamte Strukturmodell herangezogen. Auch hier liegt der Fokus auf smart Maintenance in einem kleinen Umfang. Der Aufbau aller notwendigen Datenverbindungen ist weiterhin manuell.



**Abbildung 28: Predictive Maintenance mit Digitalem Zwilling nach [71]**

Weitaus ganzheitlicher beschreibt die VDI Richtlinie 4499 Blatt 1 [1] die verschiedenen Lebenszyklusphasen eines Produktionssystems anhand Abbildung 29. Die verschiedenen Disziplinen und Werkzeuge (Tools) der Planung und des Betriebs müssen nach VDI 4499 über eine gemeinsame Plattform vernetzt werden. Dabei nutzen alle Disziplinen und Tools gemeinsame Daten und Modelle. Dies berücksichtigt auch den Bedarf der Instandhaltung nach Daten gemäß Kapitel 2.2.



**Abbildung 29: Lebenszyklusphasen des Produktionssystems nach VDI 4499 [1]**

Bracht [72] beschreibt den Nutzen der „Digitale Fabrik“ und damit der Daten aus dem Engineering im Betrieb folgendermaßen:

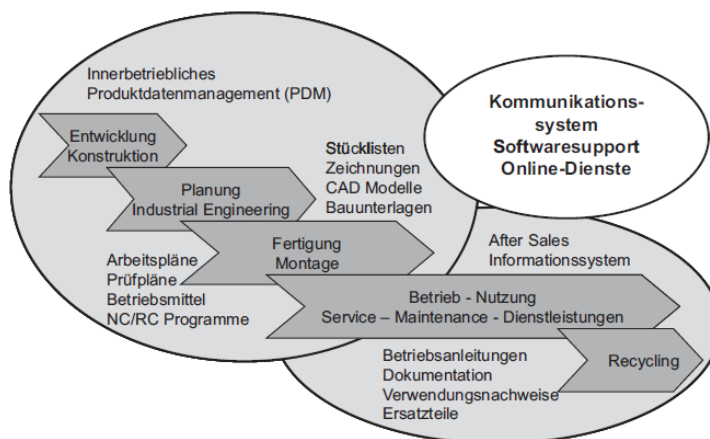
- Produktionsleittechnik: Die Leittechnik kann bei entsprechender Datendurchgängigkeit automatisch konfiguriert werden und die Struktur des Produktionssystems sowie die Abbildungen aus den vorhandenen Daten übernehmen
- Ablaufsimulationen im Betrieb: Regelmäßige und vorausschauende Simulationen auf Basis der Engineeringdaten unter Berücksichtigung der Produkt- und Prozessdaten können eine Vorschau auf die kommende Produktionssituation ermöglichen
- Planung von Rüstprozessen: Durch Simulationen können die ergonomischen Bedingungen optimiert werden.
- Wartungsarbeiten und Facility Management: Alle in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Wartungsprozesse am Produktionssystem (Anlagen und Gebäude) können auf Basis der Engineeringdaten einfacher und effizienter durchgeführt werden.
- Mobile Endgeräte und Apps: Durch mobile Endgeräte können die Instandhalter einfacher auf Daten zugreifen, wenn diese auch zur Verfügung stehen. Ein Bauteiltausch und die Dokumentation können effizienter und schneller durchgeführt werden.

[73] beschreibt die Nutzung eines Digitalen Zwilling (in diesem Fall die digitale Repräsentanz des Produktionssystems) über folgende Use Cases:

- Konfiguration und Simulation bei neuen Produktionslinien mit dem Fokus auf Ablaufsimulation, Performance Aussagen etc.
- Konfiguration und Simulation bei Umbauten: Siehe Punkt oben.
- Planung von Produktionsanlagen: Der Digitale Zwilling dient als semantisches Datenmodell
- Inbetriebnahme: Durchführung der virtuellen Inbetriebnahme
- Condition Monitoring und Zustandsbewertung von Komponenten im Betrieb

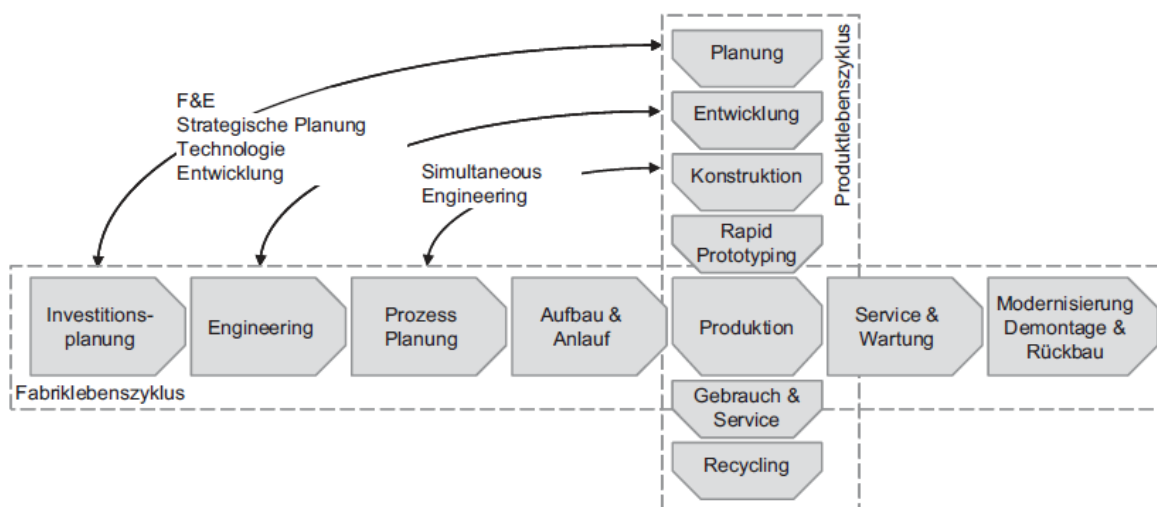
[73] beschreibt somit ebenfalls die Nutzung von den gleichen Informationen in einer einheitlichen Datenbasis für die unterschiedlichen Phasen von Planung, Engineering und Betrieb einer Produktionslinie.

Weitere Aspekte zum Lifecyclemanagement und dem Zusammenwirken von Planung und Betrieb liefern Westkämper et al.. Abbildung 30 zeigt einen Überblick über das Produktdatenmanagement laut Westkämper [74]. Das zu fertigende Produkt durchläuft hierbei alle Phasen von der Entwicklung bis zum Recycling. Der Anspruch an ein Produktdatenmanagement ist, dass es über den gesamten Lebenszyklus über einheitliche Kommunikationssysteme und Dienste gemanaget wird [74].



**Abbildung 30: Produktdatenmanagement im Lebenszyklusmanagement [74]**

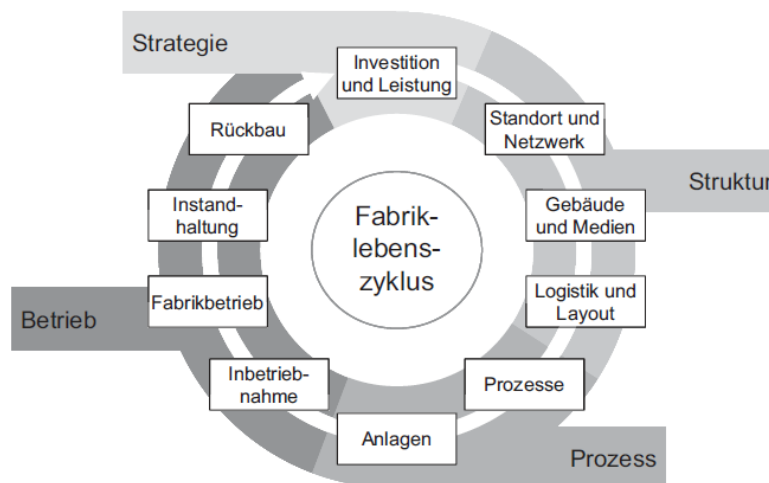
Das Produkt und das Produktdatenmanagement beeinflussen die Produktion des Produkts. Abbildung 31 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Produktlebenszyklus und dem Fabriklebenszyklus nach Westkämper. Das Produkt definiert über seine Eigenschaften die gesamte Planungs- und Engineeringphase. Der Abbildung ist auch zu entnehmen, dass es keine einseitige Beeinflussung gibt. Vielmehr beeinflusst das Produktionssystem ebenfalls die Produktgestaltung.



**Abbildung 31: Zusammenhang Produkt und Fabriklebenszyklus nach Westkämper [74]**

Betrachtet man nun den Fabriklebenszyklus im Detail, so folgt dieser ebenfalls einem Leben von der initialen Planung über den Betrieb (Produktion) bis zur Demontage. Abbildung 32 verdeutlicht aber, dass das Produktionssystem in den wenigsten Fällen nach einer Anlagendemontage (Rückbau) am Ende des Fabriklebenszyklus angekommen ist. Die Fabrik lebt weiter und die durch den Rückbau gewonnene Produktionsfläche wird mit neuen Prozessen genutzt. Das bedeutet, dass zum Beispiel Gebäudeinformationen weiterhin Bestand haben, aber die Anlagenzellen durch neue Elemente ersetzt werden.

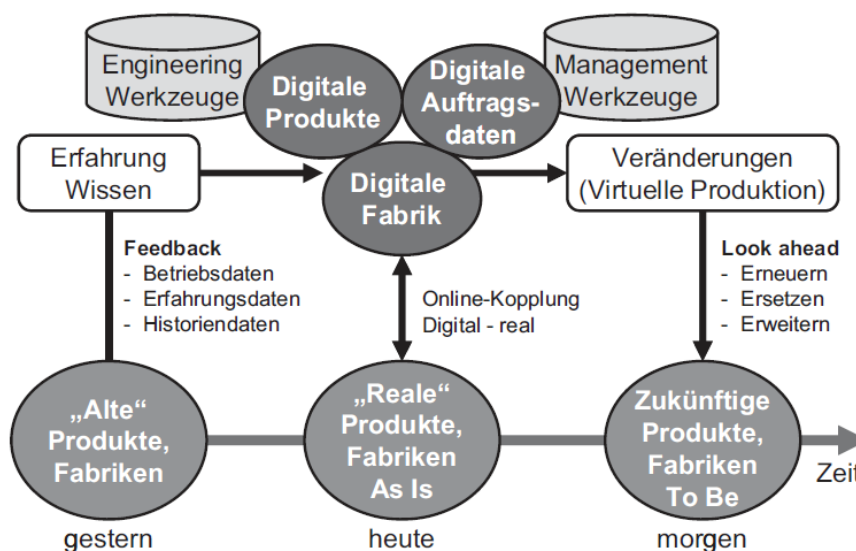




**Abbildung 32: Fabriklebenszyklusmanagement nach Westkämper [74]**

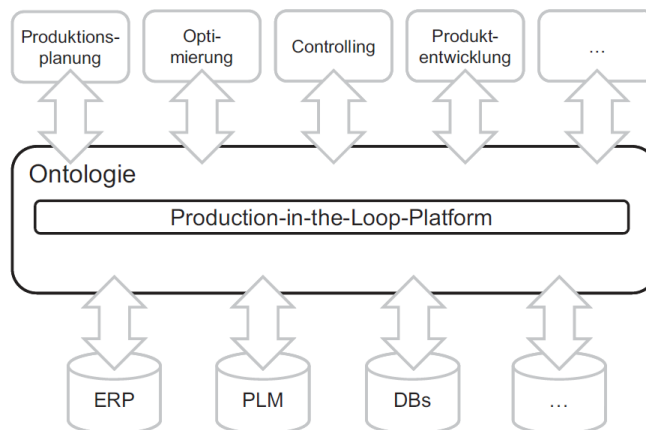
Abbildung 32 verdeutlicht ebenfalls, dass sich alle Planungs- und Betriebsprozesse in einem dauerhaften Kreislauf befinden. Der Betrieb ist abhängig von Informationen aus der Planung. Die Planung wiederum ist abhängig von den Informationen aus dem Betrieb, sollte das Produktionssystem im nächsten Zyklus überarbeitet werden.

Westkämper [75] definiert ferner das Zielbild Digitale Produktion als ein Zusammenwirken aller Produkte, Objekte und Ressourcen mit Hilfe von IT Werkzeugen in einer vernetzten Umgebung. Dabei greifen die Engineering Werkzeuge sowie die Management Werkzeuge im Betrieb ineinander (siehe Abbildung 33). Dabei sind die wesentlichen Eigenschaften der digitalen Produktion „der permanente Abgleich des realen Geschehens mit der digitalen Repräsentanz“ sowie „eine zeitliche diskrete oder kontinuierliche Entwicklung“ [75].



**Abbildung 33: Digitale Produktion nach [75]**

[76] beschreibt das Zusammenwirken von Planung und Betrieb als „Production in the Loop“. Dafür ist eine gemeinsame „Production in the Loop Plattform“ notwendig, die auf einer Ontologie basiert. Diese stellt eine Menge aus Definitionen und Einschränkungen dar, die zu einem einheitlichen Vokabular und somit zu einem einheitlichen Datenformat führt [76] (siehe



**Abbildung 34: Production in the Loop Plattform nach [76]**

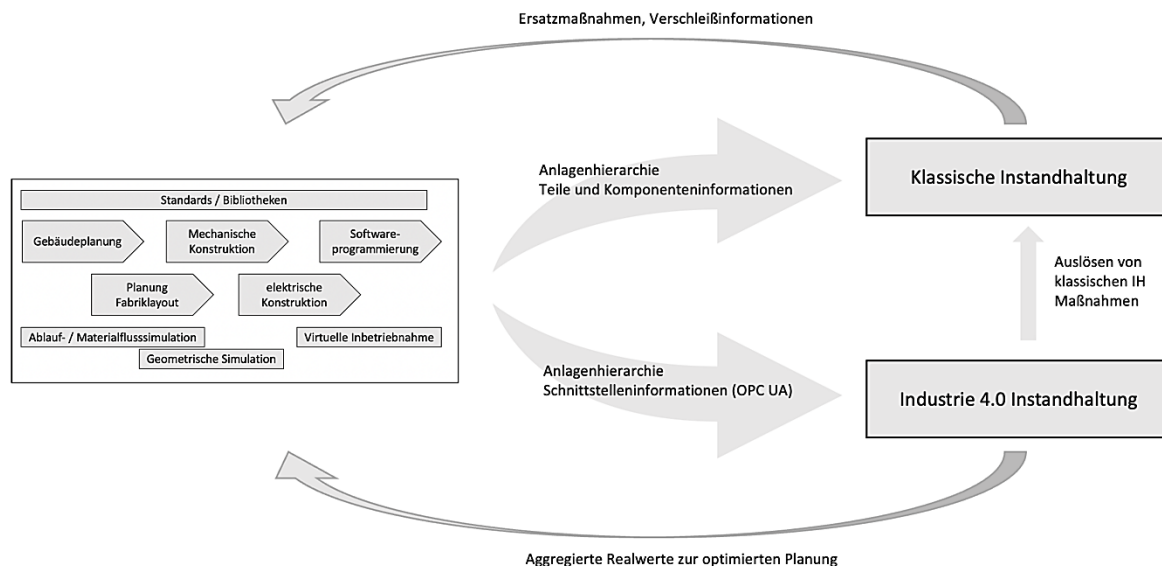
[77] beschreibt die Zukunft der Instandhaltung in Form einer Architektur bestehend aus smarten Instandhaltungsplanungssystemen, smarten Komponenten und Zustandsüberwachungssystemen. Dabei wird festgestellt, dass im Engineering der Produktionsanlagen bereits die Basis für die smarten Instandhaltungssysteme in Form von Stammdaten gelegt werden muss.

Die Nutzung der Digitalen Fabrik im Betrieb wird an vielen weiteren Stellen betrachtet. In vielen Fällen wird dabei die Anwendung der Digitalen Fabrik für die Simulation im Betrieb in den Fokus gestellt wie bei [78] und [79].

### **Fazit:**

Die Literatur verfolgt im Allgemeinen ähnliche Zielbilder. Alle Disziplinen über den gesamten Fabriklebenszyklus arbeiten über einen gemeinsamen Datenraum ohne manuelle Transformationen zusammen. Der Literatur ist aber keineswegs eine industrietaugliche Lösung zu entnehmen. Auch die detaillierten Dateninhalte, die notwendig sind, um die Instandhaltungsprozesse erfolgreich aus dem Engineering zu versorgen, werden nicht beschrieben. In vielen Fällen wird der Begriff „Digitaler Zwilling“ verwendet, wenn auch in unterschiedlicher Form. Die genaue Schärfung des Begriffs ist für diese Betrachtung wichtig und folgt in Kapitel 3.1.

Lenkt man den Fokus wieder auf die Belange der Instandhaltungsprozesse, so lässt sich ein vereinfachtes Bild zeichnen. Abbildung 35 zeigt das Zusammenwirken der beiden in Kapitel 2 definierten Hauptprozesse mit dem Fokus auf die Instandhaltung.



**Abbildung 35: Zusammenwirken Engineering und Betrieb auf Datenebene (vereinfacht)**

Die wesentlichen Informationen, die die Planung und das Engineering an die Instandhaltung liefern sollten, sind die Anlagenhierarchie und alle Komponenteninformationen sowie die Schnittstelleninformationen für alle Industrie 4.0 Anwendungen. Zu beachten ist aber, dass die genauen Inhalte bisher nicht spezifiziert wurden, sondern nur als grobes Zielbild existieren.

### **3. Stand der Technik Datenformate und Tools**

Kapitel 2 hat die Prozesse und Inhalte der beiden Hauptprozesse beschrieben. Um diese Hauptprozesse im Zielbild automatisiert auf Datenebene zu verknüpfen, stellt sich die Frage, welche Datenmodelle oder Datenformate hier bereits bekannt sind. Als generelle Lösung wird an dieser Stelle weitläufig der „Digitale Zwilling“ oder der „Digitale Schatten“ genannt. Daher ist auch hierfür eine genauere Betrachtung hinsichtlich Dateninhalte und prozessualer Einordnung notwendig.

#### **3.1. Definition „Digitaler Zwilling“ und „Digitaler Schatten“ und deren Bezug zum Anlagenengineering und Anlagenbetrieb**

In den vorhergehenden Kapiteln wurde für die digitalen Modelle oder digitalen Repräsentanzen oft der Begriff „Digitaler Zwilling“ verwendet. Die Begriffe „Digitaler Zwilling“ und „Digitaler Schatten“ werden zwar seit dem Beginn der aktuellen Digitalisierungsoffensiven regelmäßig verwendet, jedoch oft in unterschiedlichem Kontext bzw. mit unterschiedlichen Definitionen. Daher ist eine genaue Betrachtung erforderlich, um die Grundlage für die zukünftigen Kapitel zu legen.

[80] betrachtet die Herausforderung, dass in vielen Schritten des Engineerings einzelne Digitale Zwillinge entstehen, die zu einem System zusammengefasst werden müssen (vgl. Abbildung 7). Dabei müssen einzelne digitale Zwillinge von Komponenten miteinander verbunden und dafür die Information harmonisiert werden. [80] spricht in diesem Fall von einem Netzwerk von Digitalen Zwillingen bzw. dem Digitalen Zwilling eines Systems. Der Digitale Zwilling wird in diesem Fall als digitale Repräsentanz eines Assets (einer Komponente) angesehen, egal ob diese physikalisch vorhanden ist oder nicht. Der Digitale Schatten wird in [80] als Summe aller zyklischen Abbilder der Betriebsdaten des jeweiligen Assets definiert.

Das Gabler Wirtschaftslexikon definiert den digitalen Zwilling als ein digitales Modell, das sein reales Pendant während dessen gesamten Produktlebenszyklus begleitet [81]. In den verschiedenen Phasen ist der digitale Zwilling in (Simulations-)Tools aktiv für Untersuchungen nutzbar. Er ist erweiterbar und eine Synchronisation mit dem Original ist möglich. Das bedeutet z.B. dass konstruktive Änderungen oder Anpassungen der Betriebsparameter auch in den digitalen Zwilling überführt werden.

Die Automobilindustrie definiert die beiden Begriffe innerhalb einer Handlungsempfehlung des VDA e.V. [82]. Die Handlungsempfehlung sieht im Digitalen Zwilling die vollständige virtuelle Instanz einer physischen Komponente [82]. Der Digitale Schatten beschreibt aus Sicht der Automobilindustrie die Aufbereitung der Zustandsinformationen aus dem Shopfloor [82]. Der Digitale Schatten beinhaltet somit alle Live – Daten aus dem Betrieb einer Anlage.

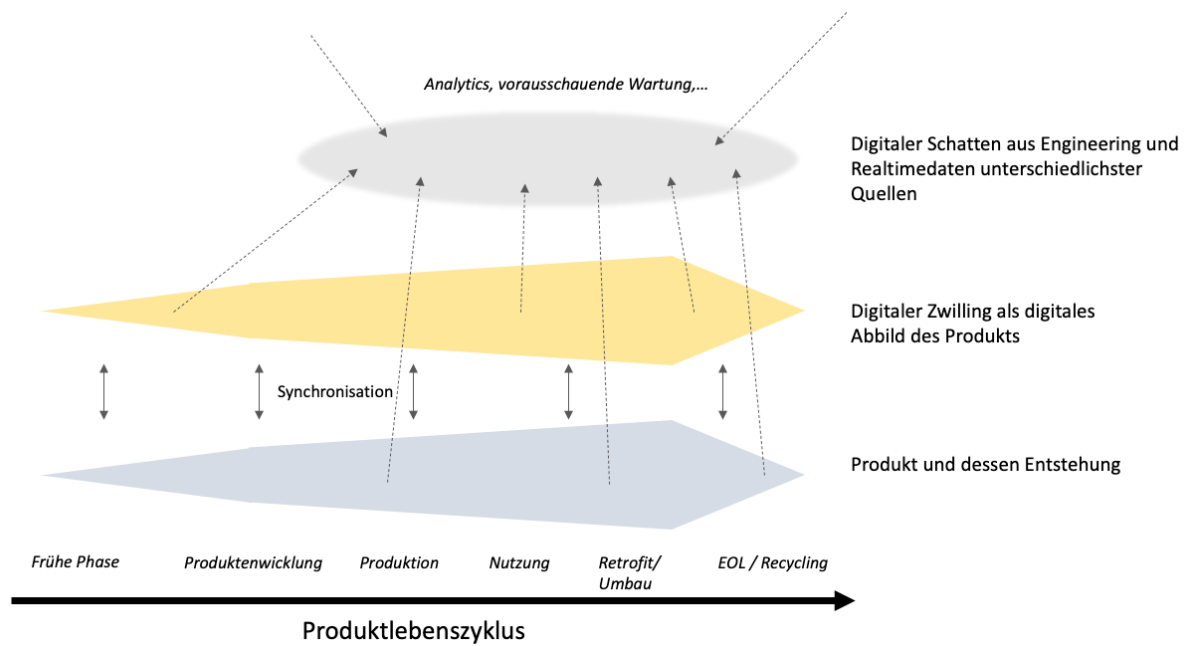
[83] setzt den Digitalen Zwilling gleich mit einem Metamodel, das alle Informationen aller am Prozess beteiligten Prozesse und Anlagenteile enthält. Außerdem werden diskrete Simulationen dem Digitalen Zwilling zugeordnet. Alle weiteren Applikationen und Kommunikationsschichten, die zu einem Zusammenwirken aller Prozesse und Anlagenteile inkl. einer intelligenten vernetzten Steuerung und Analytics (siehe Kapitel 2.2) führen, werden als cyberphysisches Produktionssystem bezeichnet (CPPS).

Die Daten des CPPS liegen jedoch heterogen, unstrukturiert und isoliert vor [84]. Gemäß Schuh et al. stellt der digitale Schatten die geordneten Daten des CPPS dar, welche für strukturierte und zielgerichtete Auswertungen herangezogen werden können [84].

Klostermeier [85] führte Experteninterviews durch, um die Definition des Begriffs Digitaler Zwilling mit dem Verständnis und den Anforderungen verschiedener Unternehmen abzugleichen. Dabei zeigt sich, dass die Definition des Begriffs stark abhängig von der Branche ist. Produzierende Unternehmen sehen im Digitalen Zwilling das digitale Abbild aller Produkt und Prozessdaten über den Produktlebenszyklus. Softwareunternehmen legen den Fokus stärker auf die Datenspeicherung und die IT Anforderungen. Hersteller von Simulationslösungen sehen das Simulationsmodell bereits als Digitalen Zwilling an.

[86] blickt auf den Digitalen Schatten aus einem anderen Winkel. Der Scope wird geöffnet und das Produktionssystem von verarbeitenden Unternehmen verlassen. Dabei wird der Digitale Schatten als individueller digitaler Fußabdruck eines jeden realweltlichen Objekts angesehen. In Branchen außerhalb der Produktion können dies auch Bilder, Bewegungsprofile, Telefongespräche oder E-Mails sein.

Abbildung 36 zeigt die konsolidierte und vereinfachte Darstellung der Definitionen im Zusammenhang mit dem Produktlebenszyklus. Der digitale Zwilling entspricht dem digitalen Abbild der Planung und Engineeringdaten des Produktionssystems. Der Digitale Schatten enthält die geordneten Realtimedaten, die ein CPPS über sämtliche Sensoren und Auswertungen zur Verfügung stellt.



**Abbildung 36: Digitaler Zwilling / Digitaler Schatten**

**Fazit:**

Die Literatur unterscheidet zwischen Digitalem Zwilling und Digitalem Schatten. Die generelle Definition gleicht sich, aber im Detail gibt es Unterschiede bei der Abgrenzung. Die Sicht in der Industrie ist laut Klostermeier [85] nicht eindeutig. Die Begriffe sorgen im Management der Unternehmen vermehrt zur Verwirrung. Dabei liegt die Herausforderung im Engineering, eine entsprechende Datenlogistik und einen Datenraum zu schaffen, der das CPPS entsprechend beschreibt [87]. Um jedoch die Verarbeitung der Daten auch im Betrieb (hier v.A. Instandhaltung) effizient nutzbar zu machen, müssen die Datenmodelle entsprechend auf den Betrieb ausgelegt Informationen enthalten bzw. die Daten entsprechend transformiert werden. Eine Unterscheidung zwischen den Begriffen Zwilling und Schatten ist hier nicht zielführend.

Für die weitere Betrachtung werden den Begriffen Digitaler Zwilling und Digitaler Schatten keine weitere Beachtung geschenkt. Es wird von digitalen Abbildern und Datenmodellen die Rede sein.

### 3.2. Aktuelle Toolketten

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die einzelnen Prozesse und die groben Dateninhalte der einzelnen Disziplinen beschrieben. Im nächsten Schritt sind nun die dazu verwendeten Tools zu betrachten. Eine Kenntnis der aktuell verwendeten Tools ist entscheidend für die

spätere Analyse der Informationen, die aus Sicht der Instandhaltungsprozesse relevant sind. Die nachfolgenden Tools sind das Ergebnis einer Online-Recherche zu den entsprechenden Disziplinen sowie der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt DIAMOND [36]. Es handelt sich nicht um eine vollständige Auswahl, sondern um etablierte Tools mit dem Fokus auf die Industrie. Ein weiteres Ziel war, eine starke Unterscheidung bei den Herstellern zu erreichen. Somit musste ein Kompromiss aus de facto Standards und einer guten Mischung mit Alternativen gefunden werden.

Die Recherche sowie die teilweise direkte Anwendung der Tools und Plattformen bilden die Basis für die späteren Aussagen hinsichtlich Fähigkeiten und Inhalte der Toolketten und bilden somit eine große inhaltliche Basis. Die Details zu den aktuellen Fähigkeiten der Tools werden jedoch nicht in dieser Arbeit beleuchtet. Die jeweils betrachteten Tools werden aufgeführt und die jeweilige Onlineadresse des Herstellers in den Quellen angegeben.

### **3.2.1. Im Anlagenengineering**

In der Fabrikplanung / Layoutplanung wurden folgende Tools betrachtet:

- Visual Components Essential [88]
- Bentley Microstation und Project Wise [89]
- Tarakos VR Builder [90]
- Autodesk AutoCAD und Plattform Forge [91]

Dabei ist festzustellen, dass die Hersteller in der Fabrikplanung selten ein einzelnes Tools im Portfolio haben. In der Fabrikplanung haben sich Plattformen zum Datenaustausch etabliert, die sowohl verschiedene Formate verbinden als auch eine gemeinsame Kollaboration und Ablage zulassen. Mit dem Fokus auf Daten ist damit kritisch zu hinterfragen, ob jedes Einzeltool betrachtet werden muss, oder etwaige Anforderungen an neutrale Formate an die Plattformen gestellt werden müssen. Gerade in der Fabrikplanung / Layoutplanung unterscheiden sich die Tools in den Schnittstellen stark.

In der 3-D-Konstruktion wurden folgende Tools betrachtet:

- Autodesk Inventor [92]
- Catia und 3D Experience [93]
- Creo Parametric (früher Pro Engineer) [94]
- Siemens NX und Teamcenter [95]

Wie bei den Tools der Fabrik- und Layoutplanung werden von den Herstellern neben den einzelnen Konstruktionstools oft cloudbasierte Kollaborationsplattformen bereitgestellt. Dabei werden alle mechanischen Aspekte von den CAD-Modellen von Komponenten bis zur gesamten CAD-Baugruppenkonstruktion inklusive Stückliste der Komponenten in eine Datenablage integriert.

In der Elektrokonstruktion wurden folgende Tools betrachtet:

- Autocad Electric [96]
- EPlan Electric [97]
- Schneider ETAP [98]
- Solid Works Electric [99]

Die Elektroplanung ist im Gegensatz zur den 3D Konstruktionstools und den Layouttools weniger über integrative Plattformen verbunden. Lediglich der Siemens Automation Designer [100] verfolgt das Ziel inkl. einer kompletten Integration der Elektroplanung in die 3D Konstruktion und Softwareentwicklung.

In der Softwareentwicklung für SPS wurden folgende Tools betrachtet:

- B&R Automation Studio [101]
- Beckhoff TwinCAT [102]
- Mitsubishi Electric iQ Works [103]
- Siemens TIA Portal [104]

Die Softwareentwicklung ist im Gegensatz zu den 3D-Disziplinen in den meisten Fällen eine separierte Toolkategorie, die nicht an die großen Plattformen der Layouts und Konstruktionen angebunden ist. Die Ausnahme bildet der bereits erwähnte Automation Designer der Firma Siemens. Die Tools verfügen über Importe und Exporte, um z.B. die Hardwarekonfiguration oder SPS-Signale über entsprechende Austauschformate zu teilen oder konsumieren.

Die Engineeringschritte werden komplettiert durch Simulationen. Die Simulation mit den meisten Anforderungen an Daten stellt hierbei die virtuelle Inbetriebnahme dar. Daher wurde sie an dieser Stelle als einzige Simulationsart genauer betrachtet:

- EKS RF::Suite [105]
- FE Screen Sim [106]
- ISG Virtuos [107]
- Siemens Simit [108]
- Mewes&Partner WinMOD [109]

Auch bei den Tools der virtuellen Inbetriebnahme fehlt eine Anbindung an große Plattformen. Die Tools verfügen aber über umfangreiche Importmöglichkeiten für die jeweiligen Engineering-Informationen aus vorhergehenden Schritten.

### **3.2.2. In Instandhaltungsprozessen**

Im Instandhaltungsprozess existieren passend zu den zwei Teilprozessen auch unterschiedliche Tools und Toolkategorien.



Im klassischen Instandhaltungsprozess dominieren EAM-Systeme von großen Softwareherstellern. Die Kernaufgabe der „Enterprise Asset Management“ Tools ist im Falle der Instandhaltung das Management der Ersatz- und Verschleißteile sowie der dafür notwendigen Reparatur- und Wartungsaufgaben. Dafür haben die meisten Firmen spezielle Module für die Instandhaltungsprozesse sowie das Managen von Ersatzteilen. In vielen Fällen schließen an diese Module ERP-Systeme an, die die Beschaffung der entsprechenden Teile übernehmen.

Zur Erarbeitung passender Anforderungen an den Planungsprozess wurden für diese Arbeit die Fähigkeiten folgender Tools betrachtet:

- SAP EAM / PM [110]
- IBM EAM [111]
- Infor EAM [112]

Die Tools besitzen bei grober Betrachtung vergleichbare Fähigkeiten.

Im Bereich der neuen Analytics-Tools für vorausschauende Wartung haben einige neue Anbieter den Markt für industrielle Instandhaltung betreten. Der Fokus liegt dabei auf der effizienten Erstellung von Vergleichs- und Auswertemechanismen sowie der Darstellung der Ergebnisse in übersichtlichen Dashboards. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Nutzung von KI-basierten Auswertungen. Die Tools sind in den meisten Fällen fest mit einer entsprechenden Cloud-Plattform gekoppelt, die die entsprechenden Daten hält. Zur Erarbeitung passender Anforderungen an den Planungsprozess wurden für diese Arbeit die Fähigkeiten folgender Tools betrachtet:

- Palantir Impact [113]
- Siemens Mindspere [114]
- Splunc Cloud Platform [115]
- Y42 Platform [116]

Die Tools besitzen bei grober Betrachtung vergleichbare Fähigkeiten.

### 3.3. Aktueller Stand Datenmodellierung und Standards

In Kapitel 1.1.1 wurden bereits unterschiedliche Datenstandards erwähnt. Diese bilden die Basis für die weiteren Kapitel und werden an dieser Stelle vorgestellt.

#### 3.3.1. AML

Automation ML ist ein XML basiertes Datenformat mit dem Zweck des herstellerunabhängigen Austauschs von Entwurfsdaten zwischen Tools der unterschiedlichen Disziplinen [117]. Dafür werden existierende Standards und Normen berücksichtigt. AutomationML ist wiederum selbst über die IEC 62714 standardisiert. Die Basis für Automation ML bildet hierbei CAEX (IEC 62424) mit der Kernfunktionalität, Engineeringdaten in einer objektorientierten Art zu speichern [50, 117]. Abbildung 37 zeigt den schematischen Aufbau von CAEX mit Objekten, die in einer Hierarchie organisiert sind, sowie möglicher Informationen, die mit den entsprechenden Objekten verknüpft werden können.

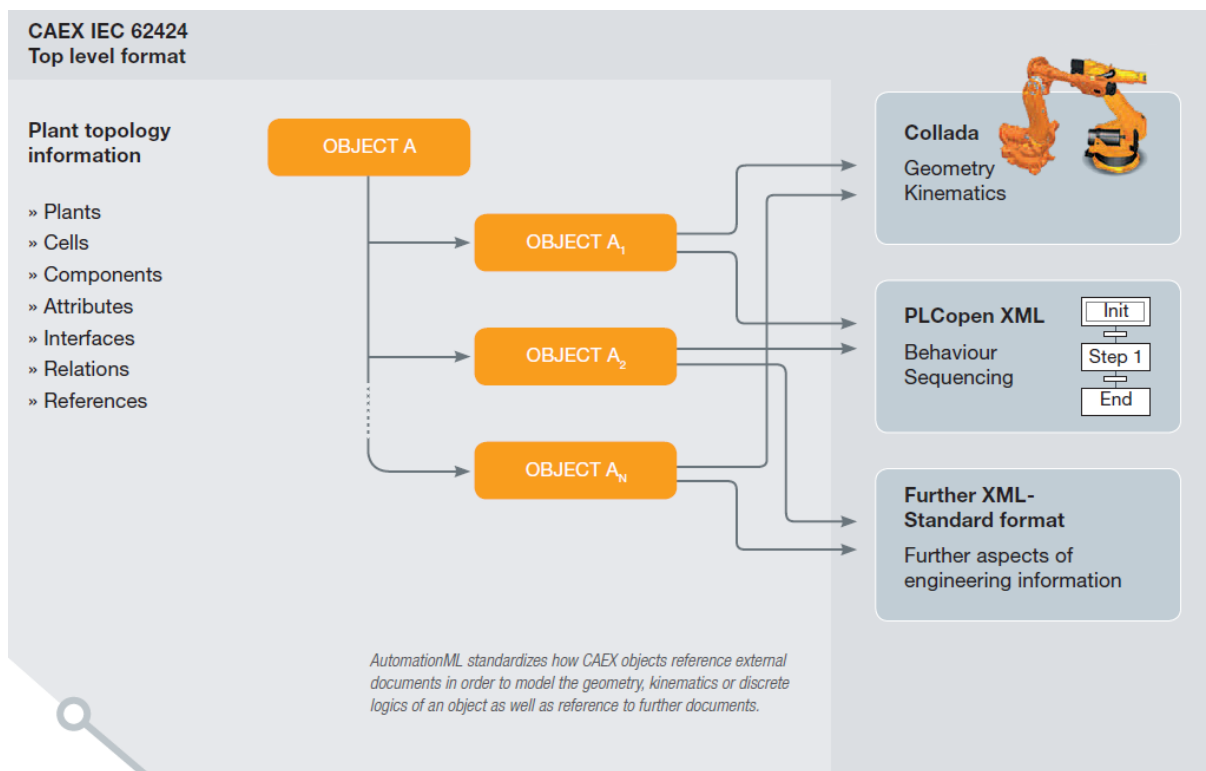


Abbildung 37: AML Architektur - CEAX [117]

Der Hauptfokus von Automation ML liegt im Bereich des Engineerings von Produktionssystemen und deren Inbetriebnahme unter der Berücksichtigung von zukünftigen Industrie 4.0 Use Cases [118].

Die wichtigsten Eigenschaften von Automation ML sind den entsprechenden Whitepapers zu entnehmen, welche auf der Homepage des Automation ML e.V. verfügbar sowie in der IEC 62714 die Grundlage bilden.

Für den Betrachtungsumfang dieser Arbeit sind folgende Eigenschaften und Funktionen basierend auf den Whitpapers Part 1 [119] und Part 2 [120] relevant:

- Objekte werden über einen „Global unique identifier“ (GUID) basierend auf einer UUID (universal unique identifier) eindeutig identifiziert (siehe Abbildung 38).
- Objekte werden in Form von „internal elements“ in einer Hierarchie modelliert (siehe Abbildung 38)
- Den Internal Elements können Attribute in beliebiger Verschachtelung hinzugefügt werden (siehe Abbildung 39).
- Internal Elements können auch weitere Dokumente wie CAD-Zeichnungen, Verhaltensmodelle, ... enthalten.
- Internal Links stellen Verbindungen der Objekte her (siehe Abbildung 83)
- Mit external References können Referenzen auf externe Quellen im Datenmodell hinterlegt werden (siehe Abbildung 40)
- Generische Standards zur Beschreibung eines Datenmodells können in Form von Rollenklassen und entsprechenden Bibliotheken definiert werden (siehe Abbildung 82)
- Typ- oder Bauteilbibliotheken (noch nicht instanziiert) können in Form einer „System Unit Class Library“ modelliert werden. Dies dient z.B. zur Bereitstellung von Katalogen eines Herstellers von Komponenten.
- Konkrete Instanzen werden von diesen Bibliotheken abgeleitet und in der „Instance Hierarchy“ modelliert (siehe Abbildung 38)

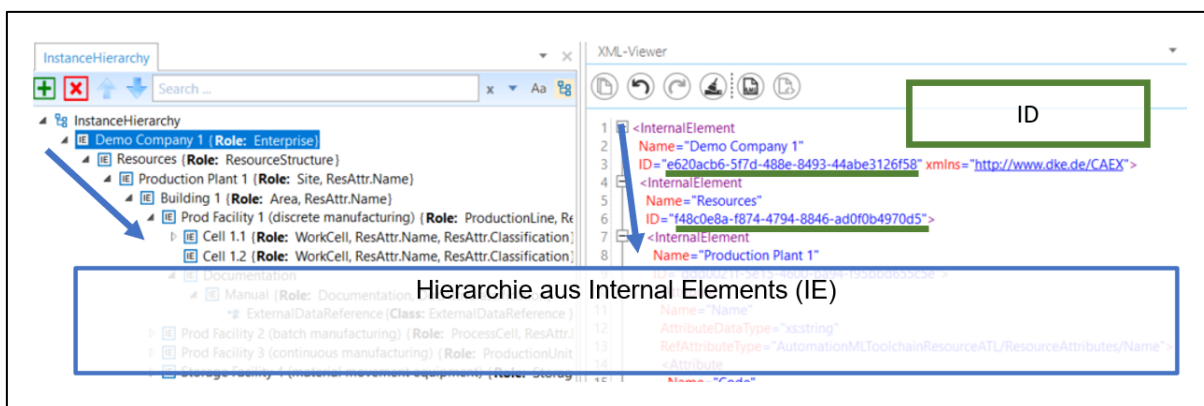


Abbildung 38: AML Basics: Internal Elements (Hierarchie und ID)

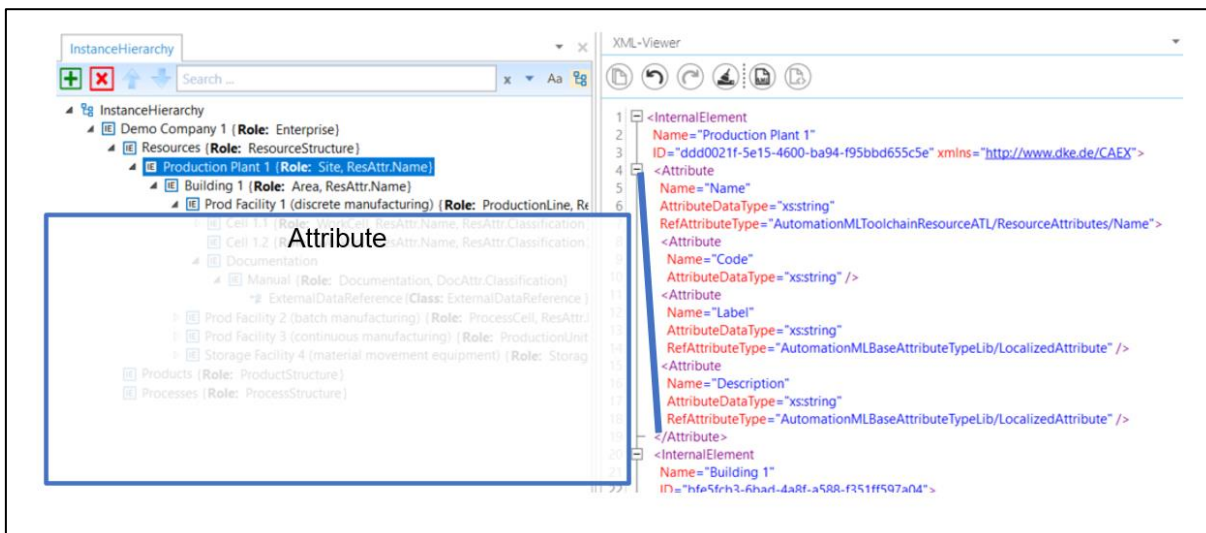


Abbildung 39: AML Basics: Attribute

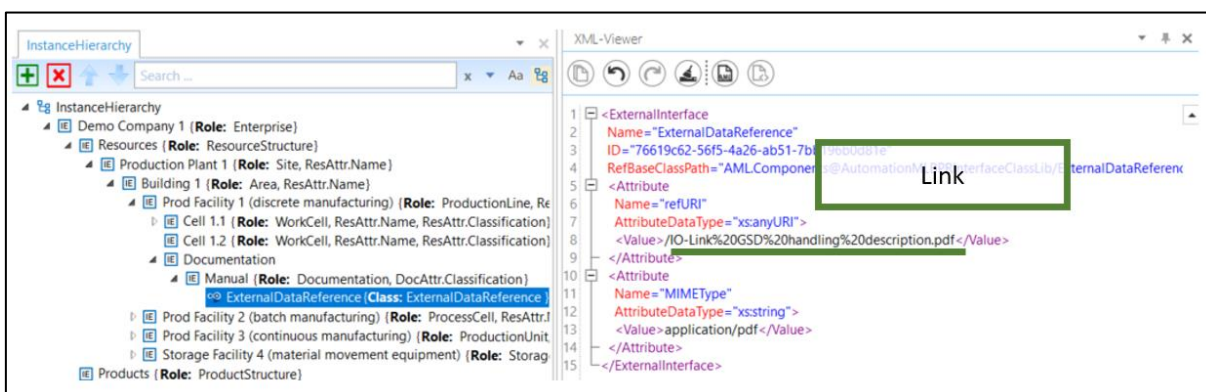


Abbildung 40: AML Basics: external Reference

Außerdem beschreiben spezielle Dokumente die Integration von relevanten, vorhandenen Standards wie der Abbildung von OPC UA in AML [121] oder der Abbildung der Asset Administration Shell in AML [122].

Neben der Standardisierung und Normierung des Datenformats werden durch den AutomationML e.V. inhaltliche Standards auf Basis von Use Cases aus der Industrie vorangetrieben. Im Sammelband „AutomationML. The industrial cookbook“ [123] werden einige dieser erfolgreichen Umsetzungen beschrieben.

Die weiteren Details sind den entsprechenden Dokumenten des AutomationML e.V. bzw. der IEC 62714 zu entnehmen.

## Fazit:

AutomationML ist aus zwei Blickwinkeln zu betrachten. Einerseits wird ein flexibles Datenformat beschrieben, das alle Belange zur Modellierung von Produktionsanlagen abdeckt. Es können darin alle Informationen eingebettet werden, die für die Planung, das Engineering und die Übergabe in den Fabrikbetrieb notwendig sind.

Der zweite Aspekt ist der hohe Reifegrad der Use Case basierenden Lösungsbausteine. Nur, wenn das Datenformat standardisierte Datenmodelle enthält, die in den jeweiligen Tools interoperierbar sind, ist ein erfolgreicher Austausch möglich.

### 3.3.2. AAS

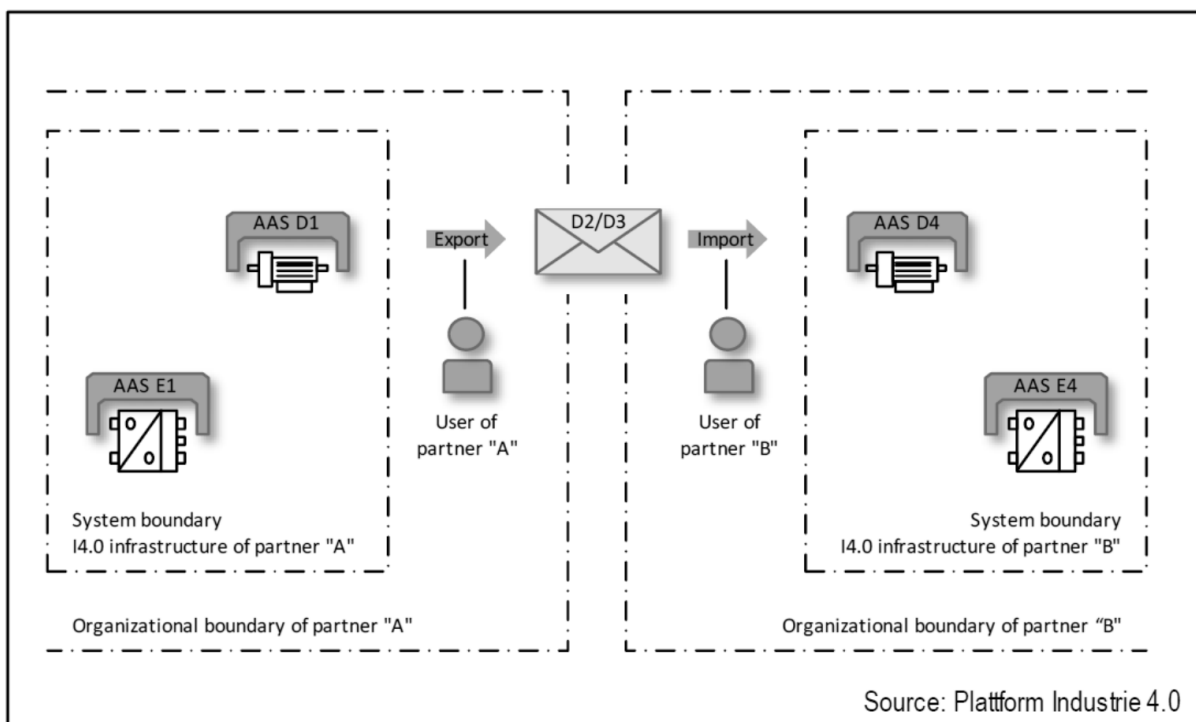
Die „Asset Administration Shell“ ist eine Entwicklung der Plattform Industrie 4.0, welche durch das Bundesministerium für Wirtschaft gefördert und folgendermaßen definiert wird [124]:

*“standardized digital representation of the asset, corner stone of the interoperability between the applications managing the manufacturing systems. It identifies the Administration Shell and the assets represented by it, holds digital models of various aspects (submodels) and describes technical functionality exposed by the Administration Shell or respective assets.”*

Die bisherigen Ergebnisse der entsprechenden Arbeitsgruppe innerhalb der Plattform I4.0 fokussieren auf folgende Themen [124]:

- Definition eines Austauschformats zum Transport von Informationen entlang der Wertschöpfungskette
- Definition eines Metamodels zur Beschreibung einer Verwaltungsschale inkl. Submodelle
- Eindeutige Identifizierung von Assets
- Definition und Entwicklung von Zugriffskontrollen
- Definition von Mapping für spezielle Technologien und Formate, um die Verwaltungsschale über verschiedene Phasen des Lebenszyklus verwendbar zu machen

Abbildung 41 verdeutlicht hierbei das Prinzip des Austauschs von Informationen zu einem Asset mit Hilfe der Verwaltungsschale. Dabei sind sämtliche Sicherheitsanforderungen der entsprechenden Partner sowie die Interpretierbarkeit der entsprechenden Information zu gewährleisten.



**Abbildung 41: Informationsaustausch zweier Partner mit Hilfe der AAS [124]**

Bezüglich Datenformat enthält die Verwaltungsschale bei grober Betrachtung von [124] ähnliche Funktionen und Merkmale wie im vorhergehenden Kapitel für AutomationML beschrieben. Es können Objekte mit eindeutiger UUID und Attributen angelegt werden und in Hierarchien modelliert werden. Externe Referenzen auf Dokumente und Dateien sind möglich.

Ein weiterer Aspekt ist dennoch die Betrachtung des Datenaustauschs und die Modellierung von Events sowie die Zugriffskontrolle.

[124] beschreibt ferner die Integration von OPC UA in die Verwaltungsschale als Submodell sowie die bereits im Kapitel 3.3.1 beschriebene Integration der Verwaltungsschale in einem AML Dokument.

Die Details der Verwaltungsschale werden nicht weiter ausgeführt und sind auf den entsprechenden Downloadseiten der Plattform Industrie 4.0 kostenlos zu beziehen. Die ausführliche Beschreibung der Verwaltungsschale ist in [124] verfügbar.

#### **Fazit:**

Die Verwaltungsschale geht weit über die Beschreibung einzelner Assets mit Attributen und Hierarchien hinaus. Der Betrachtungsumfang enthält auch den gesicherten Austausch von Informationen zwischen Partnern. Jedoch sind noch keine konkreten Spezifikationen zum Dateninhalt mit Bezug zu konkreten Use-Cases verfügbar. Ferner ist zu erkennen, dass der

Fokus der Verwaltungsschale stark auf der Verwendung im Fabrikbetrieb inkl. Lieferketten und Logistik abzielt.

### 3.3.3. OPC UA Companion Specification

Wie in 2.2.2 beschrieben, werden die Analysedaten von Maschinen, Anlagen und Komponenten an einen entsprechenden Datenhub in gewissen Abständen übertragen und durch entsprechende Analysemechanismen ausgewertet. In der Praxis hat sich für diese Datenübertragung OPC UA durchgesetzt.

OPC UA ist ein plattformunabhängiger Kommunikationsstandard zum Datenaustausch zwischen Systemen und Geräten [63]. Hierbei können sowohl Anforderungen (Request) gestellt und entsprechend vom Partner beantwortet werden. Ferner können Publish and Subscribe Mechanismen für einen effizienten Datenaustausch verwendet werden.

In Abbildung 42 ist eine Übersicht über die Zielapplikationen dargestellt. OPC UA ermöglicht somit die Kommunikation zwischen mehreren Schichten einer Applikationslandschaft. Es können sowohl die Kommunikation der Feldebene (PLC, Industrial Network) mit zentralen Steuerungssystemen (Control) oder Visualisierungssystemen (HMI) abgebildet werden, sowie die Kommunikation bis in Produktionssteuerungssysteme (Manufacturing, Production and Maintenance / Corporate Enterprise).

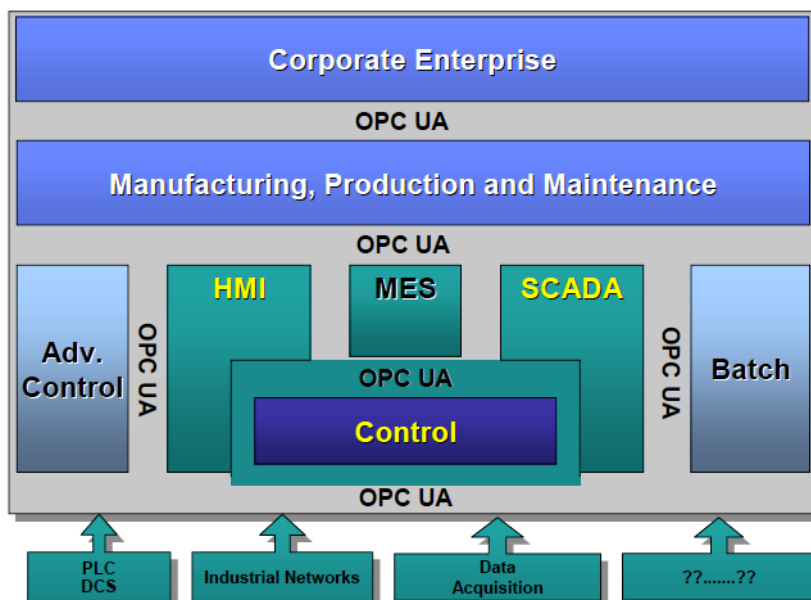


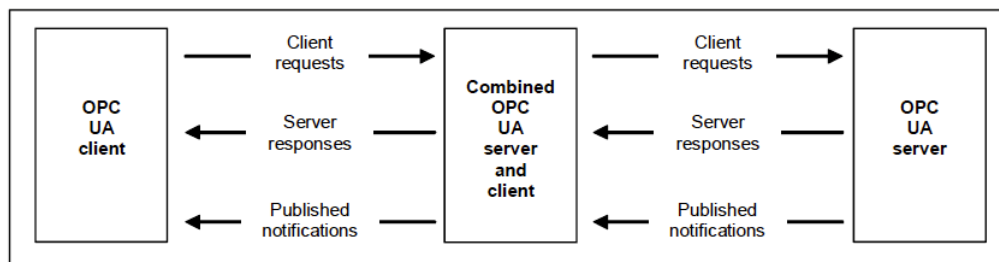
Abbildung 42: OPC UA Zielapplikationen [63]

OPC UA berücksichtigt dafür vier Arten von Modellen [63]:

- Informationsmodell: Dies beinhaltet alle Informationen zu Strukturen, Semantik und Verhalten
- Nachrichtenmodell: Dies beschreibt die Nachrichtenstruktur
- Kommunikationsmodell: Dies definiert die Verbindung zwischen zwei Kommunikationspartnern
- Konformitätsmodell: Dies garantiert die Echtheit der Daten

Die Kommunikation basiert wie in Abbildung 43 auf einem Server / Client Prinzip. Dabei werden zwei mögliche Kommunikationsarten unterschieden [63]:

- Request / Answer: Der Client fordert eine Information beim Server an; der Server beantwortet diese
- Publish / Subscribe: Der Client trägt die geforderte Information beim Server ein, ohne diese dauerhaft anzufordern. Der Server sendet die Information bei gewissen Events (z.B. bei Wertänderung) ohne weitere Anfrage an den Client.



**Abbildung 43: OPC UA Systemarchitektur [63]**

Die auszutauschenden Daten müssen in einem Informationsmodell exakt beschrieben werden, damit die beteiligten Partner die Information korrekt interpretieren können.

In [125] werden die unterschiedlichen Zugriffe auf Informationen des Informationsmodells sowie dessen Möglichkeiten zur Strukturierung detailliert spezifiziert.

Als Beispiel dient hierfür Abbildung 44 welche die genaue Organisation von Objekten und deren Eigenschaften verdeutlicht.



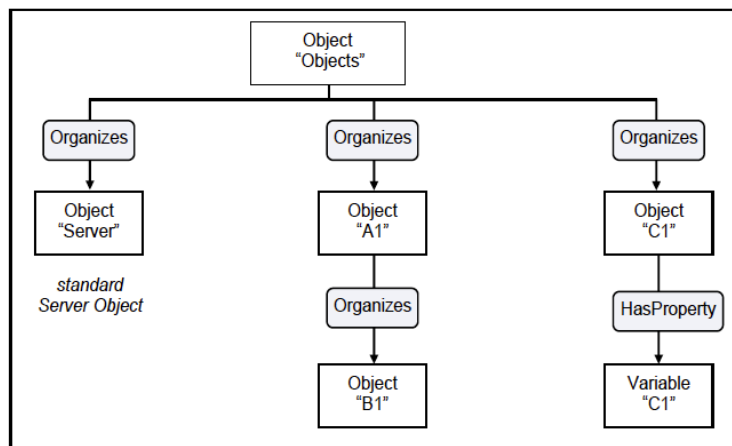


Abbildung 44: OPC UA Objects Organization [125]

Die Beschreibung von Geräten wird in [126] im Detail beschrieben. Dabei wird im groben in zwei verschiedene Informationen unterschieden:

- Struktur / Hierarchie
- Attribute und deren Werte

Jedes Gerät oder jedes System besteht aus Unterelementen und Unterstrukturen. Diese Funktionsgruppen sind für einen korrekten Datenzugriff zu berücksichtigen (siehe Abbildung 45).

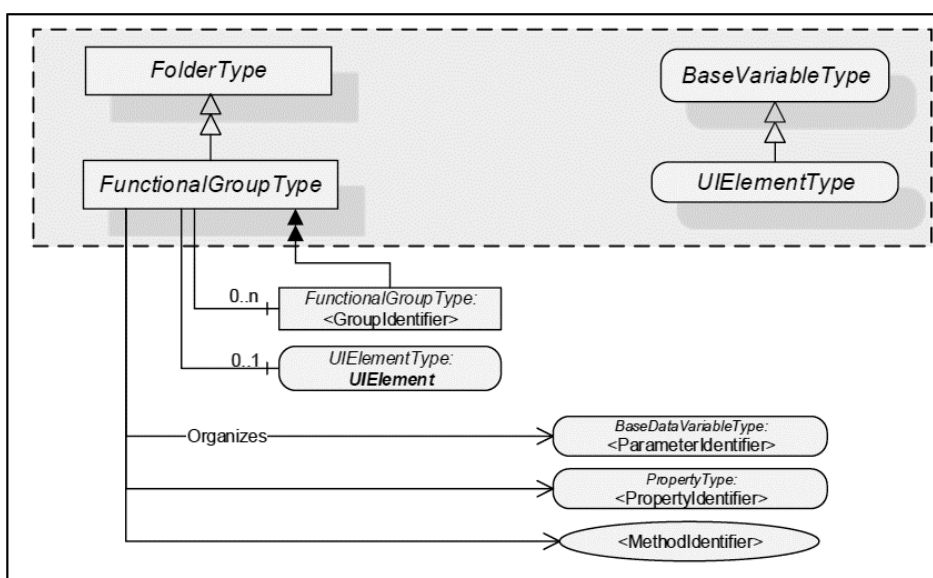
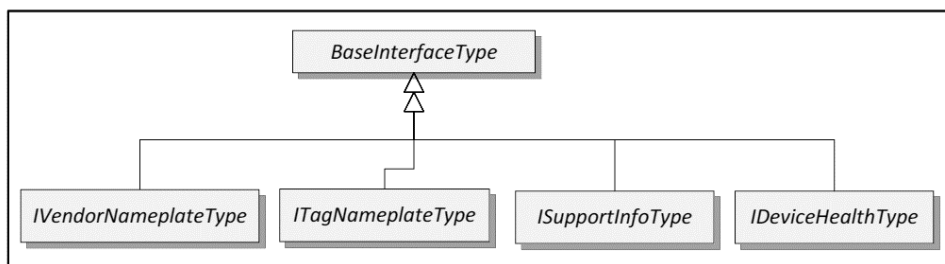


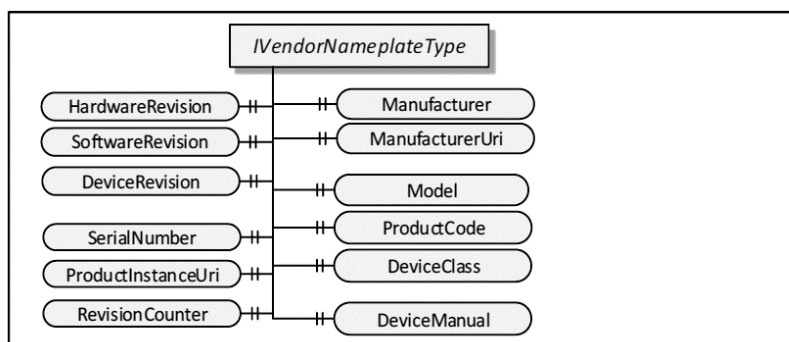
Abbildung 45: OPC UA Functional Group Type [126]

Die relevante Information ist abschließend in fest definierten Attributen enthalten. Auch diese Attribute werden in Gruppen unterteilt. Abbildung 46 stellt die Interfaces dar, die entsprechende Attribute enthalten [126].



**Abbildung 46: OPC UA Überblick Interfaces für Komponenten [126]**

Beispielhaft für einen in Abbildung 46 dargestellten Typ an Informationen wird in Abbildung 47 das „VendorNameplate“ dargestellt. Diese letzte Ebene enthält die Beschreibung der exakten Attribute, deren Inhalt für den Zweck der Analyse relevant ist.



**Abbildung 47: OPC UA Hersteller Typenschild [126]**

Die bisher in 3.3.3 beschriebenen Informationen sind alle relevant, damit die Kommunikationspartner eine entsprechende Verbindung aufbauen können. Die entsprechenden Konfigurationen sind somit komplex im Aufbau.

Um im praktischen Einsatz die Variantenvielfalt zu reduzieren, wurden entsprechende „Companion Specifications“ definiert [126].

Hierbei handelt es sich um eine Standardisierung der Gerätemodelle.

Die Companion Specifications beziehen sich in diesem Fall auf spezielle Anwendungen oder Gerätebeschreibungen und werden von den entsprechenden Nutzergruppen definiert. Die exakte Vorgehensweise zur Erstellung von Companion Specifications ist in [127] beschrieben.

Zur Verdeutlichung der Inhalte wurden Auszüge der Companion Specification for Robotics [128] in den folgenden Tabellen dargestellt.

Die Companion Specification enthält neben den bereits erwähnten Funktionseinheiten zweierlei Arten von Informationen:

- „Statische“ Daten wie Hersteller, Seriennummer, ... wie in Tabelle 4 dargestellt
- Realtimedaten wie Motortemperatur, ... wie in Tabelle 5 dargestellt

Attribute	Value				
BrowseName	GearType				
IsAbstract	False				
References	Node Class	BrowseName	Data Type	Type Definition	Modelling Rule
Subtype of the ComponentType defined in OPC Unified Architecture for Devices (DI)					
HasProperty	Variable	2:SerialNumber	String	PropertyType	Mandatory
HasProperty	Variable	2:Manufacturer	LocalizedText	PropertyType	Mandatory
HasProperty	Variable	2:Model	LocalizedText	PropertyType	Mandatory
HasProperty	Variable	2:ProductCode	String	PropertyType	Mandatory
HasComponent	Variable	GearRatio	RationalNumber	RationalNumberType	Mandatory
HasComponent	Variable	Pitch	Double	BaseDataVariableType	Optional
IsConnectedTo	Object	<MotorIdentifier>		MotorType	OptionalPlaceholder
The following instance declarations are not defined by this type, but by the supertype ComponentType and repeated here for better readability					
HasProperty	Variable	2:AssetId	String	PropertyType	Optional

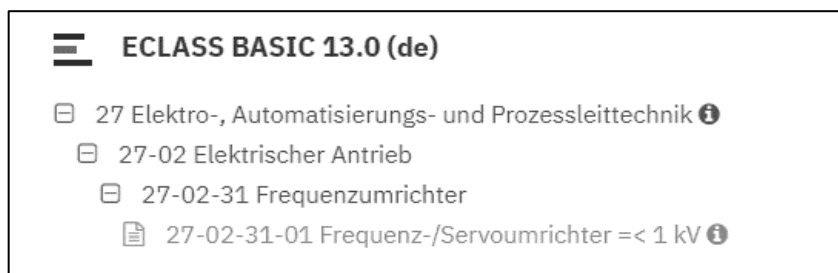
**Tabelle 4: OPC UA Objekte und Variablen Roboter [128]**

Attribute	Value				
BrowseName	ParameterSet				
References	Node Class	BrowseName	Data Type	Type Definition	Modelling Rule
HasComponent	Variable	BrakeReleased	Boolean	BaseDataVariableType	Optional
HasComponent	Variable	MotorTemperature	Double	AnalogUnitType	Mandatory
HasComponent	Variable	EffectiveLoadRate	UInt16	BaseDataVariableType	Optional

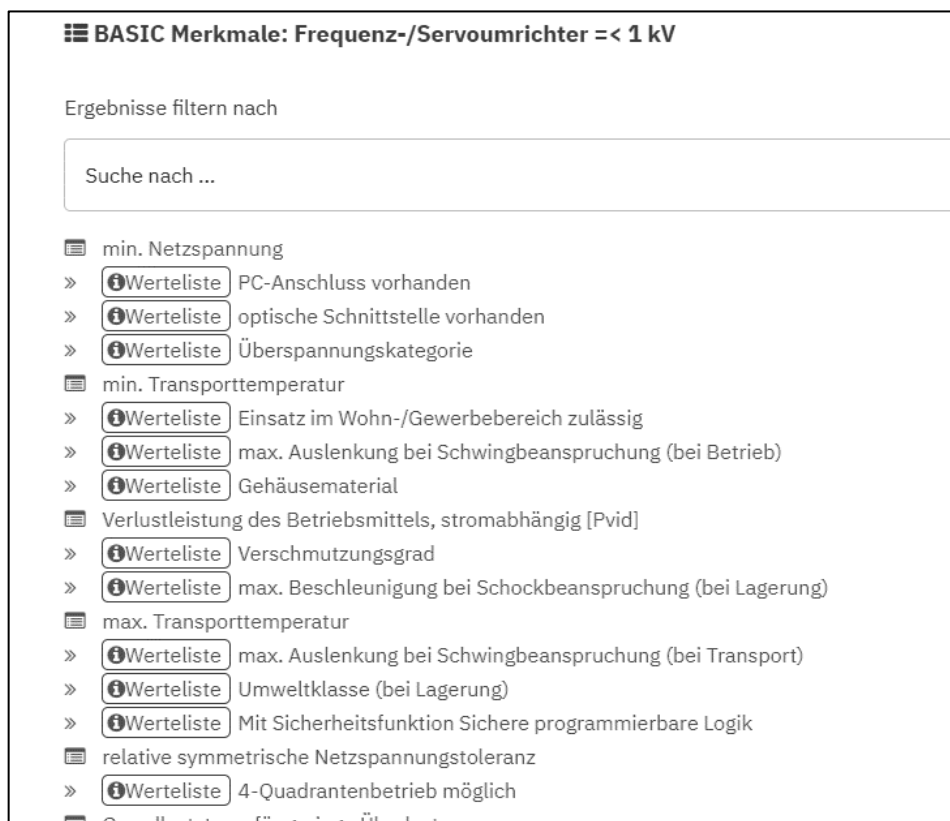
**Tabelle 5: OPC UA Variablen aus dem Betrieb Roboter [128]**

### 3.3.4. eClass

EClass ist ein etablierter Standard zum branchenübergreifenden Austausch von Produktstammdaten [129]. Dieser Standard enthält eine vierstufige Klassifizierung (siehe Abbildung 48) und ein für jede Geräteklasse fest definiertes Set an Attributen (siehe Beispiel in Abbildung 49).



**Abbildung 48: eClass - Beispiel Klassifizierung [129]**



**Abbildung 49: eClass - Beispiel Attribute [129]**

### 3.3.5. Weitere Standards zu Datenmodellen

Neben den genannten Standards und Vereinen (z.B. ZVEI, NAMUR, eClass, ...) wird an weiteren Stellen aktiv an Standards zur Beschreibung von Produktionsanlagen oder deren Betriebsdaten gearbeitet. Dabei werden teilweise eigene Standards entwickelt oder auf die Möglichkeiten der oben beschriebenen Standards aufgesetzt. Die Untersuchung „Vorhandene Standards als semantische Basis für die Anwendung von Industrie 4.0 (SemAnz40)“ mehrerer Hochschulen hat hierzu detaillierte Informationen veröffentlicht [130].

### 3.3.6. Zusammenwirken der Datenmodelle

Die in diesem Kapitel beschriebenen Datenmodelle oder Kommunikationsstandards wurden bisher getrennt voneinander betrachtet. Um dem Anspruch an einen störungsfreien Datenaustausch gerecht zu werden, ist das Zusammenwirken und die gegenseitige Beeinflussung zu betrachten.

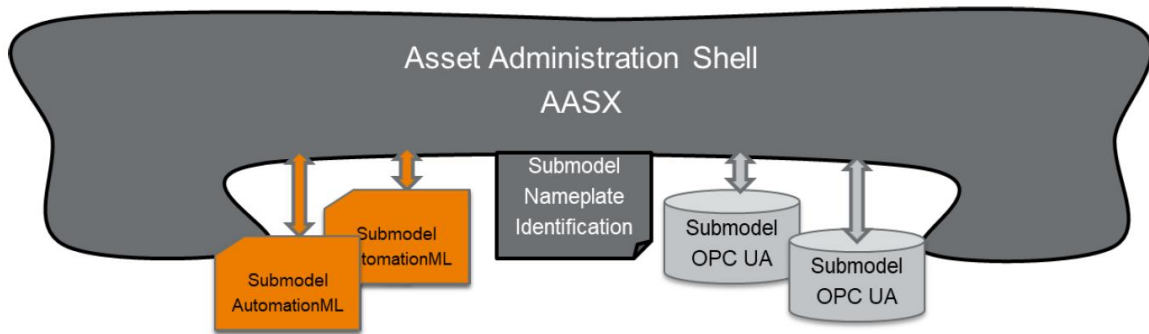
Bei OPC UA muss zwischen zwei Aspekten differenziert werden; die Konfiguration und der reale Datenaustausch im Betrieb. Der reale Datenaustausch ist eine komplett eigene Disziplin und wird komplett von den Mechanismen der OPC Foundation definiert und abgesichert. Die Konfiguration der OPC UA Kommunikation hat dagegen einen hohen Informationsanteil, der für ein Digitales Modell aus dem Engineering relevant ist. Bei der Konfiguration handelt es sich um die Beschreibung der Schnittstelle. Dies bedeutet, dass die beschriebenen Spezifikationen (siehe Companion Specifications) in einer geeigneten Form abgebildet werden müssen. Ein entsprechendes Whitepaper des AutomationML e.V. [121] behandelt exakt diese Herausforderung. Dieses Whitepaper beweist die Abbildbarkeit der OPC UA Companion Specifications im Datenformat AML.

Ein weiteres Dokument des AutomationML e.V. befasst sich mit der Abbildung der I4.0 Verwaltungsschale (Asset Administration Shell AAS) in einem AML Dokument. Die Application Recommendation „AAS“ [122] zeigt die notwendigen Wege dafür entsprechend auf.

Ferner ist es nach Lüder et al. [87] möglich, Informationen aus dem Engineeringprozess entsprechend der Verwaltungsschale in ein AML Format zu speichern.

Neben der Speicherung der Daten in einem entsprechenden Format ist aber auch die Datenverantwortung relevant. Dazu haben sich die Nutzergruppen entsprechend positioniert. In „Interrelation of Asset Administration Shell and AutomationML“ [131] wird empfohlen, dass entsprechend der Domäne (Engineering, Anlagenbetrieb) ein entsprechendes Format als führend deklariert wird. Für das Zusammenwirken von AML, AAS und OPC UA ergeben sich damit folgende Kernaussagen (vergleiche hierzu Abbildung 50):

- AutomationML ist das führende Format im Engineering
- OPC UA ist das führende Element für die Datenkommunikation im I4.0 Umfeld und somit im Betrieb
- Die Asset Administration Shell bildet den gesamten Backbone über alle Lebensphasen hinweg.
- AutomationML und OPC UA werden als Submodelle in die AAS integriert. Notwendige Informationen für weitere Lebenszyklen werden von den Submodellen in die AAS gemappt (z.B. Identifikationsdaten, Typenschilder)



**Abbildung 50: Zusammenwirken AAS, AML und OPC UA [131]**

Das Zusammenwirken der in Abbildung 50 dargestellten Datenmodelle wird zwischen den Organisationen diskutiert. Die aktuell gemeinsame Position ist in einem Diskussionspapier veröffentlicht worden [132].

Fazit: Es ist bewiesen, dass sich ein Ecosystem aus mehreren Formaten und Vereinen etabliert hat. Diese stehen aber nicht im Widerspruch zueinander. Die Formate können ineinander übersetzt bzw. die Informationen gemappt werden. Somit ist die Modellierung in einem speziellen Format nicht die Maßnahme mit der höchsten Priorität. Entscheidend ist die Definition der Inhalte. Daher werden die spezifischen Formate für die weitere Arbeit prinzipiell nicht weiter fokussiert und dienen nur als Beispiel.

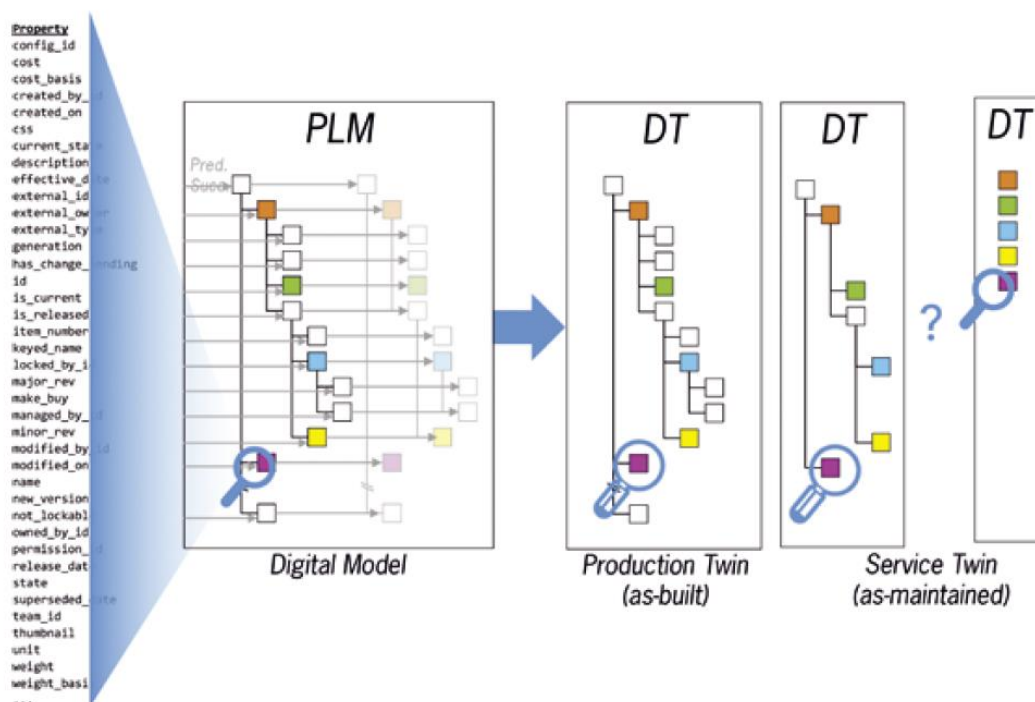
### 3.4. Aktueller Übergang zwischen Engineering und Instandhaltung

Bisher wurden sämtliche Prozesse, Dateninhalte und Tools lediglich aus Sicht des jeweiligen Hauptprozesses betrachtet. Dabei ist ein weiterer entscheidender Aspekt das Zusammenwirken der beiden Hauptprozesse.

[11] beschreibt in der Einführung den Anspruch, dass die Datenintegration zwischen den Planungsprozessen und den Betriebsprozessen auf der informationstechnischen Ebene durchgeführt werden müsse. Der derzeit etablierte Austausch mit Papier oder PDF wird als manueller Prozess mit hohen Aufwänden und drohendem Informationsverlust beschrieben. Ein Grund dafür ist, dass die bidirektionale Datendurchgängigkeit in der Digitalen Fabrik nur in ausgewählten Applikationen umgesetzt wurde [11]. Dabei beschreibt T. Meyer ebenfalls eine mögliche Lösung ohne weitere Details zur Umsetzung zu nennen:

*„Eine Möglichkeit, die Datendurchgängigkeit- und Integrationsfähigkeit der Systeme der Digitalen Fabrik zu erhöhen, ist eine einheitliche Schnittstellentechnologie, die die unterschiedlichen Abstraktionslevel abbildet, Veränderungsworkflows unterstützt und den Fokus nicht nur auf (kinematisierten) 3D-Geometrien legt.“*

Dabei ist aber nicht festgelegt, dass auch alle Informationen aus dem Engineering auch im späteren Betrieb notwendig sind. Eigner betrachtet hierfür die Reduktion des Digitalen Zwillings für den operativen Betrieb [133]. Die Annahme ist, dass nur Komponenten des digitalen Zwillings, die für die Geschäftsmodelle im Betrieb benötigt werden, auch übertragen werden. Unnötige Informationen werden aus dem digitalen Abbild entfernt [133]. Abbildung 51 stellt diese Reduktion dar. Aus Sicht der Instandhaltungsprozesse ist der als „Service Twin“ bezeichnete Umfang relevant.



**Abbildung 51: Reduktion des digitalen Zwillings gemäß seiner Verwendung (in Anlehnung an [133])**

Entscheidend ist in diesem Fall, dass die reduzierten digitalen Abbilder sowie das gesamte digitale Modell permanent synchron gehalten werden [133]. Bei einer einmaligen Reduktion und auch einem einmaligen Export ist die Gefahr gegeben, dass bei kleinen Änderungen in Planung und Betrieb eine Inkonsistenz der Modelle entsteht.

[134] beschreibt, dass derzeit in vielen Unternehmen für Industrie 4.0 Usecases viele Daten im Betrieb erhoben werden, diese aber nicht gewinnbringend ausgewertet werden. Als ein Werkzeug für die zielgerichtete Auswertung der Betriebsdaten, wird der Digitale Zwilling angesehen, der die Produkte, Maschinen und Anlagen virtuell abbildet. Dabei wird der digitale Zwilling als wachsendes Element angesehen, das über den gesamten Lebenszyklus mit Daten angereichert wird. Jedoch ist dieses Idealbild eines alle Lebensphasen überspannenden Digitalen Zwillings in der Realität noch nicht vorhanden. Dabei beschreibt [134] folgende Gründe:

- „Ein Grund für die dennoch langsam fortschreitende Umsetzung ist die Unklarheit des Konzepts des Digitalen Zwillings, die mit einer Vielzahl unterschiedlicher und abstrakter Definitionen und einem Mangel an Standards einhergeht.“
- „Zum einen ist eine standardisierte Architektur für den Digitalen Zwilling noch nicht etabliert. Heutzutage schaffen Institutionen und Unternehmen individuelle Digitale Zwillinge, abhängig von dem jeweiligen spezifischen Zweck und Produkttyp. Zum anderen beschreibt der Digitale Zwilling oft nur einen Lebenszykluszustand und **setzt sich nicht über mehrere Lebenszyklusphasen fort.**“

[71] fokussiert auf die Steigerung der Verlässlichkeit der Vorausschauenden Instandhaltung mit geeigneten Modellen. Dabei wird der digitale Zwilling mit Zustandsdaten aus dem Betrieb angereichert, um simulativ Aussagen zum Zustand der entsprechenden Anlagen(-teile) zu erhalten. Die Basis dafür bilden Modelle aus der Entwicklung des Produktionssystems (siehe auch Abbildung 28). Das Konzept wurde prototypisch an einem minimalisiertem Wälzlagerprüfstand überprüft und bestätigt. Eine Ableitung für die weitere Anwendung oder den industriellen Einsatz wurde nicht getroffen.

Eine Vielzahl weiterer Projekte (z.B. [70]) formulieren die Potentiale der Nutzung von Engineeringdaten für den Fabrikbetrieb und die entsprechenden Analyse Use Cases. Die Ergebnisse sind jedoch vergleichbar mit den bisher beschriebenen Quellen.

In den vorhergehenden Kapiteln sind die einzelnen Prozesse und Dateninhalte bzw. Datenmodelle der Engineeringphase sowie der Betriebsphase detailliert beschrieben. Ferner wurde das Potential des Übergangs beider Hauptprozesse dargestellt.

Es ist aber festzustellen, dass beide Hauptprozesse in der Literatur bisher getrennt voneinander betrachtet werden oder der Übergang lediglich als Zielbild definiert wurde. Sämtliche Quellen aus 3.2 und 3.3 beschreiben im Detail den jeweiligen Prozess, erwähnen den zweiten Hauptprozess aber lediglich als Input bzw. Output oder deren Zusammenhang auf abstrakte Weise ohne technischem Umsetzungskonzept. Der Übergang der Informationen aus dem Engineering in den Betrieb (und zurück) ist lediglich grob beschrieben und wird als idealer Prozess in vielen Quellen beschrieben. Eine detaillierte Lösung für diesen Übergang behandeln keine der genannten Quellen, sondern formulieren die Gründe für das Fehlen der Lösung sowie die entsprechenden Herausforderungen.



## 4. Stand der Technik aus Sicht der Industrie

Wie in Kapitel 1.2 geschildert, gibt es viele Ansätze aus Forschung, Entwicklung und Standardisierung zum Themenfeld Datenmodellierung sowie automatisierter Datenübergabe. In der Praxis finden viele dieser Ansätze keine Anwendung. Daher ist ein Blick in die Industrie entscheidend, um den aktuellen Stand zu erfassen und etwaige Gründe für die geringe Anwendung der Lösungsansätze aus der Forschung zu finden.

Meine nun langjährige Tätigkeit im Themenfeld der Simulation wie auch Datendurchgängigkeit in fachlich führenden Positionen dient als Basis zur Bewertung der Prozesse und Herausforderungen aus Sicht der Industrie.

Neben persönlichen Erfahrungen und konkreten Projekten dienen vor allem die dafür notwendigen Workshops und Expertengespräche als größte Wissensquelle. Diese Experten stammen aus den verschiedenen Abteilungen der Produktionsplanung, Instandhaltungsplanung sowie aus den Abteilungen für die Digitalisierung der Planung und die Digitalisierung des Shopfloors. Es handelt sich um die führenden 15 Experten für Instandhaltungsprozesse der BMW AG mit langjähriger Erfahrung in Aufbau und Nutzung der Instandhaltungssysteme. In Form von Workshops wurden die Prozesse der Instandhaltung inkl. der Pain Points ermittelt und ein Idealbild entwickelt, welche Informationen in welcher Form vorliegen müssten, um die Systeme der Instandhaltung versorgen zu können.

Die Ziele der Industrie sind hierbei einfach beschrieben. Alle Neuentwicklungen und Veränderungen müssen langfristig eine Prozessverbesserung (Qualität, Geschwindigkeit oder Effizienz) aufweisen. Gerade das Themenfeld „Digitalisierung“ ist keine Spielwiese für technikverliebte Ingenieure, sondern muss die genannten Ziele erfüllen.

Eine Effizienzsteigerung führt unweigerlich dazu, dass manuelle Prozesse durch automatisierte, digitale Lösungen abgelöst werden müssen. Die Personalkosten sind jedoch nur ein kritischer Punkt für den zukünftigen Wettbewerb. Vielmehr ist ein sich abzeichnender Fachkräftemangel bereits jetzt spürbar. Die Digitalisierung füllt in vielen Fällen Lücken, die durch diesen Mangel entstehen.

Das Produkt PKW unterliegt seit einigen Jahren einer starken Veränderung. Bei dieser Veränderung sind etliche Trends und Technologien noch nicht in vollem Umfang bekannt und somit nicht planbar. Der Effekt auf das Produktionssystem und somit auch auf die beiden Hauptprozesse (siehe Kapitel 2) ist enorm. Die Fahrzeugprodukte werden in kürzeren Abständen innoviert, grundlegende Fahrzeugarchitekturen werden verändert und neue Antriebstechnologien eingeführt. Ein Fahrzeugprodukt ist somit nicht über viele Jahre planbar und stabil. Das Produktionssystem muss in der Lage sein, diese Produkte zu fertigen. Damit gilt auch für das Produktionssystem eine immer höhere Veränderungsgeschwindigkeit. Hierbei stehen wieder die beiden Hauptprozesse im Fokus.

Beim Themenfeld Qualität muss man mit Digitalisierungslösungen eingrenzen. Die Digitalisierung des Produktionssystems hat einen begrenzten Einfluss auf die Entwicklung eines Fahrzeugs. Mängel, die durch das Fahrzeugdesign verschuldet werden, liegen im Folgenden nicht im Betrachtungsumfang.

Mängel, die in der Produktion entstehen, werden seit vielen Jahren oder Jahrzehnten bereits durch Qualitätsprüfungen oder entsprechende Audits untersucht. Auch die Rückführung von Mängeln aus der Nutzungsphase des Fahrzeugs gehört zum Standard. Jedoch sind die komplexen Zusammenhänge schwer erkennbar oder benötigen ein hohes Maß an Zeit und Aufwand. Durch eine Vernetzung aller Daten des Produktionssystems können diese Analysen automatisiert und somit flächendeckender und schneller durchgeführt werden.

## 4.1. Planung Anlagenengineering

Im industriellen Umfeld sind im Entstehungsprozess viele unterschiedliche Partner involviert. Eine erste grobe Separierung teilt in folgende Kategorien:

- **Produktengineering / Produktplanung:** Hierbei liegt der Fokus auf der Entwicklung des Produkts selbst. In diesem Fall steht somit das Fahrzeug im Mittelpunkt der Betrachtung. Die damit einhergehenden Prozesse und Tools, sowie die digitalen Abbilder umfassen als Komponenten, Hierarchien und weitere Daten des zu fertigenden Produkts.
- **Prozessplanung:** Die Prozessplanung greift die Informationen des Produkts auf und erstellt entsprechende Fertigungskonzepte. Das Ergebnis sind konkrete Arbeitspläne und Füge- oder Montagereihenfolgen. Dabei werden auch alle notwendigen Geräte betrachtet, die für das Handling der Fahrzeugbauteile sowie die entsprechenden Füge- oder Montageprozesse notwendig sind. Unterstützt werden diese ersten Planungs- und Konstruktionsschritte mit Bezug zum Produktionssystem durch umfangreiche Simulationen. Dabei handelt es sich einerseits um Materialflusssimulationen und Ablaufsimulationen zur Unterstützung der Planung der Prozesse sowie um geometrische Untersuchungen zum Handling der Fahrzeugbauteile (Erreichbarkeiten, Kollisionen, ...) Dies führt dazu, dass die Prozessplanung bereits direkte Auswirkungen auf das Design des Produktionssystems hat.
- **Struktur- und Layoutplanung:** Auf Basis der Anforderungen aus der Prozessplanung müssen konkrete Produktionsanlagen entstehen. Dabei müssen die notwendigen Prozesszeiten, Platzverhältnisse und Logistikprozesse eingehalten werden. Das Produktionssystem muss ferner in ein neues oder bestehendes Gebäude integriert werden. Das Ergebnis ist ein komplettes Layout inkl. aller zu betrachtenden Elemente. Die Elemente werden als vereinfachte Blöcke für Flächen oder einfache 3D – Bibliothekselemente dargestellt.
- **Anlagenplanung und Anlagenengineering:** Auf Basis der Prozessplanung und der Layoutplanung müssen konkrete Produktionsanlagen entwickelt werden. Die Grundlage für weitere Konstruktionsschritte bildet das in der Strukturplanung definierte Layout. Die weiteren Schritte der Detailkonstruktion entsprechen den in Kapitel 2.1. Jedoch werden die Schritte nicht immer durch den späteren Betreiber des

Produktionssystems durchgeführt. Die Aufgabe wird meist in einen Planungs- und einen Engineeringteil unterteilt. Einige Teilaufgaben der Detailkonstruktion (Engineering) werden durch Lieferanten erbracht. Dies bedeutet, dass in der Anlagenplanung und des Anlagenengineerings eine entsprechende Kollaboration der Partner notwendig ist. Aktuell werden gerade in dieser Phase viele Informationen via E-Mail ausgetauscht.

Das konkrete Zusammenwirken aller oben beschriebenen Planungsschritte sowie deren detaillierte Beschreibung sind in komplexen Prozessmodellen oder Phasenmodellen geregelt. Somit entsteht ein Geflecht aus bis zu 20 verschiedenen Rollen (Stellenbeschreibungen = Disziplinen) und über 200 Teilaufgaben. Daraus resultieren außerdem eine hohe Anzahl an verwendeten Tools und Datenplattformen.

Zwischen den Disziplinen werden eine Vielzahl an Daten ausgetauscht. Hierbei ist zu beobachten, dass es einen gewissen Zusammenschluss gibt:

- Gebäude und Layoutplanung: In dieser Kategorie werden bereits gemeinsame Plattformen zum Datenaustausch verwendet. Auch die Datenformate werden Schritt für Schritt harmonisiert oder über entsprechende Transformationen nutzbar.
- Konstruktion: Gerade im Umfeld von 3-D Konstruktionstools ist schon seit vielen Jahren eine Standardisierung beim Datenaustausch etabliert.
- Steuerungstechnik: Auch innerhalb der Steuerungs- und Automatisierungstechnik etablieren sich Standards zur Strukturierung von Systemen sowie zur einheitlichen Beschreibung der jeweiligen Bauteile und Kommunikationslösungen.

Betrachtet man das Produktionssystem in Gänze, ist aber kein einheitliches digitales Modell verfügbar. Zwischen den einzelnen Disziplinen müssen die Daten vielmehr händisch übertragen werden sowie die „Sprachbarriere“ auf Grund unterschiedlicher Strukturierung und unterschiedlichem Spezialwissen überwunden werden. Dies führt zu einer entsprechend langen Projektlaufzeit und einem entsprechenden Aufwand beim Personal.

Ein weiterer Aspekt sind die Simulationen. Im Planungsumfeld für Produktionsanlagen werden hauptsächlich drei der bereits erwähnten Arten von Simulation angewendet. Das konkrete Vorgehen enthält ebenfalls einen hohen manuellen Aufwand:

- Ablaufsimulation:  
Die Ablaufsimulation basiert auf der Verkettung des Produktionssystems und der entsprechenden Prozesse. Konkret werden dabei die bereits vorhandenen Layouts komplett manuell in das entsprechende Simulationstool übernommen.
- Geometrische Simulation (Erreichbarkeiten / Kollisionen):  
Die geometrische Simulation bringt konkrete Konstruktionen in ein gemeinsames Projekt und überprüft mögliche Kollisionen und Erreichbarkeiten. Bei dieser Simulationsart liegt der Fokus auf mechanischen Aspekten, was dazu führt, dass die meisten 3-D-Informationen durch den in der Konstruktion verbreiteten Standard einfach

übernommen werden können. Jedoch ist für die Simulation von Bewegungen noch eine entsprechende Kinematisierung nachgelagert durchzuführen.

- Virtuelle Inbetriebnahme:

Die virtuelle Inbetriebnahme konsumiert die meisten Artefakte aus den vorgelagerten Planungs- und Engineeringsschritten. Es werden Layoutinformationen und 3-D-Daten inkl. der Kinematik für das Simulationslayout benötigt. Hierbei werden die Layoutdaten komplett manuell übermittelt, was einem „Abzeichnen“ nahekommt. Ferner werden die entsprechenden Signale sowie die Hardwarekonfiguration (Feldbustopologie) benötigt. Dies wird in vielen Schritten teilautomatisiert durchgeführt. Auch die benötigten Verhaltensmodelle werden in separaten Bibliotheken verwaltet und in teilautomatisierten Prozessen der virtuellen Inbetriebnahme hinzugefügt. Das Ergebnis ist, dass für solche Simulationsmodelle, die auf komplett vorhandenen Informationen basieren, bis zu 10 Personenmonate entfallen.

Auch die endgültigen Ergebnisse der Planung bzw. des Engineerings in Form von Dokumentation sind somit in die entsprechenden Disziplinen aufgeteilt. Für die verwendeten Komponenten entstehen somit mehrere unterschiedliche Listen entsprechend der jeweiligen Disziplin. Auch die Verortung der Komponenten wird in der jeweiligen Hierarchie mit der entsprechenden Bezeichnung der jeweiligen Disziplin durchgeführt.

Generell ist festzustellen, dass die Prozesse in der Industrie vergleichbar mit den Beschreibungen in der Literatur sind. Jedoch werden die in der Literatur beschriebenen Zielbilder zur Digitalisierung in den meisten Fällen noch nicht erreicht.

## **4.2. Betrieb und Instandhaltung**

Die Basis für dieses Kapitel bilden die persönliche Arbeit an den entsprechenden Systemen, die Workshops mit den verantwortlichen Personen in der Instandhaltung sowie diversen Anwenderhandbüchern [135, 136].

Auch an dieser Stelle wird zwischen den beiden Schwerpunkten im Anlagenbetrieb unterschieden. Die etablierte Instandhaltung mit den klassischen Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben und die neuen Methoden aus Industrie 4.0 (vorausschauende Instandhaltung).

### **4.2.1. Ersatzteilverwaltung und Wartungspläne**

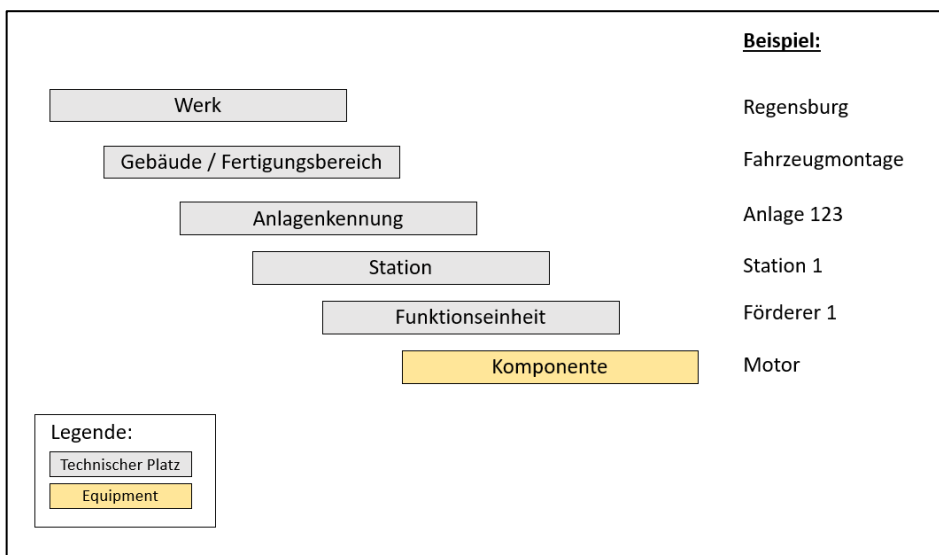
In der Automobilindustrie haben sich für diese klassischen Instandhaltungsaufgaben die SAP-Systeme PM (Plant Maintenance) und EAM (Enterprise Asset Management) etabliert. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird daher diese Systemlandschaft als Grundlage verwendet. Die Details zu den Systemen und deren Bedienung können im SAP Hilfeportal [69] abgerufen werden.

Eine wichtige Grundlage für alle Ersatzteilstrategien und Wartungspläne bildet die Erfassung und Organisation aller relevanten Anlagenteile. Für jedes dieser Objekte muss ein Datenstammsatz im SAP-System angelegt werden. Auf Basis dieses Stammsatzes kann eine individuelle Historie inkl. Wartungspläne aufgebaut werden.

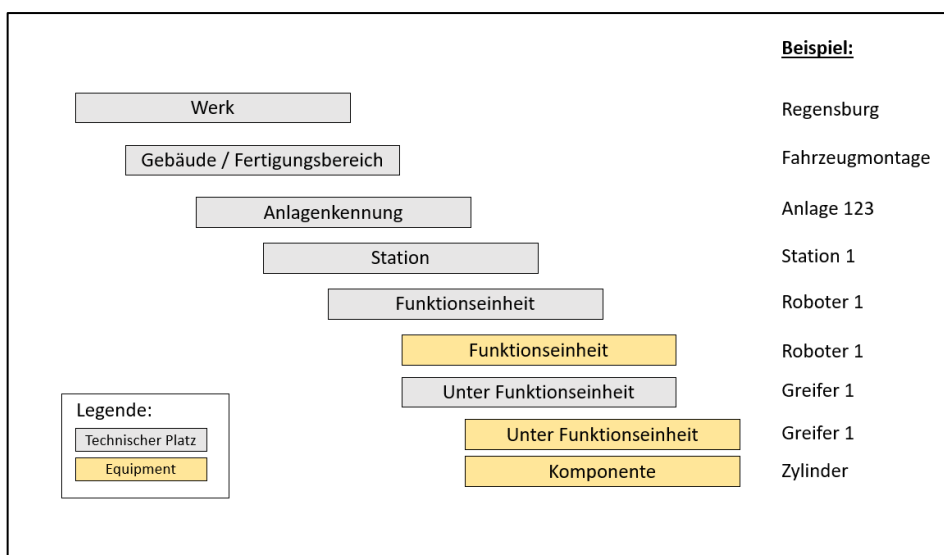
Für den Aufbau der Struktur und zur Ablage der notwendigen Objektinformationen (für z.B. Ersatzteile) bietet das SAP-System mehrere Objekte. Für den Umfang dieser Arbeit wird auf die zwei gängigsten fokussiert:

- **Technischer Platz (TP)**  
Technische Plätze werden zur Strukturierung und Organisation der vorhandenen Komponenten verwendet. In vielen Fällen spiegelt die TP-Struktur die Anlagenhierarchie aus technischer Sicht ab. TPs beschreiben damit den Ort, an dem Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Beispiele sind aus Abbildung 52 und Abbildung 53 zu entnehmen. Ein TP enthält organisatorische Stammdaten / Attribute wie Standort, verantwortliche Planer (Gruppe und Standort), verantwortliche Arbeitsplätze, Strukturinformationen (Elternelement), Kostenstellen oder Geschäftsbereich.
- **Equipment (EQUI)**  
Equipments sind die eigentlichen technischen Objekte, die instandgehalten werden müssen. Dabei handelt es sich in der Regel um Komponenten, die ausgetauscht oder repariert werden können. Equipments können daher einzeln nachverfolgt werden. Equipments enthalten damit konkrete Angaben zum Hersteller, dem Standort und individuelle Merkmale (Attribute) zur Beschreibung der Komponente. Ferner wird der Einbauort, also der zugehörige TP angegeben, um die notwendige Struktur (Elternelement) aufbauen zu können. Beispiele sind aus Abbildung 52 und Abbildung 53 zu entnehmen.

Werden die genannten Kriterien zur Einteilung einer technischen Anlagenstruktur in TPs und EQUIs angewendet, so entstehen mehrere Varianten, wie eine neutrale Struktur abgebildet werden kann. Abbildung 52 zeigt eine einfache Struktur, die aus nur einem EQUI besteht, das in eine TP Hierarchie eingeordnet ist. Abbildung 53 hingegen zeigt eine komplexe Struktur, die derselben neutralen Struktur aus der Anlagenplanung folgt, aber aus dem Betrachtungswinkel der Instandhaltung eine abweichende Struktur in den Instandhaltungssystemen aufweist. Es ist somit keine eins zu eins Übersetzung von neutralen Planungsdaten in die Instandhaltungssysteme möglich.



**Abbildung 52: Einfache Struktur TP und EQUI in Instandhaltungssystemen**



**Abbildung 53: Komplexe Struktur TP und EQUI in Instandhaltungssystemen**

Basierend auf den jeweiligen TP's und EQUIs können entsprechende Wartungspläne angelegt werden. Ein Wartungsplan stellt die Möglichkeit bereit, die Termine und den Umfang der geplanten Instandhaltungs- und Wartungstätigkeiten eines technischen Objekts (TP / EQUI) im Instandhaltungssystem zu hinterlegen und einem entsprechenden Arbeitsplatz zuzuordnen. Zu den Inhalten eines Wartungsplans gehören:

- Bezeichnung des Wartungsplans
- Wartungszyklus (täglich, monatlich, jährlich)

- Terminierungsparameter (Start des Wartungszyklus, Toleranzen, ...)
- Art der Tätigkeit
  - Bezugsobjekt (TP oder EQUI)
  - Verantwortlichkeiten
  - Priorität

Sowohl die TPs und EQUIs sowie die Wartungspläne werden auf Basis der Dokumentation der Anlagen aus dem Planungsprozess erstellt. Jedoch wird dies nicht automatisiert durchgeführt. Die Rolle der Instandhaltungsplaner überführt hierfür Ersatzteillisten (Excel) und entsprechende Wartungsbeschreibungen (meist PDF) manuell in die entsprechenden SAP-Systeme.

#### **4.2.2. Anlagenanbindung IoT**

Die technische Anlagenanbindung sowie die Bereitstellung von Informationen (Datenobjekte) werden von der Planung bzw. dem Engineering vorbereitet. Wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben, werden die Informationen in der Regel über OPC UA bereitgestellt. Dabei muss der Client die notwendige Information abonnieren.

Der aktuelle Prozess dafür basiert auf der manuellen Auswahl der für den Betrieb notwendigen Datenpunkte. Dies bedeutet, dass die entsprechende Person über das Netzwerk des Produktionssystems durch die entsprechenden Anlagenhierarchien navigiert, und jeden Datenpunkt separat selektiert. Für die Selektion sind alle OPC UA Teilnehmer und deren Datenpunkte verfügbar. Ein Produktionssystem eines Standorts in der Automobilindustrie besteht aus weit über 1000 Anlagen mit jeweils mehreren 100 netzwerkfähigen Komponenten und wiederum mehreren Messwerten / Datenpunkten. Das manuelle Auswählen der benötigten Informationen stellt somit einen hohen personellen Aufwand dar.

#### **4.3. IT-Zielbilder in der Industrie**

Neben den Dateninhalten befassen sich die IT-Abteilungen in den Unternehmen mit dem Informationsaustausch selbst. Gängige Zielbilder entsprechen Abbildung 54. Die einzelnen Tools der verschiedenen Prozessschritte tauschen sich über einen Broker aus. Dabei ist es möglich, dass einige der Tools bereits über eine gemeinsame Plattform verfügen. Neben den Tools und Plattformen werden auch die Realtime Informationen der Geräte und Anlagen im Betrieb über diese Broker Schicht ausgetauscht und bei Bedarf in einer Cloud Plattform abgelegt.

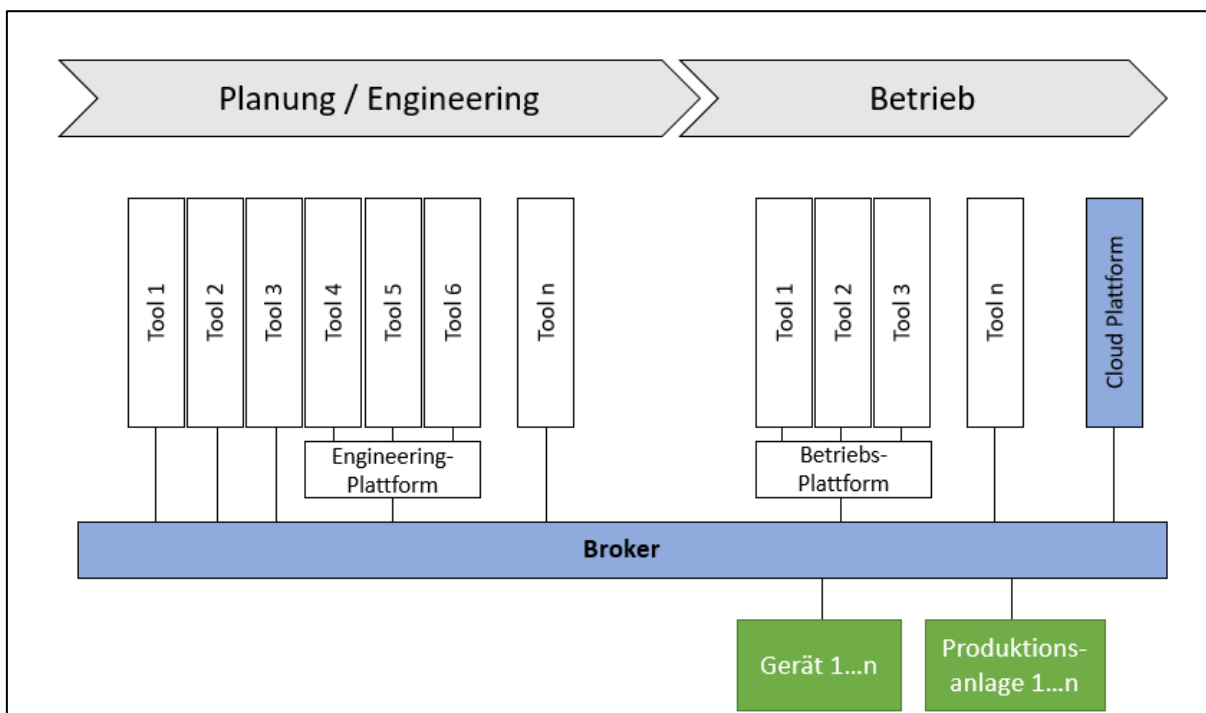


Abbildung 54: Zielbild IT Datenaustausch

Eine derzeit weit verbreitete Variante für Streaming bzw. Messaging ist KAFKA der Firma Apache Software Foundation. KAFKA ist eine Event Streaming Plattform [137]. Dies bedeutet u.a., dass darüber Informationen über einen Publish / Subscribe Mechanismus (vergleiche Kapitel 3.3.3) ausgetauscht werden können. Dabei handelt es sich um kurze Messages die im Unterschied zu klassischen Messaging Diensten nach der Übermittlung nicht zwingend gelöscht werden, sondern in einem Topic gespeichert werden können und somit weiteren Consumern zur Verfügung stehen.

Datenformate wie AML oder AAS werden kurz und mittelfristig als Übergangslösung angesehen, bis eine vollständige Anbindung aller Tools an den Broker möglich ist. Ferner werden beide Formate bei der Anbindung von Lieferanten als standardisierte, neutrale Variante auch langfristig in Erwägung gezogen.

Jedoch bestehen andererseits erhebliche Zweifel, ob ein Messaging mit Streaming-Diensten die richtige Lösung für Planungs- und Engineeringdaten darstellt. Die Streaming-Dienste wurden auf kleine Dateninhalte und hohe Geschwindigkeit optimiert. Dies widerspricht sich mit den hohen Datenvolumina und den vergleichsweise niedrigen Aktualisierungsraten im Engineering. Daher werden in der Industrie Kombinationen verprobt, die einerseits Veränderungen an Metadaten inkl. möglicher Referenzen auf große Files mittels Streaming verarbeiten, andererseits aber große Dateien über direkte Toolkopplungen (z.B. API) austauschen.

**Fazit:** Aus Sicht der Industrie existiert noch kein klares Bild, mit welcher Technologie in Zukunft Engineeringdaten ausgetauscht werden. Somit ist über eine längere Zeit mit einer Kombination



vieler Lösungen zu rechnen. Dies wiederum zeigt deutlich, dass die inhaltliche Standardisierung vorangetrieben werden muss, und beim Datenformat eine gewisse Flexibilität notwendig ist.

#### **4.4. Übergang zwischen Anlagenengineering und -betrieb**

Die vorhergehenden Kapitel beschreiben die aktuellen Prozesse, wie im Bereich der Instandhaltung die digitale Repräsentanz des Produktionssystems aufgebaut wird, sowie welche Ergebnisse aus dem Planungs- bzw. Engineeringprozess entstehen. Dabei ist festzustellen, dass die Informationen aufeinander aufbauen, aber jeweils in einer anderen Art- und Weise beschrieben werden. Dabei ist nicht rein das Datenformat relevant, sondern die gesamte Ontologie. Es werden ähnliche Informationen anders beschrieben.

Es kann somit der aktuelle Stand der Literatur (siehe Kapitel 3.4) bestätigt werden. Ferner ist zu erkennen, dass keine einheitliche Bebauung mit durchgehenden Tools vorliegt. Daraus folgt, dass eine Schnittstelle der Digitalen Fabrik mit dem Digitalen Fabrikbetrieb nur über eine komplexe Datentransformation realisiert werden kann [11].

Nimmt man das Zielbild für den Datenaustausch (siehe Abbildung 54) und ergänzt die aktuellen Handlungsbedarfe, so ergibt sich Abbildung 55.

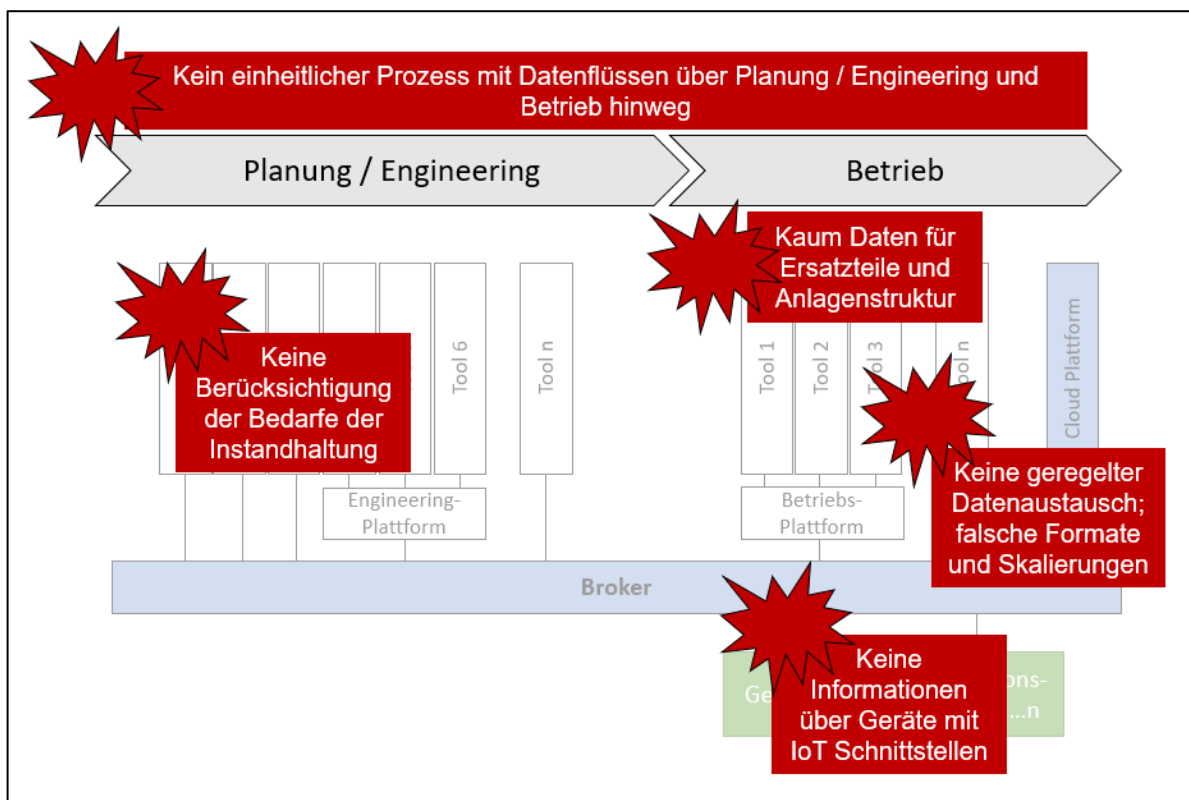


Abbildung 55: Pain Points Datenübergang Planung / Engineering zu Betrieb

## 5. Handlungsbedarfe und Forschungsfragen

Kapitel 3 und 4 haben gezeigt, dass einerseits beim Übergang zwischen der Engineering- bzw. Planungsphase und der Betriebsphase eine hohe Verschwendung an Ressourcen, Zeit und Qualität stattfindet, aber andererseits hierzu keine Lösungen beschrieben sind, die einen industriellen Einsatz zulassen. Die Lücke ist so bedeutend, dass die Industrieunternehmen diese Lösungen aktuell selbst entwickeln müssen.

### 5.1. Prozessualer Übergang vom Anlagenengineering in den Anlagenbetrieb

**F1:** *Wie werden Daten über den Engineeringprozess angereichert und an den Fabrikbetrieb für eine erfolgreiche Instandhaltung übergeben?*

Das Ziel lässt sich in einem groben Detailgrad einfach definieren. Die Produktionsanlage entsteht in einem Anreicherungsprozess im Engineering (vgl. Abbildung 35). Dabei durchläuft sie verschiedene Stationen (Gebäudeplanung, Fabriklayout, Konstruktion und Softwareprogrammierung). Dabei werden die Objekte entsprechend mit Informationen angereichert. Flankiert werden die Engineeringdisziplinen von passenden Simulationen (Ablauf und Materialfluss, geometrische Simulation und Virtuelle Inbetriebnahme) um die Korrektheit der Planung und des Engineerings zu überprüfen. Das Ergebnis des Engineeringprozesses ist eine digitale Repräsentanz der Produktionsanlage mit Objekten innerhalb einer Hierarchie. Ferner sind die Objekte mit instandhaltungsrelevanten Informationen ausgestattet. Werden Geräte oder Softwarelösungen mit einer OPC UA Schnittstelle eingesetzt, so werden diese Informationen ebenfalls an den Objekten hinterlegt, um sie für Tools in der Instandhaltung nutzbar zu machen. Die Toollandschaft übernimmt die Informationen und verarbeitet diese automatisiert. Änderungen aus der Instandhaltung (z.B. Komponententausch) werden wieder an die Engineeringdisziplinen zurückgemeldet. Außerdem werden für die Planung und das Engineering relevante Analysen aus dem Betrieb in die Planung zurückgeführt. Die gesamte Darstellung des Prozesses erfolgt in Kapitel 6.

### 5.2. Notwendige Informationen für die Instandhaltungsprozesse

**F2:** *Welche Methode eignet sich, um ein ideales Datenmodell für die Instandhaltungsprozesse zu definieren?*

**F3:** *Welche Informationen (ideales Datenmodell) benötigt der Instandhaltungsprozess unter Anwendung der Methode aus F2?*

Sowohl die Literatur als auch die Erfahrungen aus der Industrie zeigen, dass beide Hauptprozesse (Anlagenengineering und Betrieb) jeweils Lösungsansätze für eine Durchgängigkeit von Informationen aufweisen. Jedoch gibt es keine gemeinsame Basis, die den Austausch über beide Hauptprozesse gewährleistet (siehe Kapitel 3.4). Dem gegenüber stehen Ängste in den Unternehmen, dass die Digitalisierung und auch I4.0 Themen zu hohen Aufwänden führen (siehe Kapitel 1.1.3). Somit ist essenziell zu kennen, welche Informationen der spätere Betrieb (v.a. die Instandhaltung) benötigen. Im Idealfall können die Planungs- und Engineeringdisziplinen diese Information bereitstellen. Kapitel 7.1 und 7.2 beschreiben die notwendigen Daten der Instandhaltungsprozesse und gleichen diese mit vorhandenen Datenmodellen und – standards ab.

### **5.3. Automatisierter Datenübergang?**

**F4:** *Welche Methode eignet sich, um notwendige Datentransformationen zwischen Planung und Betrieb zu identifizieren?*

**F5:** *Wie können die Datentransformationen aus F4 in Datenmodellen abgebildet werden?*

Die Kapitel 3.4 und 4.4 zeigen, dass bei bisherigen Lösungen keine automatisierte Datenübernahme möglich ist. Daher ist anzunehmen, dass die Daten aus der Planung bzw. dem Engineering verändert werden müssen, um in das ideale Datenmodell der Instandhaltung überführt werden zu können. Kapitel 7.3 beschreibt diesen Transformationsprozess. Im abschließenden Umsetzungsbeispiel (Kapitel 8.2) werden die Transformationsregeln komplettiert.

## 6. Idealprozess

Wie in den meisten Unternehmen folgt die Digitalisierung immer den entsprechenden Prozessen in den Unternehmen. Dabei handelt es sich in diesem Fall um das Vorgehen in der Planung sowie die Übergabe von der Planung in den Betrieb. Ebenfalls können Prozesse optimiert werden, wenn ein Grundmaß an digitalen Möglichkeiten vorhanden sind. Somit bedingen sich Prozess und Digitalisierung und optimieren sich in einem immerwährenden Kreislauf. Für den aktuellen Betrachtungsumfang wird die erste Grundlage der Digitalisierung der Instandhaltungsprozesse geschaffen, die auf den aktuellen Prozessen basiert. Etwaige Prozessoptimierungen und deren Einführung bzw. die Transformation der Unternehmensorganisationen sind ein separates Forschungsfeld [138].

### 6.1. Idealprozess mit Fokus auf Daten

In welcher Form sich Prozess und Daten bedingen, wird in Abbildung 56, Abbildung 57 und Abbildung 58 in mehreren Detaillierungsstufen dargestellt und basiert auf der Zusammenfassung aller Informationen aus den Kapiteln 2,3 und 4. Die dargestellten Daten sind nicht komplett, sondern dienen lediglich der Veranschaulichung des Prinzips. Der gesamte Umfang aller Attribute ergibt sich immer im konkreten Projekt und basiert auf der Kombination vieler Standards und kann mehrere hundert Attribute pro Objekt umfassen.

Abbildung 56 zeigt die vereinfachten Prozessschritte der Anlagenplanung (Ressource) sowie eine grobe Darstellung der Produkt- und Prozessinformationen und der Übergabe der Anlagenplanungsinformationen in den Betrieb. Außerdem ist zu jedem Prozessschritt ein Beispiel dargestellt, welche Informationen typisch für die entsprechenden Tools und Disziplinen sind. Die Beispiele beziehen sich jeweils auf einen fiktiven Förderer mit der Bezeichnung „TL004“.

Abbildung 57 zeigt exemplarisch für die ersten Prozessschritte den Anreicherungsprozess eines möglichen Datenmodells. Mit jedem weiteren Prozessschritt werden die vorhergehenden Informationen übernommen sowie um die Informationen angereichert, für die der jeweilige Prozessschritt verantwortlich ist. Zur Übersichtlichkeit wurden die übernommenen Daten mit kleinerer Schriftart dargestellt. Dabei ist auch möglich, dass ein bereits vorhandenes Objekt (Förderer) um weitere Informationen angereichert wird.

Abbildung 58 stellt den gesamten Prozess dar. Dabei liegt der Fokus auf dem Anreicherungsprozess sowie auf der Verwendung von vorhergehenden Daten in einem Prozessschritt (gelber Rahmen und Pfeil). Dies zeigt, dass die jeweiligen Informationen von einem Prozessschritt konsumiert werden. Gerade diese Schritte laufen aktuell über eine manuelle Datenweitergabe. In dieser Abbildung ist ebenfalls zu erkennen, dass die Betriebsprozesse prinzipiell Informationen aus allen Objekten und Hierarchiestufen des Engineerings benötigt, wenn auch eine Reduktion der Daten stattfinden wird (siehe Kapitel 3.4 und Abbildung 51). Die Modellierung dieses Gesamtdatenmodells hat Auswirkungen auf die Geschäftsobjektmodellierung, welche in Kapitel 6.2 genauer beschrieben wird.



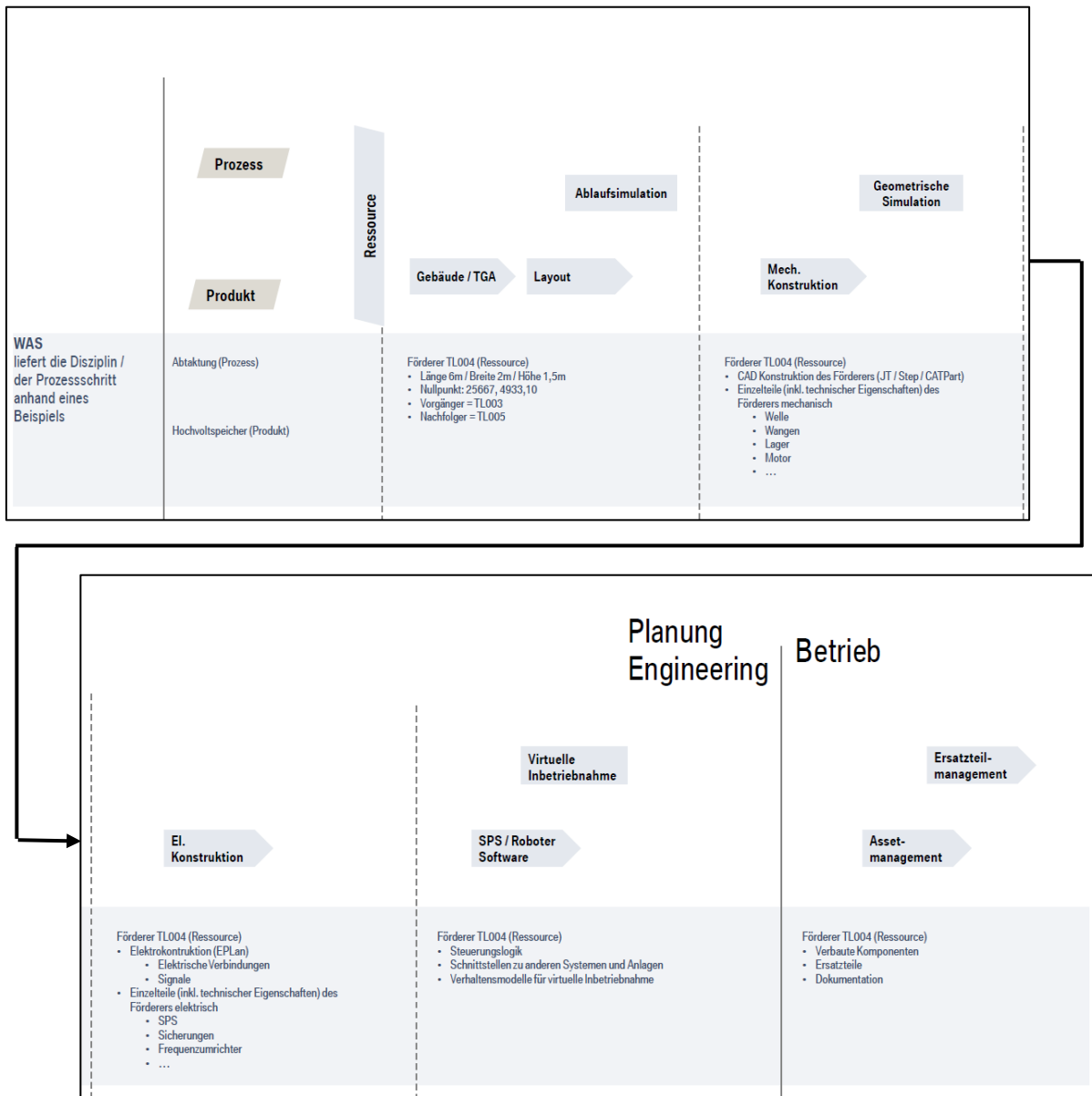


Abbildung 56: Prozess mit Beispieldaten je Disziplin (eigene Darstellung)

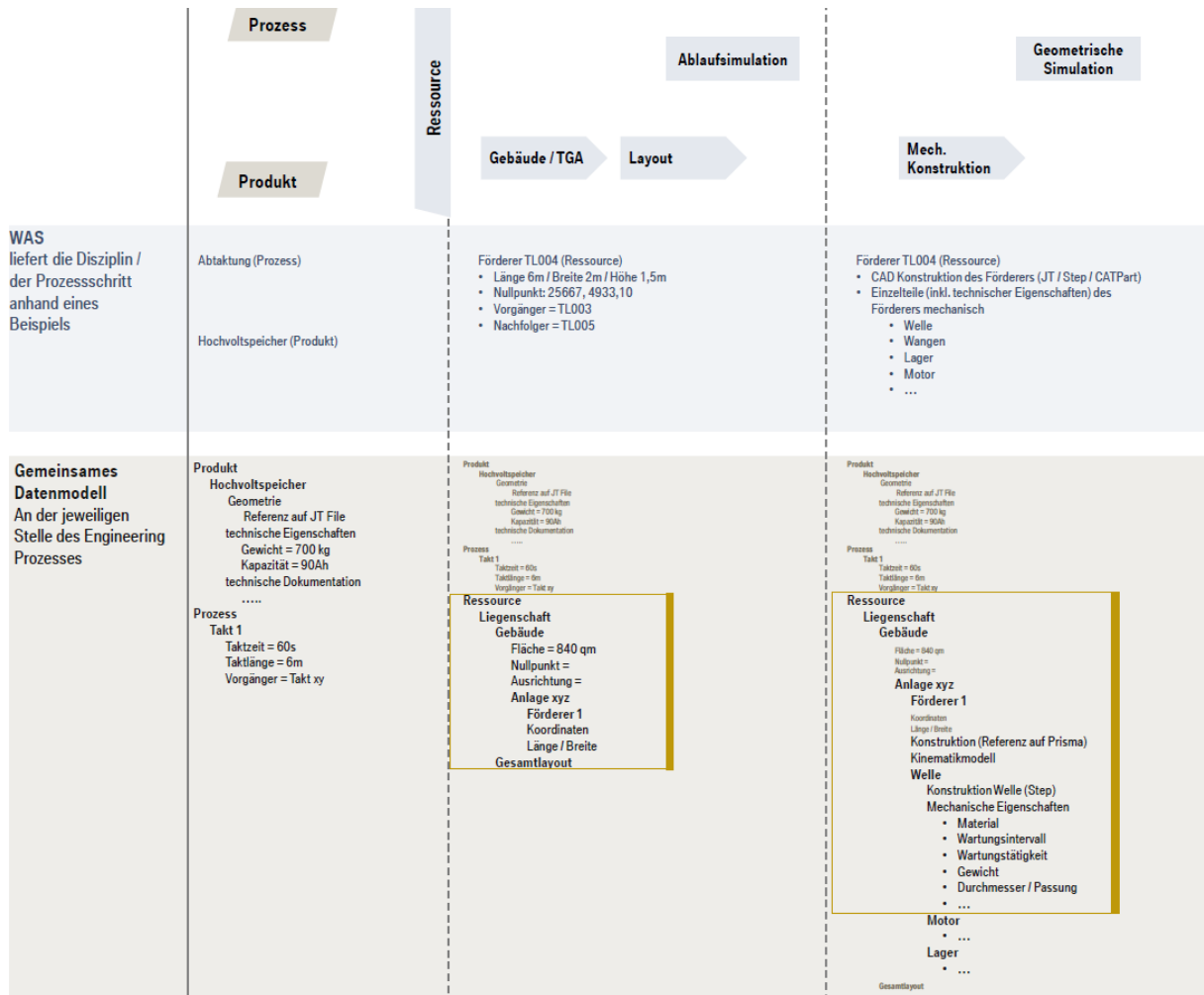


Abbildung 57: Prozessausschnitt mit exemplarischer Datenanreicherung (eigene Darstellung)





Damit ergeben sich folgende Kernergebnisse:

- Verschiedene Disziplinen in Planung und Engineering liefern spezifische Informationen an das gemeinsame Datenmodell. Dabei steht die jeweilige Datenverantwortung im Fokus. Disziplinfremde Attribute werden nicht geschrieben bzw. verändert.
- Mehrere Disziplinen arbeiten u.U. am selben Objekt. Dies fordert eine hohe Standardisierung sowie eine genaue Zuordnung der Datenverantwortung (siehe Punkt davor).
- Jede Disziplin konsumiert die Daten, die in vorherigen Anreicherungsritten im Datenmodell abgelegt wurden.
- Die Instandhaltung konsumiert Daten aus allen Engineering- und Planungsdisziplinen, da in dieser Phase bei der Datenverantwortung nicht mehr unterschieden wird. Es müssen alle Informationen aus dem Anreicherungsprozess zur Verfügung stehen.
- Es werden nicht alle Planungs- und Engineering-Informationen direkt in die Instandhaltungssysteme übergeben. Die Daten müssen genau auf die spätere Nutzung zugeschnitten werden. Hierbei liegt der Fokus auf dem Betreiben und Instandhalten der Produktionsanlagen.

## 6.2. Geschäftsobjektmodellierung mit domainübergreifendem Ansatz

Wie in Kapitel 4.3 beschrieben, werden im Ziel die Daten über einen Broker (z.B. Streamingdienste wie Kafka [137]) bereitgestellt. Kafka dient an dieser Stelle als Beispiel für Streaming - Dienste. Das Prinzip ist allgemein gültig. Dabei werden die einzelnen Events (Nachricht mit einem Wert und einem Zeitstempel eines Attributs) in Topics abgelegt. Jedes Topic kann von mehreren Events Informationen erhalten (siehe Abbildung 59).

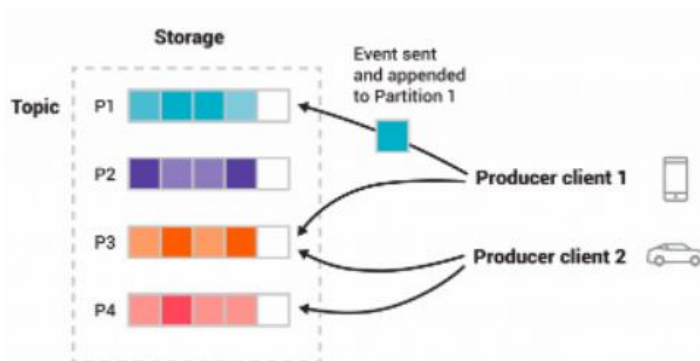


Abbildung 59: Kafka Topics und Events [137]

Somit ist es beispielsweise möglich, verschiedene Attribute mit Werten und Zeitstempel über ein Event in ein Topic zu legen. Dabei ist es aber möglich, dass das gleiche Attribut mehrfach im Topic abgelegt wird, da in einer gewissen Zeit mehrere Aktualisierungen durchgeführt wurden. Kafka erlaubt es aber mit entsprechenden Diensten die ältere Events zu gleichen Attributen aus dem Topic zu löschen, damit nur der aktuellste Wert vorhanden ist [137]. Damit auch Consumer nun die Werte interpretieren können, und um zu gewährleisten, dass auch die Attribute vorhanden sind, die von den Consumern benötigt und von den Producern bereitgestellt werden können, muss ein gewisses Maß an Standardisierung vorherrschen.

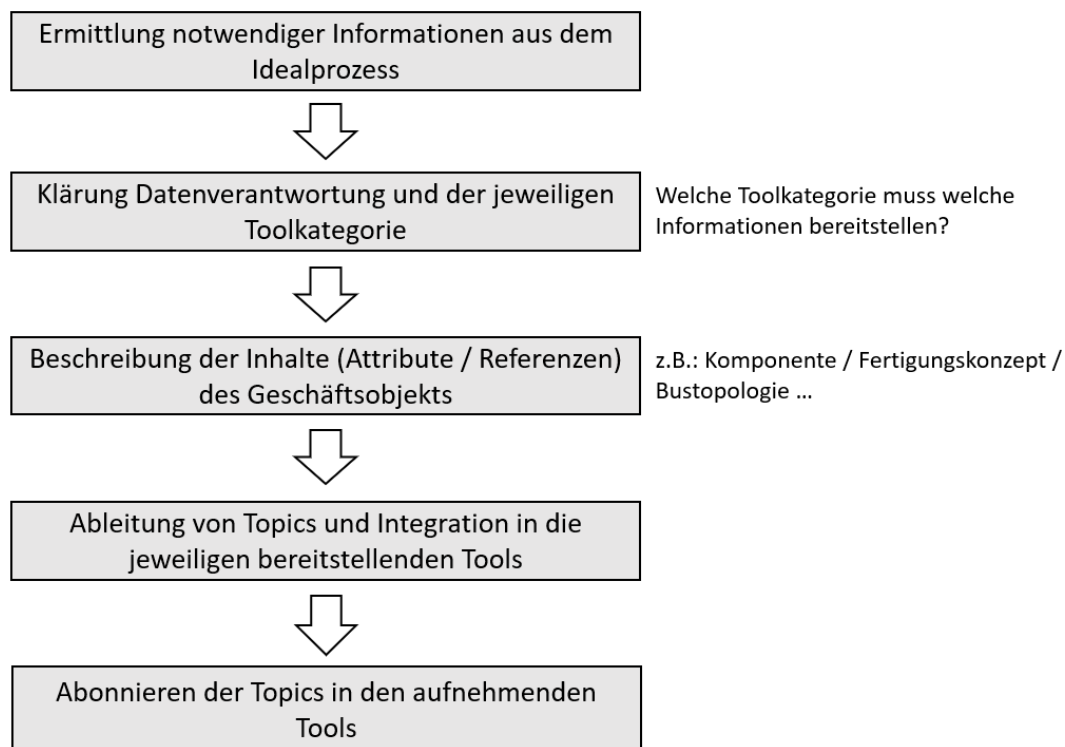
Aus diesem Grund werden in den Unternehmen dafür standardisierte Geschäftsobjekte modelliert. Das Ziel ist es genau die oben genannte Standardisierung der auf dem Kafka vorhandenen Topics durchzuführen. [139] definiert ein Geschäftsobjekt folgendermaßen:

*„ein Geschäftsobjekt – auch Business Object (BO) genannt – repräsentiert ein Objekt der geschäftlichen Welt, wie beispielsweise einen »Artikel«. Es besitzt eine strukturierte Menge von Attributen, die eine umfassende Beschreibung des Objektes in vielen Anwendungsfällen zulässt. Zu den Geschäftsobjekten kann es eine physikalische Entsprechung geben, wie es bei einem »Artikel« der Fall ist. Ebenso sind nichtphysikalische Geschäftsobjekte abbildbar, wie beispielsweise ein »Kommissionierauftrag«. Hierdurch ist es möglich, Prozessketten von Fachanwendern flexibel über individuelle Prozessmodelle zu definieren.“*

Somit bilden die Geschäftsobjekte die Gegenstände aus dem realen Geschäftsleben ab, die für objektorientierte Datenverarbeitungen notwendig sind. Geschäftsobjekte bilden auch eine Verbindung zwischen Anwendern und Entwicklern von IT Applikationen [140].

Bei Geschäftsobjekten handelt es sich somit nicht um ein spezielles Datenformat wie AML oder AAS, sondern um eine generische Beschreibung und Standardisierung des Dateninhalts zu einem speziellen Objekt.

Damit ergibt sich folgender Prozess (Abbildung 60), um aus den jeweiligen Planungsschritten (siehe Abbildung 58) und dem IT-Zielbild (siehe Abbildung 54) zu entsprechenden Geschäftsobjekten und damit Kafka-Topics (siehe Abbildung 59) zu gelangen.



**Abbildung 60: Prozess zur Definition von Geschäftsobjekten basierend auf Idealprozess (eigen)**

Das Zusammenwirken der jeweiligen Planungsschritte (siehe Abbildung 58) des IT-Zielbilds (siehe Abbildung 54) und entsprechender Geschäftsobjekten und damit Kafka-Topics (siehe Abbildung 59) ist prinzipiell in Abbildung 61 dargestellt. Den jeweiligen Prozessen, sowohl in Planung / Engineering als auch im Betrieb können entsprechende Tools zugeordnet werden. Diese Tools stellen auf dem Broker den Geschäftsobjekten entsprechende Topics bereit (siehe farbige Pfeile). Diese Topics können beliebig von jedem Tool abonniert werden.

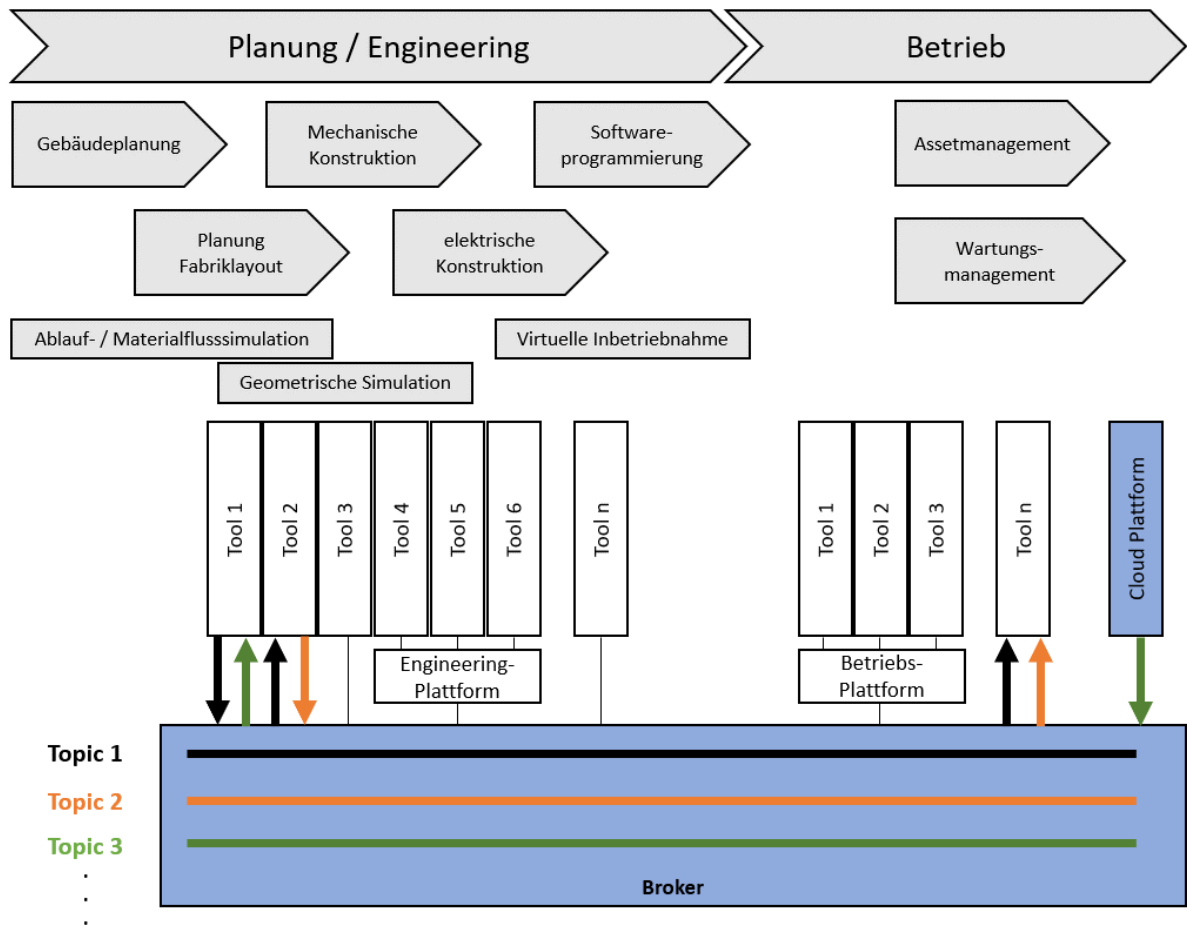
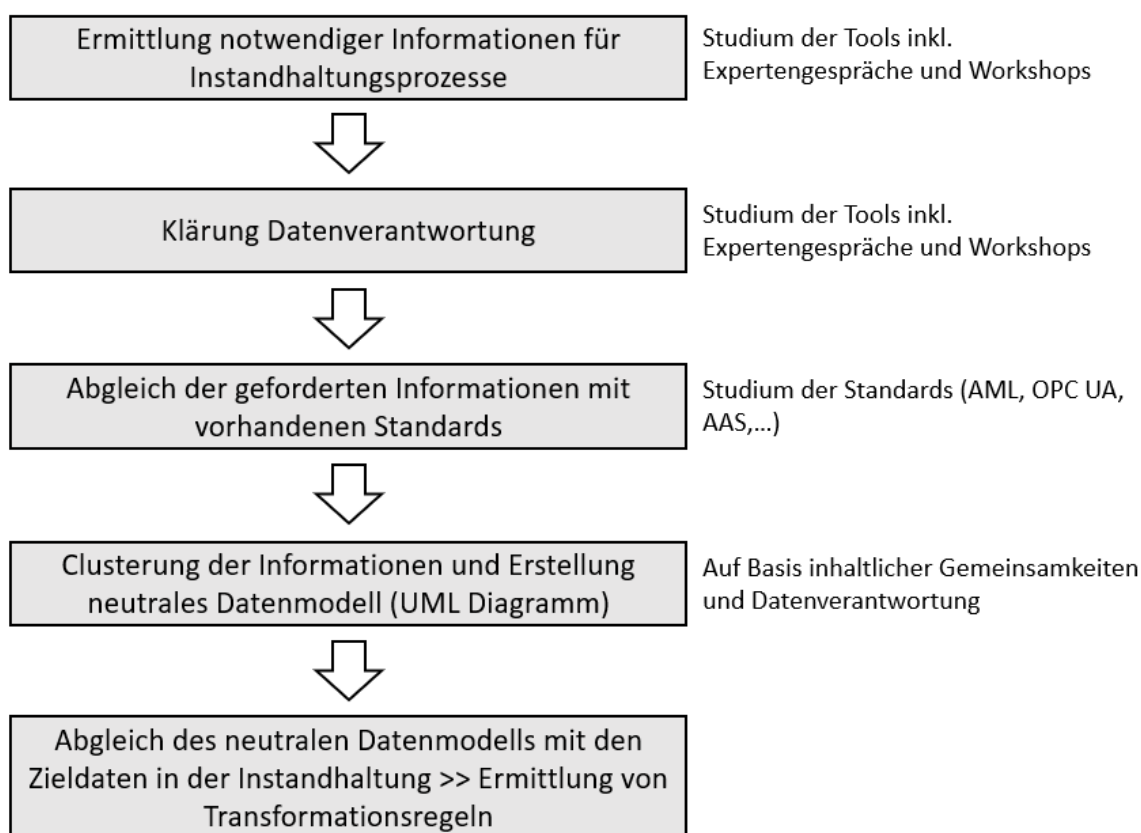


Abbildung 61: Zusammenwirken Prozess, IT und Geschäftsobjekte bzw. Topics (eigen)

## 7. Dateninhalte und Datentransformation

In Kapitel 6 wird der Idealprozess beschrieben, wie Informationen in der Planung bzw. dem Engineering aufgebaut und in den Betrieb übergeben werden. Der nächste Schritt ist die Detailbetrachtung, welche Daten konkret in den Betrieb übergeben werden müssen.

Zur Ermittlung der notwendigen Dateninhalte, deren Datenverantwortung sowie der Zuordnung zum jeweiligen Planungsschritt und der Ermittlung der notwendigen Transformationsregeln wird der in Abbildung 62 dargestellte Prozess definiert und angewendet.



**Abbildung 62: Prozess zur Ermittlung des Datenmodells / der Datenverantwortung und der Transformationsregeln (eigene Darstellung)**

Vor der Analyse der Daten ist eine Detailbetrachtung des betroffenen Prozessschritts notwendig. Die in Abbildung 62 dargestellten Schritte werden mit einer SIPOC-Methode begleitet. Die in der Industrie bekannte Methode beschreibt den Prozessschritt anhand fünf Kriterien:

- **Supplier:** Wer liefert die Informationen? Die Daten liefern die Antworten zur Datenverantwortung.
- **Input:** Was liefert der Supplier? Hierbei werden die detaillierten Quellen angegeben, inkl. aller Attribute.
- **Process:** Der durchlaufene Prozess wird beschrieben. Hierfür liegen die Grundlagen aus den Kapiteln 2, 3 und 4 zugrunde.
- **Output:** Welche Daten werden an den Abnehmer übergeben? Hierbei werden die detaillierten Senken angegeben, inkl. aller Attribute.
- **Customer:** Wer übernimmt den Output? In diesem Fall ist dieser Anteil einfach zu beschreiben. Es handelt sich in jedem Fall um die Planungsbereiche sowie die operativen Bereiche der Instandhaltung.

**Entscheidend ist, dass diese Methode nicht ausschließlich für die aktuellen Prozesse angewendet wird. Vielmehr ist entscheidend, wie in Zukunft der Datenaustausch stattfinden muss. Für den Sollzustand muss die Analyse bezüglich Daten rückwärts angewendet werden. Der Prozessschritt und der Output definieren den Input.**

Damit ist der in Abbildung 62 dargestellte Prozess im Detail folgendermaßen durchzuführen:

- **Ermittlung notwendiger Informationen für Instandhaltungsprozesse**  
Dieser Schritt stellt den größten Aufwand dar, entscheidet aber mit der Ergebnisqualität über den Fortschritt in den darauffolgenden Schritten.

Die Daten, die entlang des Prozesses entstehen, werden im ersten Schritt in einer großen Excel Tabelle der SIPOC Vorlage (siehe Anhang Kapitel 10.2) aufgenommen. Zur weiteren Verarbeitung und zur Darstellung von Mappings wird im zweiten Schritt ein UML-Diagramm (siehe Anhang Kapitel 10.3) angefertigt. Dieses UML-Diagramm enthält an dieser Stelle folgende Informationen:

- Datenmodell des Betriebs (Anforderungen)

- **Klärung Datenverantwortung**

Den geforderten (SOLL SIPOC Analyse) Informationen stehen die Disziplinen des Engineerings gegenüber. Diese Einteilung erfolgt in der SIPOC-Excel-Vorlage an den Stellen des „Suppliers“. Ferner wird die Information im nächsten Schritt auch in das UML-Diagramm integriert.

- **Ableich mit vorhandenen Standards**

Vorhandene Standards werden im UML-Diagramm als Klassen modelliert. Über eine Usage Verbindung werden im UML-Diagramm die geforderten Attribute mit den Attributen der vorhandenen Standards gemappt. Somit enthält das UML-Diagramm in diesem Schritt folgende Informationen:

- Datenmodell des Betriebs (Anforderungen)
- Mapping der Attribute des Betriebs zu vorhandenen Datenmodellen (z.B. AML)
- Neue Datenmodelle, um die Anforderungen des Betriebs abzudecken
- Mapping der Attribute des Betriebs zu neuen Datenmodellen
- Hinweise zur Transformation und zur Datenverantwortung

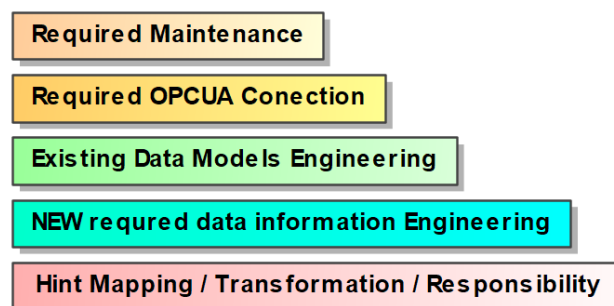
- **Clustering und Erstellung neues Datenmodell**

Die nicht auf vorhandene Standards gemappten Attribute müssen aus dem Engineering im zukünftigen Prozess versorgt werden. Dafür werden neue Klassen mit Attributen angelegt, und ebenfalls ein Mapping über die Usage Verbindung vorgenommen. Damit ergeben sich die neuen Datenmodelle.

- **Mappingregeln**

Ergeben sich beim Mapping im UML-Diagramm bereits Erkenntnisse, dass ein direktes Mapping nicht möglich ist, sondern ein Attribut über Regeln aus anderen Informationen gebildet werden muss, so wird dies ebenfalls im UML-Diagramm vermerkt.

Zur besseren Übersicht wird im UML-Diagramm mit Farbcodes gearbeitet (siehe Abbildung 63).



**Abbildung 63: Farbcodes UML-Diagramm**

Die Mappings von Attributen werden über eine „Usage“ Beziehung modelliert. Hierbei ist zu beachten, dass die Pfeilrichtung zum verwendeten Element zeigt. Ein Beispiel ist in Abbildung 64 dargestellt.



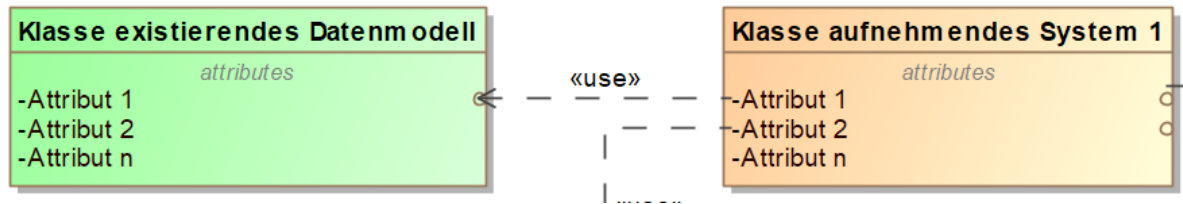


Abbildung 64: "Usage" Beziehung in UML-Diagramm

Transformationsregeln und Hinweise zur Verantwortung werden den entsprechenden Klassen im UML-Diagramm zugewiesen. Ein Beispiel wird in Abbildung 65 dargestellt. Darin enthalten sind auch Hinweise, sollten Attribute nicht direkt verwendbar sein, sondern aus mehreren Attributen gebildet werden.

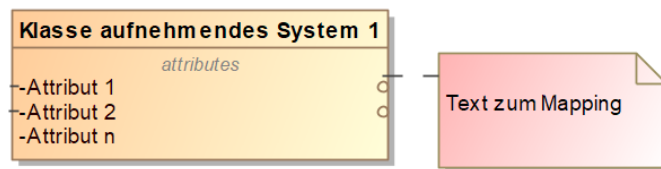


Abbildung 65: Hinweise und Verantwortung UML Diagramm

Attribute, die nicht durch die Planungs- und Engineeringdisziplinen verantwortet werden, sondern in der Verantwortung der Instandhaltung selbst liegen, werden nicht gemappt und können im UML-Diagramm daran erkannt werden, dass die Attribute aus den „Required“ Klassen nicht durch eine Beziehung verknüpft sind.

**Fazit:** Damit ergibt sich in Summe ein Gesamtbild aus anfordernden Klassen, vorhandenen Datenmodellen und den neu definierten Datenmodellen inkl. der Mappingbeziehung. (siehe Abbildung 66)

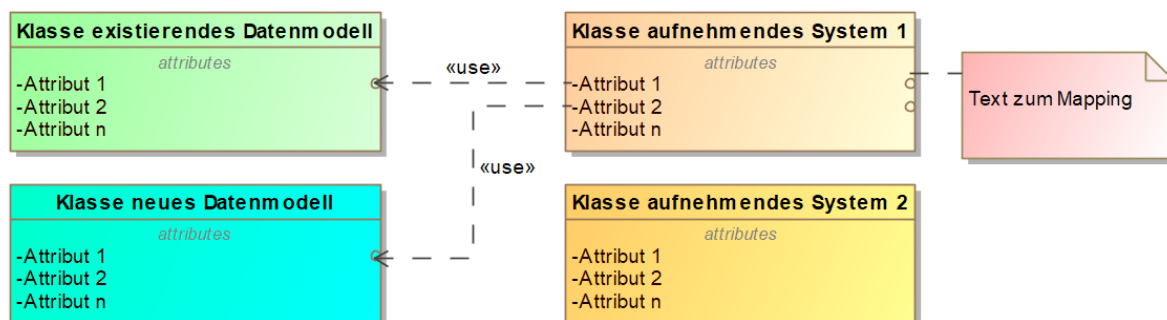


Abbildung 66: Zielbild UML-Diagramm inkl. Mapping gesamt

## 7.1. Notwendige Informationen für den Instandhaltungsprozess inkl. Datenverantwortung

Die nachfolgenden Ergebnisse basieren einerseits auf der Analyse der entsprechenden Benutzerhandbücher und Dokumentationen der entsprechenden Systeme, wie unter Kapitel 3.2 angegeben, sowie auf intensiven Gesprächen und Workshops mit den entsprechenden Personenkreisen bzw. Rollen:

- **Planer (in):** In der Planung wird der Planungs- und Engineeringprozess des Produktionssystems verantwortet. Darunter fallen alle Planungsschritte aus Kapitel 2.1 und Kapitel 4.1. Der Planer leitet das Projekt und stellt den Erfolg in der Zusammenarbeit mit internen und externen Partnern sicher und sorgt für eine korrekte Übergabe der Anlage an den Betreiber.
- **Instandhaltungsplaner (in):** Bereits während der Planungsphase der neuen Anlagentechnik planen die Instandhaltungsplaner die zukünftigen Maßnahmen im Betrieb. Dazu zählen v.a. die Anlage der Ersatzteile in den entsprechenden Systemen sowie die Definition und Anlage entsprechender Wartungspläne. Der Fokus liegt aber auf den klassischen Instandhaltungsprozessen (siehe Kapitel 2.2.1)
- **Spezialist (in) Steuerungstechnik / Digitalisierung in der Instandhaltung:** Dieser Personenkreis verantwortet die Steuerungstechnik im Betrieb der Anlagen. Außerdem werden alle I4.0 Initiativen durch diesen Personenkreis gesteuert und umgesetzt.

Die notwendigen Informationen werden wie in Abbildung 62 beschrieben in einer gemeinsamen Tabelle (siehe Anhang Kapitel 10.2) erfasst und in das entsprechende UML-Diagramm (siehe Anhang Kapitel 10.3) integriert.

### 7.1.1. Notwendige Informationen klassische Instandhaltung

Die Hauptaufgaben sind die Ausfallbehebung und die periodische Instandhaltung (siehe Kapitel 2.2). Um auf konkrete Informationen und deren Inhalte bzw. Datentypen zu kommen, ist eine genauere Analyse anhand eines konkreten Systems bzw. Prozesses notwendig. Ein etabliertes System in der Instandhaltung ist hierfür das SAP EAM (Enterprise Asset Management) und SAP PM (Plant Maintenance).

Die SAP Datenstruktur weicht hierbei von neutralen Datenformaten ab und wird durch folgende Objekte definiert [68, 69]:

- **Equipment:** *„Das Business-Objekt Equipment ist ein individueller, körperlicher Gegenstand, der eigenständig instandzuhalten ist. Es kann in eine technische Anlage oder einen Anlagenteil eingebaut sein. Sie können alle möglichen Arten von Gegenständen als Equipments verwalten, z.B. Produktionsmittel, Transportmittel, Prüf- und Meßmittel, Fertigungshilfsmittel, Gebäude, PCs“* [69]
- **Technischer Platz:** *„Das Business-Objekt Technischer Platz ist eine organisatorische Einheit der Logistik, die die instandzuhaltenden Objekte eines Unternehmens nach funktionalen, prozessorientierten oder räumlichen Gesichtspunkten gliedert. Ein Technischer Platz repräsentiert den Ort, an dem eine Instandhaltungsmaßnahme durchzuführen ist“* [69]
- **Wartungsplan:** *„Beschreibung durchzuführender Wartungs- und Inspektionsmaßnahmen an Instandhaltungsobjekten. Die Wartungspläne beschreiben Termine und Umfang der Maßnahmen“* [69]. Bei den Instandhaltungsobjekten handelt es sich um die oben beschriebenen Equipments und technische Plätze.
- **Arbeitsplan:** *„Instandhaltungsarbeitspläne beschreiben eine Folge von einzelnen Instandhaltungstätigkeiten, die in einem Betrieb immer wieder ausgeführt werden müssen“* [69]. Die Arbeitspläne werden in den Wartungsplänen referenziert.
- **Vorgang:** *„Mit Vorgängen beschreiben Sie die einzelnen durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen. Der Vorgang umfasst die Zeit, den Arbeitsplatz und weitere Steuerinformationen für eine einzelne Instandhaltungsmaßnahme. Im Vorgangstext können Sie beschreiben, wie die Arbeit erledigt werden soll“* [69].

Alle diese Objekte beinhalten eine Vielzahl an Attributen und eine Referenz auf das jeweilige Elternelement. Über diese Referenz wird die Struktur bzw. die Hierarchie der Produktionsanlage realisiert.

**Zwischenfazit:** Die Informationen zu einer Komponente bzw. einem in neutralen Modellierungssprachen beschriebenen Objekt müssen auf die obenstehenden Objekte aufgeteilt werden. Dabei ist eine Vielzahl an Kriterien zu beachten. Es ist somit nicht möglich, die instandhaltungsspezifischen Objekte durch ein einfaches Mapping aus den Engineeringinformationen zu generieren; es ist eine komplexe Transformation der Daten zu erwarten.

## Equipment Informationen

Ein Equipment wird mit einer Vielzahl an Attributen beschrieben. Die Analyse erfolgt am Originalsystem in Kombination mit entsprechender Literatur. Die genaue Beschreibung aller Attribute anhand der Eingabemasken im System ist dem Anhang in Kapitel 10.1 zu entnehmen. Die folgenden Attribute wurden in das UML-Klassendiagramm übertragen (siehe Kapitel 10.3):

- Equipmentnummer
- Bezeichnung
- Status
- Gültig ab
- Gültig bis
- Klasse
- Objektart
- Inventarnummer
- In Betrieb ab
- Nutzungsenddatum
- Schichtnotizart
- Standortwerk
- Standort
- Raum
- Betriebsbereich
- ABC-Kennzeichen
- Sortierfeld
- Planungswerk
- Planergruppe
- Leitungsplatz
- Berichtschema
- Buchungskreis
- Geschäftsbereich
- Kostenstelle
- Dauerauftrag
- Anschaffungswert
- Anschaffungsdatum
- Hersteller
- Herstellerteilenummer
- Herstellerseriennummer
- Herstellungsland
- Baujahr
- Garantiebeginn
- Gewährleistungsende
- Mustergarantie
- Garantie erben
- Garantie vererben
- Materialnummer
- Seriennummer
- letzte Seriennummer
- Bestandsart
- Werk
- Lagerort
- Bestandscharge
- Sonderbestand
- Kunde
- Kundenauftrag
- Bestandseigentum
- Buchungskreis Bestand
- Stammcharge
- Lieferant
- PSP-Element
- Technischer Platz
- Übergeordnetes Equipment
- Position
- techn. Identnummer
- Bautyp
- Wartungsplannummer
- Wartungsplanbezeichnung
- Wartungszyklus
- Zyklustext
- Offset
- Zähler
- VF verspätete Erledigung
- Toleranz+
- VF verfrühte Erledigung
- Toleranz-
- Streckungsfaktor

- Fabrikkalender
- Eröffnungshorizont
- Abrufintervall
- Erledigungspflicht
- Terminkennzeichen
- Zyklusstart
- *Wartungsplan 1...n*

Je nach Klasse und Objektart können weitere Merkmale als kundenspezifische Erweiterung hinzugefügt werden. Dies wird aber an dieser Stelle außer Acht gelassen. Eine firmenspezifische Erweiterung hat auf die Methode sowie die Mappings keine Auswirkung und kann gemäß der hier beschriebenen Lösung behandelt werden.

### Wartungsplan / Vorgänge:

Der Wartungsplan zu einem Objekt ist wiederum als eigenes Objekt zu realisieren, welches auf das zu wartende Objekt verweist.

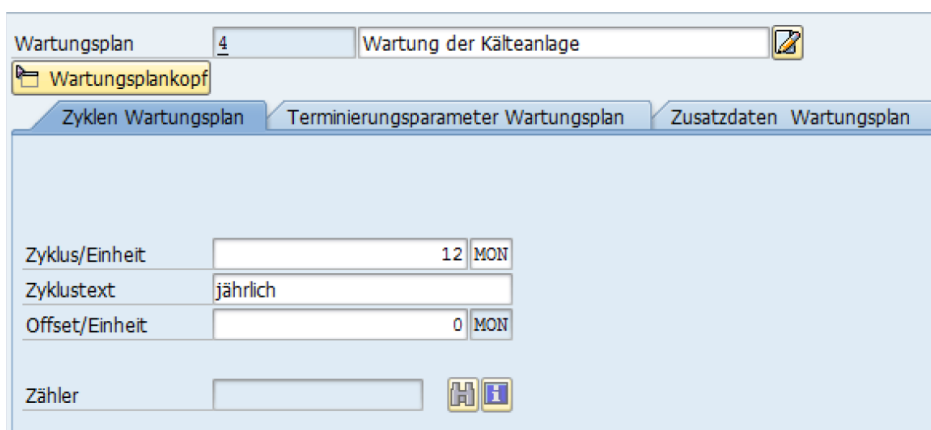


Abbildung 67: Wartungsplan Teil 1 SAP [135]

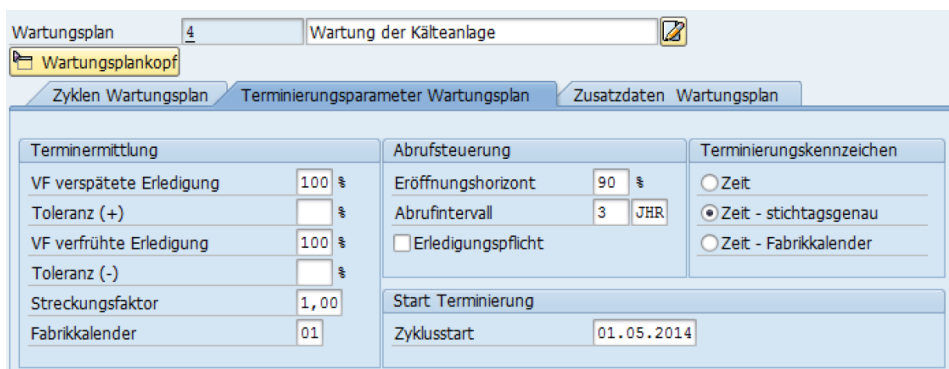


Abbildung 68: Wartungsplan Teil 2 SAP [135]

The screenshot displays the SAP Maintenance Plan (Wartungsplan) interface. It is divided into several sections:

- Position:** Shows 'Wartungsposition' 144 and 'Wartung der Kälteanlage'.
- Bezugsobjekt:** Shows 'Techn. Platz' 1DA015-GE65570/40... and 'Equipment'.
- Planungsdaten:** Shows 'Planungswerk' FUB (Freie Universität Berlin), 'Planergruppe' C2 (III C 22 TGA&Betriebs), 'Meldungsart' Z2 (Wartungsmeldung FUB), and 'Verantw. ArbPl.' III C 22 / FUB (III C 22 - Telefonnummer).
- Arbeitsplan:** Shows a table with columns for 'Typ', 'Plangruppe', 'PIGrZ', and 'Beschreibung'.

**Abbildung 69: Wartungsplan Teil 3 SAP [135]**

Jede Position kann einen oder mehrere Arbeitspläne enthalten. Je nach SAP-Objektyp (Technischer Platz oder Equipment) ist ein anderes Objekt Arbeitsplan relevant. Der Arbeitsplan ist wiederum in Vorgänge und Untervorgänge unterteilt. Die Arbeitspläne unterscheiden sich auch hierbei nach den unterschiedlichen Objekten „Equipment“ oder „Technischer Platz“. Dies ist bei der späteren Datentransformation zu beachten, da in der Planung nicht absehbar ist, ob ein Objekt ein „Equipment“ oder „Technischer Platz“ sein wird. Die dem Arbeitsplan zugeordneten Vorgänge werden wiederum unterschieden in „Eigenbearbeitungsvorgänge“ und „Fremdbearbeitungsvorgänge“. Die detaillierte Unterscheidung der Arbeitspläne und der Vorgänge ist der entsprechenden SAP-Dokumentation zu entnehmen. Ein Arbeitsplan zeichnet sich generell (unabhängig von den oben erwähnten Unterschieden) durch folgende weitere Informationen aus [69]:

- Kurzttext
- Arbeitsplatz
- Instandhaltungsplanergruppe
- Status
- Wartungsstrategie (Kalender-, Schichtgenau)
- Vorgang:
  - Vorgangsnummer
  - Arbeitsplatz
  - Werk
  - Vorgangsbeschreibung
  - Vorgangsdauer
  - Vorgangsarbeit
  - Anzahl Arbeiten

- Material:
  - Komponente
  - Bezeichnung
  - Bedarfsmenge
  - Mengeneinheit
  - Lagerort

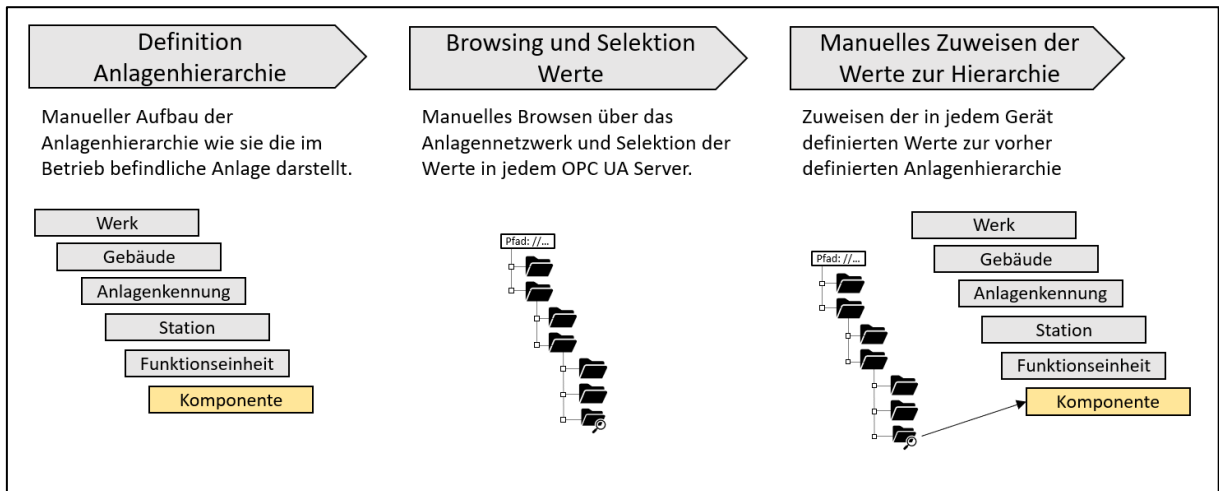
Arbeitspläne beschreiben die genauen Tätigkeiten für einen Anlagenteil, Sicherheitsbereich oder auch eine einzelne Komponente, da sie auf allen Objekten anwendbar sind. Somit sind die Daten sowohl für Lieferanten von Komponenten als auch für Lieferanten kompletter Anlagen relevant.

Das Objekt „Technischer Platz“ und dessen Attribute, werden an dieser Stelle nicht im Detail beschrieben. Der Technische Platz enthält hauptsächlich Informationen, deren Verantwortung bei der Instandhaltung und nicht im Engineering liegt. Lediglich die Objekte „Technischer Platz“ müssen entsprechend angelegt und bezeichnet werden, um die Hierarchie korrekt herzustellen.

### **7.1.2. Notwendige Informationen I4.0 Use Cases**

Zur Analyse der aktuellen Situation wurden Gespräche mit den dafür vorgesehenen Experten durchgeführt. In vielen dieser Expertengesprächen wurden diverse Industrie 4.0 Applikationen diskutiert. Diese haben alle gemein, dass Diagnosewerte von diversen Komponenten aus den Produktionsanlagen abgegriffen werden müssen, um die späteren Auswertungen durchführen zu können. Neben den Diagnosewerten selbst ist den Experten wichtig, dass diese korrekt in der Anlagenhierarchie verortet sind.

Der aktuelle Prozess zum Abgriff und zur Strukturierung der Diagnosewerte ist ein rein manueller Prozess. Wie in Abbildung 70 dargestellt, besteht der Prozess aus drei Schritten. Auffällig dabei ist, dass alle drei Schritte zwar über entsprechende Systeme und Plattformen durchgeführt werden, aber immer ein hoch ausgebildeter Mitarbeiter dies manuell führen muss.



**Abbildung 70: Manueller Prozess Abgriff Diagnosewerte für I4.0**

Das Ziel des manuellen Prozesses ist die Zuordnung der Knoteninformationen (siehe Kapitel 3.3.3) zu den Datenobjekten, um die im laufenden Betrieb anfallenden Werte korrekt zuzuordnen.

Dieser manuell getriebene Prozess führt dazu, dass viele Industrie4.0 Use-Cases nur mit hohem Personalaufwand durchführbar sind. Die Folge daraus ist laut der Beobachtung von Experten, dass es zu keiner flächendeckenden Anwendung kommt, sondern lediglich einzelne Piloten umgesetzt werden. Stellt man dem in Abbildung 70 dargestellten Prozess die Anzahl an Industriesteuerungen und Sensoren bzw. Aktoren gegenüber, kann der Eindruck der Experten nachvollzogen werden. Moderne Fahrzeugwerke haben über 1500 Industriesteuerungen sowie weit über 150000 am Netzwerk angebundene Sensoren / Aktoren. Jede Industriesteuerung hat über 20 und jeder Sensor / Aktor hat meist mehr als 5 relevante Datenpunkte. Die Daten beruhen auf der Einschätzung entsprechender Experten.

Eine prototypische Validierung dieser Einschätzung ist mit entsprechenden Softwarelösungen möglich. Über „KEPServerEX“ der Firma PTC lassen sich sowohl OPC UA Server definieren und mit Daten versehen, sowie diese mit einem „OPC Quick Client“ testen [141]. Der „OPC Quick Client“ stellt in diesem Fall die Funktionen dar, die für die Sammlung von Daten für die Auswertung zuständig sind. Informationen zum Server / Client Prinzip bei OPC UA sind in Kapitel 3.3.3 dieser Arbeit zu finden. Der Zugriff auf die einzelnen Datenpunkte bzw. Variablen erfolgt in drei Schritten [141]:

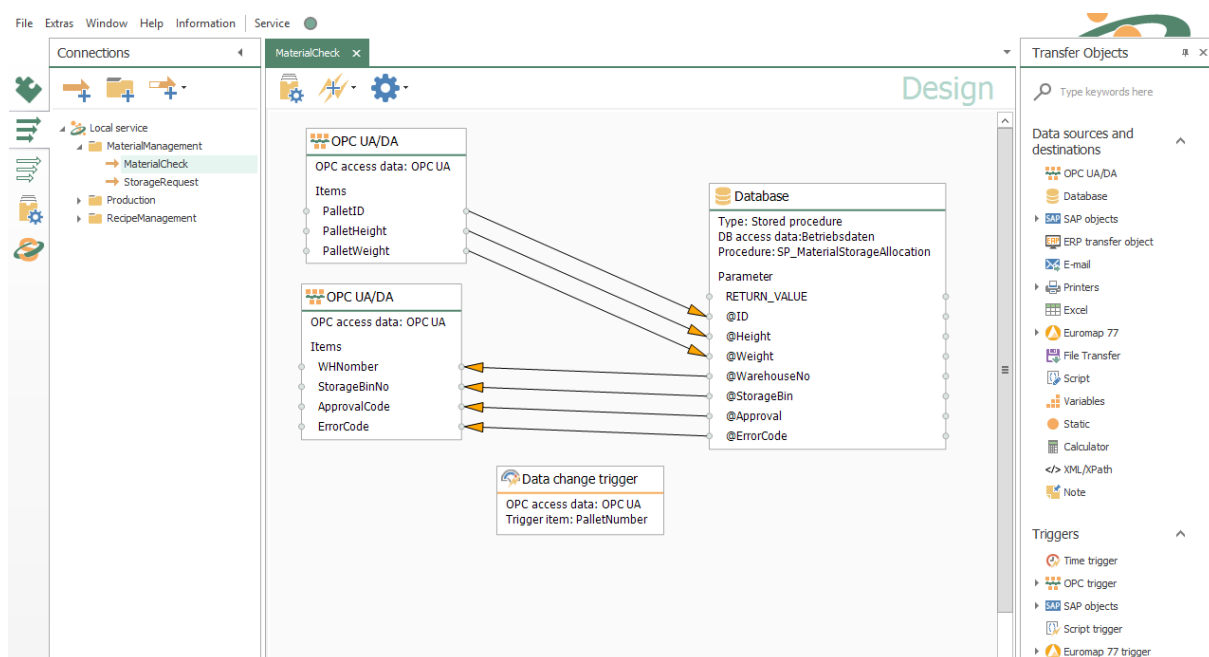
1. Aufbau der Verbindung zum Server
  - a. Eingabe der Verbindungsparameter (lokal oder über DCOM)
  - b. Definition der erweiterten Parameter wie Aktualisierungsrate
2. Browsen der einzelnen Variablen
  - a. Browsing der Variablen in Abhängigkeit der Strukturierung auf dem entsprechenden OPC UA Server. Diese Strukturierung entspricht nicht der



Anlagenstruktur, wie sie in den Planungs-, Engineering- und klassischen Instandhaltungsprozessen angewendet wird.

3. Hinzufügen der Variablen zum Projekt (ohne Verortung in einer Hierarchie)
  - a. Auswahl der Variablen bzw. des Datenpunkts und Hinzufügen zum entsprechenden UI. Die Variablen werden in einer flachen Liste dargestellt und sind noch nicht strukturiert bzw. in eine Hierarchie, wie sie in den Planungs-, Engineering- und klassischen Instandhaltungsprozessen angewendet wird, eingebettet. Ferner sind weder die Einheit noch die Skalierung der Variablen bekannt.

Die Verknüpfung der OPC UA Variablen mit einer Datenbank ist ebenfalls über existierende Softwaretools möglich. Beispielhaft zur prototypischen Anwendung kann das Tool „OPC Router“ der Firma INRAY INDUSTRIESoftware GmbH verwendet werden [142]. Abbildung 71 zeigt die Bedienoberfläche des Tools. Die oben genannten Schritte zum Aufbau der Verbindung und dem Browsing der Variablen sind vergleichbar. Im „OPC Router“ können zusätzlich die Variablen an Felder in einer Datenbank übergeben werden, und somit strukturiert werden.



**Abbildung 71: OPC UA Datenzuweisung in Inray OPC UA Router [142]**

Das Beispiel in Abbildung 71 zeigt eine direkte Zuweisung einer OPC UA Variablen. In der Industrie zeichnet sich bereits die Anwendung einer Zwischenschicht ab; das Edge Device. Dieses Device dient als Aggregator meist auf Anlagenebene und verwaltet somit die einzelnen Verbindungen zu den OPC UA Servern [143]. An der generellen Herausforderung gibt es dadurch keine Veränderungen. Auch die Edge Devices müssen die Verbindungen aufbauen und die Informationen in eine Struktur bringen, bevor sie gesammelt an die finale Datenbank oder Cloud übertragen werden.

Eine weitere Möglichkeit, um die Verbindung zu konfigurieren und zu testen bietet die Firma Siemens mit den Möglichkeiten der S7 Steuerungen sowie der Client Applikation „UAExpert“ [144].

Der somit bestätigte Stand der Technik ist nicht ausreichend, um im großen Maßstab Produktionsanlagen an IoT-Systeme anzubinden. Daher muss es das Ziel sein, dass die Zuordnung der Knoteninformationen zum Datenobjekt bereits im Datenmodell beschrieben ist und idealerweise aus dem Engineering bereitgestellt wird.

### **7.1.3. Datenverantwortung und Fazit zu den Anforderungen aus dem Betrieb**

Die Informationen aus Kapitel 7.1.1 und 7.1.2 müssen von verschiedenen Rollen oder Disziplinen erbracht werden.

Die Zuordnung der Verantwortung zur jeweiligen Information berücksichtigt folgende Aspekte:

- Prozessbeschreibungen (siehe Kapitel 2 und 4)
- Richtlinien und Normen: hier ist v.a. die Maschinenrichtlinie [145] und deren Verweise sowie die VDI2770 [67] zur Dokumentation zu beachten, da diese gerade für Wartungsinformationen genaue Vorgaben zur Verantwortung enthalten.

Aus dem UML-Diagramm (siehe Anhang Kapitel 10.3) ist zu entnehmen, welche Informationen aus der Planung bzw. des Engineerings gefordert werden. Dies lässt sich in folgende Cluster unterteilen:

- Hierarchie und Strukturinformationen
- Komponenteninformationen zum Komponententyp
- Komponenteninformationen zur Komponenteninstanz
- Verbindungsinformationen OPC UA

Die Hierarchie- und Strukturinformationen müssen aus allen Planungs- und Engineeringdisziplinen bereitgestellt werden. Dies bedeutet, dass bereits beginnend bei der Layoutplanung ein einheitliches Strukturierungskonzept angewendet werden muss, welches in allen weiteren Schritten (siehe Kapitel 2.1 und Kapitel 3.2) fortgeführt und bis in tiefere Ebenen erweitert werden muss. Neben der starren Hierarchie vom Werk bis zum einzelnen Bauteil sind auch Querverbindungen (z.B. eine Kabelverbindung von einem Förderer zu einem Schaltschrank) zu berücksichtigen.

Bei den Informationen zu Komponenten eines Produktionssystems muss zwischen den Typen und den Instanzen unterschieden werden. Die Komponenteninformationen zum Komponententyp resultieren in Attribute, die vom Komponentenhersteller zur Verfügung gestellt werden müssen. Es handelt sich dabei um Attribute, die sich auf den Komponententyp beziehen und über alle Instanzen dieses Typs gleich sind (vgl. Datenblatt eines Herstellers).

In bekannten Standards (siehe hierzu Kapitel 7.2.1 AML-Komponentenbeschreibung und AAS Digital Nameplate for Industrial Equipment) werden in einem Datenmodell sowohl die Typinformationen als auch die Instanzinformationen gepflegt. Zur einfacheren Unterscheidung bezüglich Datenverantwortung wurden die neuen Typ- und Instanzinformationen im UML-Diagramm (siehe Anhang Kapitel 10.3) in separate Klassen aufgeteilt. Komponenteninformationen zur Komponenteninstanz beinhalten serialisierte Informationen zu einer Komponente (Beispiel: Inventarnummer, Seriennummer, Datum Inbetriebnahme, ...) und können somit nicht vom Komponentenhersteller bereitgestellt werden. Die Verantwortung hierfür trägt das Unternehmen, das die Komponenten in einem Anlagenverbund in Betrieb bringt. Dies können sowohl Firmen des Anlagenbaus als auch der Betreiber der Anlagen selbst sein.

Die Verbindungsinformationen OPC UA können auf mehrere Wege bereitgestellt werden. Handelt es sich um Informationen aus einer zentralen Steuerung (z.B. SPS), so müssen diese Informationen aus dem entsprechenden Programmierwerkzeug und somit der Disziplin der Steuerungsprogrammierung zur Verfügung gestellt werden. Handelt es sich um Informationen aus einer einzelnen Komponente, so müssen die Informationen aus den entsprechenden Parametrierwerkzeugen der Komponenten bereitgestellt werden. Diese Werkzeuge werden in der Regel in der Inbetriebnahmephase verwendet. Die aktuell verwendeten Werkzeuge (siehe Kapitel 3.2.1) beinhalten diese Informationen, da diese zur realen Inbetriebnahme notwendig sind. Die Werkzeuge können diese aber nicht über eine Schnittstelle in ein neutrales Datenformat ausgeben bzw. in Relation zu weiteren Informationen bringen.

Die genaue Zuordnung einzelner Attribute zu den entsprechenden Klassen und damit der Verantwortung ist dem Anhang Kapitel 10.3 zu entnehmen.

**Fazit:**

Sowohl die Systeme für Wartungsarbeiten bzw. Ersatzteilversorgung als auch Systeme für die Anlagenanbindung OPC UA bedingen eine Vielzahl an Attributen und einen korrekten Bezug des einzelnen Objekts zu einer standardisierten Anlagenhierarchie. Beides ist im finalen Datenmodell entsprechend zu berücksichtigen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind die nicht aus dem Engineering zu übernehmenden Informationen. Etliche Attribute können nicht von den Engineeringdisziplinen befüllt werden und liegen in der Verantwortung der Instandhaltung. Diese Attribute müssen durch die verantwortlichen Personengruppen definiert und eingegeben oder mit Hilfe von Regelwerken automatisch definiert werden. Das Datenmodell muss dies aber bereits berücksichtigen, um die Möglichkeit der Befüllung zu geben.

## **7.2. Abgleich der geforderten Informationen mit vorhandenen Standards**

Die vorhergehenden Kapitel haben gezeigt, dass sowohl eine hohe Anzahl an Attributen als auch die korrekte Darstellung der Hierarchie des Produktionssystems von entscheidender Bedeutung sind. Diese beiden Aspekte werden in diesem Kapitel genauer betrachtet.

Der Abgleich wird ausschließlich mit den Informationen durchgeführt, die aus vorhergehenden Schritten übernommen werden können. Ist die Instandhaltung selbst für die Datenpflege verantwortlich, so wird wiederum unterschieden, ob es eine Information ist, die manuell durch die Instandhaltung eingetragen werden muss, oder ob diese doch aus der Planung ableitbar sind. (siehe Kapitel 7.1.3)

Bei diesem Abgleich ist zwischen Datenformaten und deren inhaltlichen Datenmodellen zu unterscheiden. Bezogen auf AML bedeutet dies, dass ein AML- oder AMLX – File als Datenformat zu verstehen ist, und dessen inhaltliche Standardisierung wie z.B. das Whitepaper 6 zur Komponentenbeschreibung [146] (oder auch Applikation Recommendations oder Best Practice Recommendations), als inhaltliches Datenmodell.

Als Grundlage für den Abgleich dienen die öffentlich zur Verfügung gestellten Datenmodelle der Vereine AutomationML e.V. und IDTA e.V.. In einigen Fällen bedienen sich die Datenmodelle dieser Vereine auch internationalen Normen, sodass auch IEC und ISO-Standards indirekt in die Betrachtung einfließen. Diese beiden Vereine besitzen die größte Verbreitung in der Industrie und gelten somit als De Facto Standard (siehe Kapitel 1.1.1). Gerade die Standards des AML e.V. sind außerdem weit entwickelt und befinden sich bereits in Anwendung.

### **7.2.1. Relevante Normen und Datenmodelle**

Es werden die existierenden und von den Vereinen angekündigten Datenmodelle bewertet, damit auch zukünftige Modelle bereits berücksichtigt werden.

#### **AutomationML:**

- Komponentenbeschreibung WP 6 [146]:  
Beschreibung von Komponenten hinsichtlich Herstellerdaten, technischen Beschreibungen, Simulationsmodelle, Instandhaltungsinformationen sowie diverse Anhänge (Dokumente). Die Hierarchie dieser Komponenten wird durch die AML-Regeln (siehe Kapitel 3.3.1) modelliert.
- OPC UA Information Model for AutomationML [121]:  
Beschreibung des Zusammenwirkens von OPC UA und AutomationML mit dem Fokus auf zwei Anwendungsfelder. Die erste Anwendung liegt im Austausch von AutomationML-Informationen über die Kommunikationsmechanismen von OPC UA.

Die zweite Anwendung zielt auf den Austausch von OPC UA Konfigurationen ab, um die automatische Konfiguration von Kommunikationsverbindungen zu unterstützen. Dieser zweite Aspekt bedient unter Umständen die Herausforderung aus Kapitel 7.1.2. Das Dokument wurde zu einer DIN SPEC 16592:2016-12 [147] weiterentwickelt. Im Anhang A.5 wird der entsprechende Use Case „Lossless exchange of OPC Unified Architecture system configuration“ beschrieben.

- Application Recommendation Provisioning for MES and ERP – Support for IEC 62264 and B2MML [148] und IEEE Dokument [149]:

Die IEC 62264 beschreibt mehrere Klassen, mit deren Hilfe das Produktionssystem aus betriebswirtschaftlicher und organisatorischer Sicht strukturiert werden kann. Dabei handelt es sich unter anderem um eine Hierarchie (Hierarchy Scope) und den zu jedem Hierarchieobjekt gehörigen Unterobjekten und Eigenschaften (z.B. Personal, Equipment, physical Asset, Material, ...). Die Application Recommendation Provisioning for MES and ERP beschreibt ein Mapping dieser IEC-Informationen zu AutomationML und damit in ein maschinenlesbares Format. Gerade die Informationen zum Personal sowie die Informationen zum Material und dessen Test- und Prüfspezifikationen stellen eine hohe Relevanz für die Forschungsfragen dar. Die Objekte und die entsprechenden AML-Rollenklassen sind detailliert definiert, jedoch lassen diese bei den entsprechenden Attributen viele Freiheiten.

- Toolchain [150]: Die Application Recommendation beschreibt die industrielle Anwendung von AutomationML und fokussiert auf die gemeinsame Datenhaltung der Planungs- und Engineeringtools. Hier werden u.A. verschiedene Hierarchien der unterschiedlichen Engineering Disziplinen berücksichtigt.

#### **AAS Teilmodelle der IDTA [151]:**

- Digital Nameplate for Industrial Equipment [152]:  
Das Teilmodell beinhaltet alle Informationen, die in der Regel auf Typenschildern enthalten sind, inkl. einigen Erweiterungen zum Gerät. Es ist daher sehr gut für Integration von Herstellerkontaktdaten (Name, Adresse, Phone, Fax), Produktbestelldaten und Zulassungen (CE, UL, ...) verwendbar. Es beinhaltet aber keine technischen Attribute, Wartungsinformationen, Freigaben, Garantieinformationen, ....
- OPC UA Server Data Sheet / Service Order Creation / Maintenance [153] / Asset Interface Description [154]:  
Diese Submodelle sind bisher lediglich in Planung. Es wurden bisher keine Dokumente veröffentlicht. Der Inhalt kann zum aktuellen Zeitpunkt daher nicht berücksichtigt werden. Ferner gilt es nach Veröffentlichung zu beurteilen, ob dieses Submodell auf dem „Digital Nameplate“ aufbaut, oder als komplett eigenständiges Submodell bereitgestellt wird.

## 7.2.2. Attribute und deren Inhalte

Als Basis für den Abgleich dient das UML-Diagramm inkl. aller Usage Verbindungen in Anhang Kapitel 10.3.

Die Anforderungen an verschiedene Engineering Daten wurden in Klassen mit entsprechendem Farbcode angelegt (siehe Abbildung 63). Die Klassen, die die angeforderten Inhalte der Instandhaltung aus Sicht der Wartung und Instandsetzung betrachten, sind in Abbildung 72 und Abbildung 73 dargestellt. Abbildung 74 zeigt die angeforderten Inhalte zum Anlegen von Industrie 4.0 Anlagenverbindungen.

Equipment	
attributes	
-Equipmentnummer	
-Bezeichnung	
-Status	
-Gültig ab	
-Gültig bis	
-Klasse	
-Objektart	
-Inventarnummer	
-In Betrieb ab	
-Nutzungsenddatum	
-Schichtnotizart	
-Standortwerk	
-Standort	
-Raum	
-Betriebsbereich	
-ABC Kennzeichen	
-Sortierfeld	
-Planungswerk	
-Planergruppe	
-Leitarbeitsplatz	
-Berichtschema	
-Buchungskreis	
-Geschäftsbereich	
-Kostenstelle	
-Dauerauftrag	
-Anschaffungswert	
-Anschaffungsdatum	
-Hersteller	
-Herstellerteilenummer	
-Herstellereiernummer	
-Herstellungsland	
-Baujahr	
-Garantiebeginn	
-Gewährleistungsende	
-Mustergarantie	
-Garantie erben	
-Garantie vererben	
-Materialnummer	
-Seriennummer	
-letzte Seriennummer	
-Bestandsart	
-Werk	
-Lagerort	
-Bestandscharge	
-Sonderbestand	
-Kunde	
-Kundenauftrag	
-Bestandseigentum	
-Buchungskreis Bestand	
-Stammcharge	
-Lieferant	
-PSP Element	
-Technischer Platz	
-Übergeordnetes Equipment	
-Position	
-techn. Identnummer	
-Bautyp	
-Wartungsplannummer	
-Wartungsplanbezeichnung	
-Wartungszyklus	
-Zyklustext	
-Offset	
-Zähler	
-VF verspätete Erledigung	
-Toleranz+	
-VF verfrühte Erledigung	
-Toleranz-	
-Streckungsfaktor	
-Fabrikkalender	
-Eröffnungshorizont	
-Abrufintervall	
-Erledigungspflicht	
-Terminkennzeichen	
-Zyklusstart	
-Wartungsplan 1...n	

Abbildung 72: Klasse "Equipment"

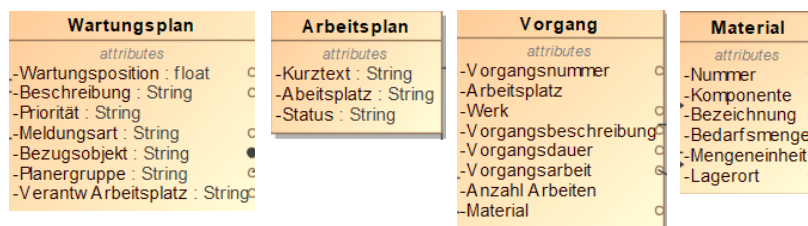


Abbildung 73: Klassen "Wartungsplan", "Arbeitsplan", "Vorgang" und "Material"

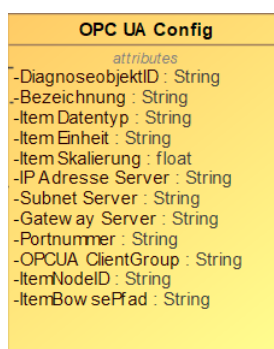


Abbildung 74: Klasse "OPC UA Config"

Den Anforderungen werden entsprechende Klassen gegenübergestellt, die die Attribute bereitstellen können. Dabei werden vorhandene Standards berücksichtigt. Im weiteren Verlauf werden nur die Klassen im Detail betrachtet, die im UML-Diagramm nicht als bereits vorhandene Standards gekennzeichnet wurden.

Zur Beschreibung von Komponenten wird in mehrere Teile unterschieden. Allgemeine Angaben wie Hersteller oder Bestellnummer werden getrennt von Informationen zur Wartung oder der Konfiguration der OPC UA Verbindung beschrieben.

### Komponentenbeschreibung – allgemeine Angaben

Die allgemeinen Daten einer Komponente beschreiben diese vergleichbar mit einem Datenblatt und weiteren Herstellerangaben. Die AutomationML Komponentenbeschreibung [146] beinhaltet von allen offiziellen Datenmodellen das größte Spektrum. Für die komplette Beschreibung der Komponente für die Zwecke der Instandhaltung sind weitere Informationen notwendig. Abbildung 75 zeigt die zwei neuen Klassen. Hierbei wird unterschieden, ob es sich um eine Typinformation oder eine Instanz Information handelt. Bei der Typinformation spricht man von einer Beschreibung einer Komponente, welche für alle davon hergestellten, serialisierten Instanzen gelten. Spezifische, mit der jeweiligen Seriennummer verbundene

Informationen fallen in die Typ Informationen. Die Typinformation können vom Hersteller eines Einzelbauteils oder eines größeren Kaufteils in einem Datenblatt gepflegt werden. Instanz Informationen enthalten konkrete, mit einem Auftrag oder einer Lieferung verbundene Informationen. Die allgemeine Angabe einer Garantiezeit fällt somit in die Typinformationen. Das konkrete Datum der Inbetriebnahme und damit der Garantiebeginn fallen in die Instanz Informationen.

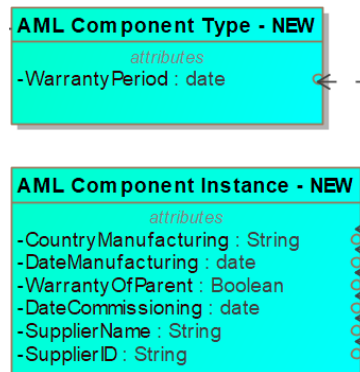


Abbildung 75: Klassen "Component Type - NEW" und "Component Instance - NEW"

Die Attribute in den Klassen der Abbildung 75 sind bis auf „WarrantyOfParent“ selbsterklärend. Mit dem Attribut „WarrantyOfParent“ wird festgelegt, dass diese Komponente auf dieser Ebene der Struktur der Produktionsanlage (siehe Kapitel 7.2.3) die Garantiebestimmungen des Elternelements übernimmt. Dies ist vor allem bei großen Anlagen notwendig. Die Gesamtanlage und all ihre Komponenten werden von einem Hersteller gemeinsam an einem Tag in Betrieb genommen und haben einheitliche Garantiebestimmungen.

### Komponentenbeschreibung – Maintenance Description

Die vorhandene Komponentenbeschreibung wird um zwei Attribute erweitert (siehe Abbildung 76)



Abbildung 76: Klassen "Component - Maintenance Descr. NEW"

### Struktur des Produktionssystems

Die Inventarnummer muss abgebildet werden. Dies ist als neue Rolle zu definieren oder in die AR Toolchain [150] zu integrieren. (siehe Abbildung 77)





Abbildung 77: Klasse StructAutProdSystem – NEW

## OPC UA Konfiguration

Die relevanten Attribute sind an keiner Stelle der bisherigen Standards enthalten. Wie in Kapitel 7.2.1 beschrieben, wird der Use Case in [121] beschrieben, aber es werden darin keine Rollenklassen oder auch Attribute für die Umsetzung definiert. Alle Attribute und AML-Rollenklassen sind damit entsprechend zu definieren.

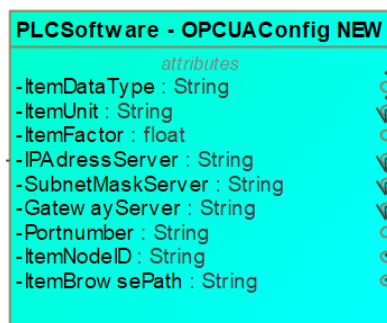


Abbildung 78: Klasse OPCUAConfig NEW

## Klassifizierung

Das Whitepaper des AutomationML e.V. beschreibt die Integration der EClass Klassifizierung in das Datenmodell [155]. Daraus ergibt sich, dass die Anforderungen an die Klassifizierung über den EClass Standard erfüllt werden können. Tabelle 6 zeigt, dass die erforderlichen Attribute vorhanden und hinreichend beschrieben wurden. Die Klassifizierung nach eClass kann idealerweise als Klassifizierung in das Instandhaltungsmodell (Equipment) übernommen werden.

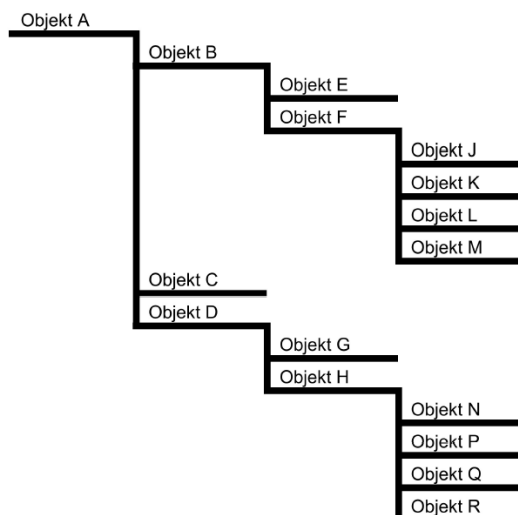
**Tabelle 6: AutomationML Eclass integration [155]**

<b>Role class name</b>	eClassClassSpecification	
<b>Description</b>	The role class "eClassClassSpecification" shall be used in order to reference the corresponding ECLASS Classification Class for the AutomationML object.	
<b>Parent Class</b>	AutomationMLBaseRole	
<b>Attributes</b>	<p>"Standard" (AttributeDataType="xs:string")</p>	<p>The attribute "Standard" shall define the version of the ECLASS catalogue, to which the ECLASS category is related, or alternatively, which classification standard is used</p> <p>The values of the attribute shall be described as follows: ECLASS-"major release"."release" Example: ECLASS-8.1 or ECLASS-9.0 "major release" is the number of the major release of the ECLASS version. "release" is the number of the subrelease of the ECLASS version.</p>
	<p>"ClassificationClass" (AttributeDataType ="xs:string")</p>	<p>The attribute "ClassificationClass" shall define the ECLASS Classification Class for the AutomationML object. The value shall be the coded name of the classification class as 8-digit integer. Thereby, two digits shall be used for each hierarchical level of the class structure.</p> <p>Example: 27242201</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 27 for "segment" (Electric engineering, automation, process control engineering)</li> <li>• 24 for „Main group" (Control)</li> <li>• 22 for "Group" (Programmable logic control)</li> <li>• 01 for Sub-group or commodity class-product group (PLC analogue input/output module)</li> </ul>
	<p>"IRDI" (AttributeDataType ="xs:string")</p>	<p>The attribute "IRDI" shall contain the IRDI for the classification class.</p> <p>The value shall be coded according to ECLASS definition.</p> <p>Example: 0173-1#01-AFZ776#018</p>

### 7.2.3. Hierarchie bzw. Struktur des Produktionssystems

Etliche Attribute aus der Analyse (siehe Anhang Kapitel 10.2) beziehen sich auf die Hierarchie des Produktionssystems. Bei der Darstellung von Hierarchien in Form von Strukturbäumen (siehe Abbildung 79) werden laut DIN EN 81346 [156] verschiedene Arten unterschieden:

- Funktionsbezogene Struktur
- Produktbezogene Struktur
- Ortsbezogene Struktur



**Abbildung 79: Strukturbaum zur Abbildung einer Anlagenhierarchie [156]**

Eine genauere Erläuterung und die jeweiligen Definitionen sind der DIN EN 81346 Blatt 1 [156] zu entnehmen.

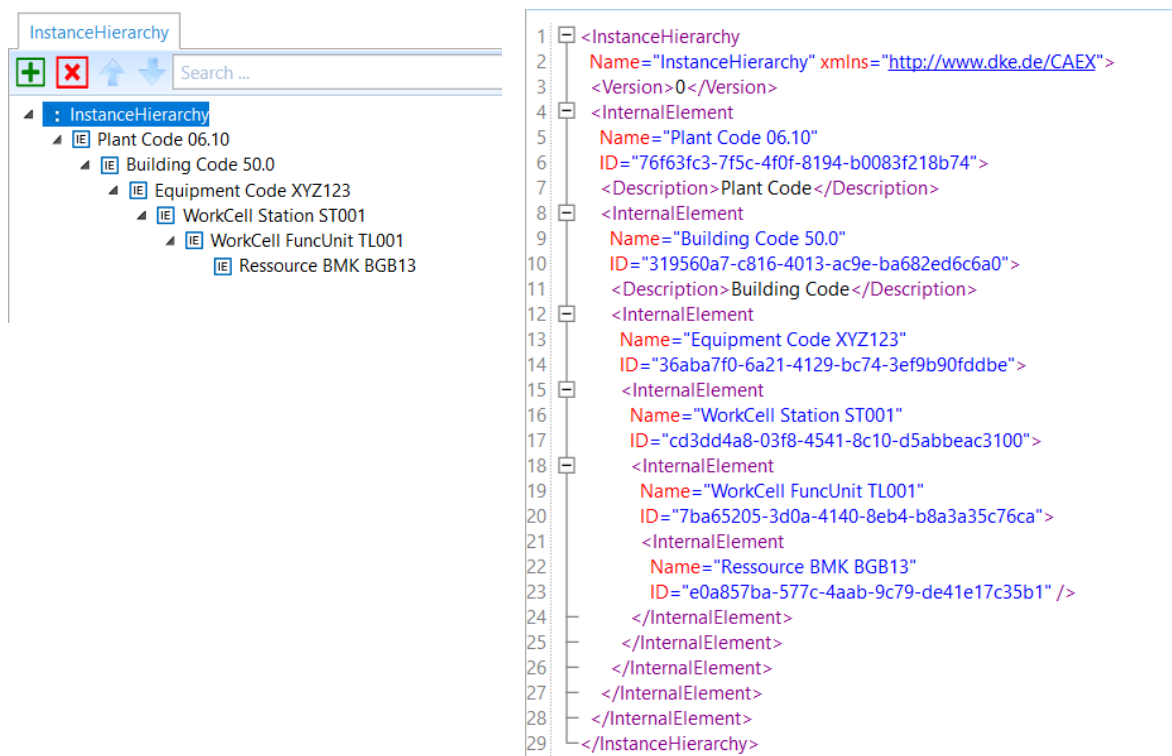
Die Unterscheidung der drei Strukturarten sind jedoch entscheidend beim Aufbau eines Strukturbaums. Die Regeln zum Aufbau von Referenzkennzeichen sind abhängig von der jeweiligen Strukturart [156]. Diese Regeln dienen damit dem Planungs- und Engineeringprozess als Vorgabe und stellen damit einen wichtigen Bestandteil des Planungsergebnisses dar, welches in die Instandhaltung überführt werden muss. Diese Regeln beschreiben den kompletten Aufbau einer Struktur über mehrere Ebenen und den entsprechenden Referenzkennzeichen zwischen den Ebenen. Eine genauere Erläuterung ist der DIN EN 81346 Blatt 1 [156] zu entnehmen.

Befindet man sich nun auf der Hierarchieebene einer Komponente, so wird deren genau Bezeichnung in der DIN EN 81346 Blatt 2 [157] geregelt. Gerade bei der in der Industrie oft verwendeten ortsbezogenen Struktur enthält die Komponentenbezeichnung oder Betriebsmittelbezeichnung mit dieser Norm eine zusätzliche funktionale Beschreibung. Somit kann z.B. ein Sensor als ein Gerät erkannt werden, welches räumliche Informationen detektiert und in elektrische Signale umwandelt (siehe Kapitel 5.3 der DIN EN 81346 Blatt 2 [157]).

Zwischenfazit: Die Einteilung der Hierarchie darf nicht beliebig erfolgen. Auf Basis von Expertengesprächen und persönlicher Berufserfahrung kann für die Planung und das Engineering die Verwendung der DIN EN 81346 bestätigt werden. Alle abweichenden Datenformen müssen somit aus dieser Struktur gebildet werden.

Die modellierte Hierarchie deckt dabei die jeweiligen Eltern / Kind Beziehungen aus Anhang 10.2 ab. Zur genaueren Beschreibung der Hierarchieinformationen wird ein Beispiel eingeführt, das in Kapitel 7.3 ebenfalls als Beispiel dient. In Abbildung 80 wird einerseits die

Instance Hierarchy des AML-Editors dargestellt sowie der entsprechende Teil im XML Format. Das Beispiel beinhaltet an dieser Stelle lediglich eine Hierarchie aus Internal Elements. Die Namen enthalten neben dem entsprechenden Kürzel bzw. des Codes auch eine Klartextbeschreibung der Hierarchieebene.



**Abbildung 80: Beispiel AML Hierarchie**

Die Hierarchie folgt hierbei der DIN EN 81346. Die Codes für die Hierarchieebenen „oberhalb“ der Ressource folgen dem BMW-Bezeichnungskonzept. Den einzelnen Elementen wurde noch keine Rollenklasse zugewiesen (siehe AML-Basisinformationen in Kapitel 3.3.1).

Die Klartextbeschreibungen der einzelnen Elemente werden bei der weiteren Erweiterung des Beispiels entfernt und dienen nur zur initialen Erläuterung der verschiedenen Hierarchieebenen. Lediglich Erweiterungen tragen bei der ersten Verwendung wiederum eine Klartextbeschreibung.

Die in Abbildung 80 dargestellte Hierarchie stellt den einfachsten Fall einer Hierarchie dar und kann so entsprechend der Transformationsregeln (siehe Kapitel 7.3) in den Instandhaltungsdisziplinen verwendet werden. Für eine Verwendung zum automatisierten Aufbau einer OPC UA Verbindung inkl. des Mappings der Dateninhalte auf ein Datenmodell im Betrieb (siehe Kapitel 7.1.2) ist eine komplexere Hierarchie notwendig. Abbildung 81 zeigt die um eine weitere Station „ST000“ erweiterte Hierarchie. Hierbei stellen „CE001“ einen Schaltschrank und „KE001“ eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) dar.

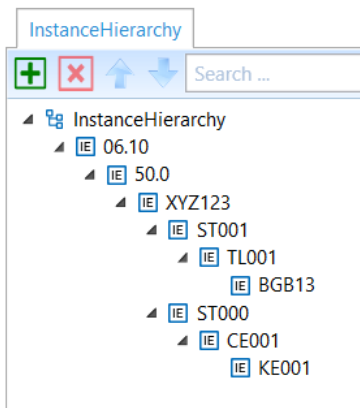


Abbildung 81: Beispiel AML-Hierarchie erweitert

Der Bezug zur IEC 62264 (siehe Kapitel 7.2.1) lässt sich über die Zuweisung der geeigneten Rollenklassen aus der AutomationMLExtendedRoleClassLib herstellen [148]. In Abbildung 82 wurden die entsprechenden Rollenklassen der AutomationMLExtendedRoleClassLib und der Komponentenbeschreibung [146] den jeweiligen Elementen hinzugewiesen.

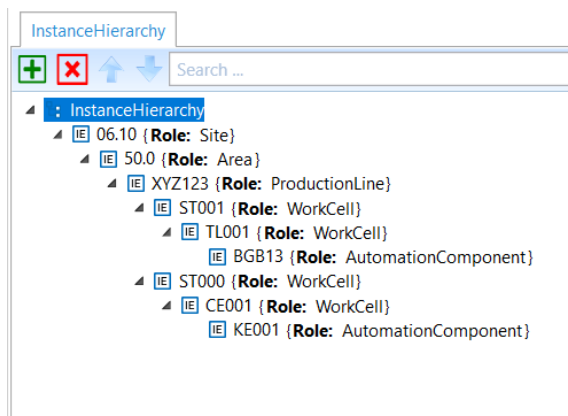


Abbildung 82: Beispiel AML-Hierarchie inkl. Rollenklassen

Die für die Elemente relevanten Attribute für die unterschiedlichen Use Cases wurden in Kapitel 7.2.2 beschrieben.

Der Sensor „BGB13“ ist ein Kindelement des Förderers „TL001“ in der Station „ST001“. Die Komponente, die das Signal verarbeitet, ist jedoch die SPS „KE001“ im Schaltschrank „CE001“ in Station „ST000“. Somit sind sämtliche Informationen des „BGB13“ in der „KE001“ enthalten. Handelt es sich um Sensoren (BGB), die neben dem einfachen Schaltsignal erweiterte Informationen an die SPS übermitteln (z.B. Signalstärke, Reflektionsgrad, ...) so sind diese in den Datenbausteinen der SPS verfügbar.

Wird diese Anlage für Analyticszwecke angebunden (siehe Kapitel 4.2.2 und 7.1.2) werden die Informationen zum Sensor „BGB13“ in der SPS bereitgestellt. Die dargestellte Struktur in Form eines reinen hierarchischen Datenmodells ist nicht geeignet, die entsprechende Information aus der SPS auf das korrekte Element des Produktionssystems zu mappen. Die Diagnosewerte beziehen sich nicht auf die SPS und den Schaltschrank, sondern auf den Sensor und den Förderer „TL001“.

Hierzu ist eine Vernetzung parallel der hierarchischen Struktur notwendig. Hierbei ist eine Verbindung zwischen dem Sensor und der entsprechenden SPS notwendig. In der Realität wird diese Verbindung über weitere Geräte (I/O Baugruppen o.Ä.) realisiert. Zur einfachen Darstellung wird in Abbildung 83 jedoch eine direkte Verbindung zwischen dem Sensor und der SPS über einen Internal Link hergestellt.

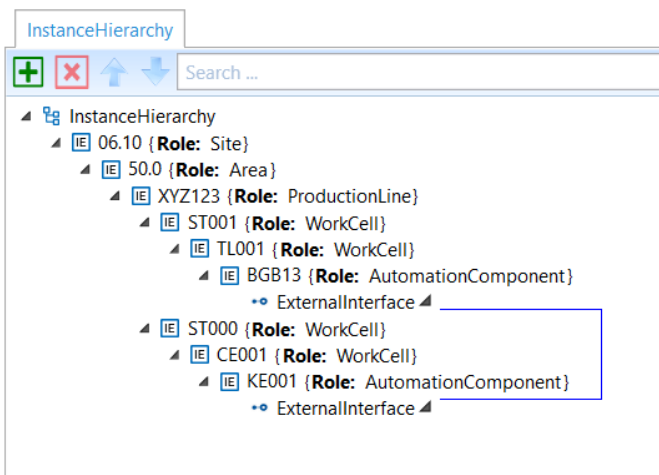


Abbildung 83: Beispiel AML Hierarchie inkl. Internal Link

Mit diesen Elementen kann die Verbindung zwischen dem Sensor und der SPS hergestellt werden sowie die korrekte ortsbezogene Bezeichnung des Elements und damit die eindeutige Identifikation gewährleistet werden.

**Fazit:** Unter der Anwendung geltender AML-Standards und der DIN EN 81346 sowie IEC 62264 können alle notwendigen Informationen in einer neutralen Hierarchie dargestellt werden sowie die funktionalen Querbeziehungen einzelner Elemente untereinander modelliert werden. Damit sind alle Anforderungen aus inhaltlicher Sicht aus dem Betrieb an das Datenmodell des Engineerings erfüllt.

## **7.3. Transformationsprozess der Dateninhalte vom Engineering in die Sprache der Instandhaltungssysteme**

Die notwendigen Inhalte allein sind nicht ausreichend, um die Systeme im Betrieb entsprechend zu bedienen. Wie in Kapitel 4.2 und 7.1.1 beschrieben, müssen die Informationen für die Systeme im Betrieb speziell aufbereitet werden.

### **7.3.1. Übersetzung der neutralen Modelle in die Datenmodelle gängiger ERP-Systeme**

Angenommen, nach einer erfolgreichen Planung und einem erfolgreichen Engineering der Produktionsanlagen liegen alle Informationen in Form des Datenmodells (siehe Anhang Kapitel 10.3) vor. Anhand der vorhergehenden Kapitel ist zu erkennen, dass die Datenmodelle nicht direkt eins zu eins im Betrieb anwendbar sind. Diese Datenmodelle müssen in mehreren Schritten zu einem für den Betrieb passendes Datenmodell überführt werden. Wichtig ist hierbei, dass lediglich Informationen aus dem Datenmodell des Engineerings sowie Transformationsregeln berücksichtigt werden, und nicht individuelle und manuelle Transformationen.

Das Engineering stellt die Hierarchie in einer neutralen Form von Objekten eines selben Typs dar. Die gängigen ERP-Systeme benötigen diese in differenzierter Form von technischen Plätzen, Equipments, Wartungsplänen, Arbeitsplänen und Vorgängen (siehe hierzu Kapitel 4.2.1 und 7.1.1)

#### **Schritt 1: Transformation der Hierarchie bzw. Struktur**

Unterscheidung Technischer Platz und Equipment:

Aus den Gesprächen mit Spezialisten der Instandhaltungsplanung zeigt sich, dass diese Unterscheidung anhand der Art des jeweiligen Objekts getroffen wird. Ein jedes Element, das eine Komponente beinhaltet, die gewechselt oder auch repariert werden kann, wird ein Equipment. Alle anderen Objekte werden zu einem Technischen Platz. Die Art des Objekts wird anhand des Codes in der Hierarchie unterschieden (siehe Kapitel 7.2.3). Im Beispiel aus Kapitel 7.2.3 bedeutet das Kürzel „TL...“ dass es sich um einen Längsförderer handelt. Ein Industrieroboter würde das Kürzel „IR...“ erhalten.

Generell ist festzulegen, dass die einzelne Komponente oder auch das Kaufteil immer zu einem Equipment wird. Diese Strukturebene entspricht der Ebene der Komponenten in der DIN EN 81346 Blatt 2 [157]. Es handelt sich hier um Sensoren oder Aktoren wie im Beispiel von Abbildung 82 z.B. durch das Objekt „BG13“ dargestellt wird.

Eine Strukturebene über den einzelnen Komponenten kann keine pauschale Unterscheidung vorgenommen werden. Auf Basis intensiver Expertenworkshops hat sich ergeben, dass je nach Element eine individuelle Entscheidung getroffen werden muss, ob es sich um einen Technischen Platz oder ein Equipment handelt. Innerhalb dieser Ebene werden Objekte verwendet, die bereits aus mehreren einzelnen Komponenten zusammengesetzt wurden. Beispiele hierfür sind Förderer, Roboter, Schaltschränke (mit Inhalt), Hubstationen .... Auf dieser Ebene wird laut Instandhaltungsexperten unterschieden, ob es sich um eine individuelle Einheit handelt, die ortsfest montiert ist (Förderer, Hubstation, ...), oder um ein Element, das als Standardbaugruppe bestellbar oder auch regelmäßig zu eventuellen Instandhaltungsmaßnahmen aus dem Produktionsnetzwerk entnommen werden kann (Roboter, Greifer, Werkzeug, ...). Daraus ergibt sich, dass für diese Strukturebene eine Tabelle angefertigt werden muss, welches Objekt zu einem Technischen Platz bzw. Equipment werden muss. In Einzelfällen ist es auch möglich, dass sowohl ein Technischer Platz als auch ein Equipment angelegt werden müssen. Dabei werden aus einem Objekt aus dem Engineering zwei Objekte in der Instandhaltung. Dies ist durch die entsprechenden Instandhaltungsspezialisten anzufertigen. Als Beispiel dient Tabelle 7.

**Tabelle 7: Zuordnung Objekte Technischer Platz / Equipment (eigen)**

Bezeichnung Objekt	Objektart in ERP (TP oder EQ)
IR (Industrieroboter)	TP / EQ
TL (Förderer)	TP
TH (Hubstation)	TP
FG (Greifer)	TP / EQ

### Schritt 2: Zuordnung der Attribute

Bei den Attributen in den Betriebssystemen ist auffällig, dass einige Informationen aus dem Engineering an mehreren Stellen im Betriebssystem gehalten werden. Dies bedeutet, dass etliche Attribute nicht eins zu eins gemappt werden, sondern dupliziert werden müssen.

Ferner müssen Attribute logisch kombiniert werden oder durch einfache Stringoperationen umgewandelt werden.

Beispiele:

- Im Engineering wird die Fertigungstechnologie numerisch beschrieben, in den ERP-Systemen aber im Klartext („9“ wird zu „Montage“).
- Garantieattribute im ERP-System müssen aus den neutralen Informationen gebildet werden.



Die direkte Zuordnung, welches Attribut des neutralen Datenmodells aus dem Engineering zu welchem Objekt bzw. Attribut zuzuordnen ist, ist aus dem UML-Diagramm im Anhang (Kapitel 10.3) zu entnehmen.

### **Schritt 3: Generierung der Objekte Wartungsplan, Arbeitsplan und Vorgang**

Sowohl ein Technischer Platz als auch ein Equipment können gewartet bzw. repariert werden. Dabei ist zu unterscheiden, dass es sich bei Technischen Plätzen meist um eine größere Einheit (Produktionszelle) oder eine komplette Produktionsanlage handelt, und bei einem Equipment um eine einzelne Komponente (Bauteil). Wartungspläne können aber für beide Objektarten angelegt werden.

Somit sind mit Hilfe der Attribute, die die Wartungsvorgänge beschreiben, die entsprechenden Objekte Wartungsplan, Arbeitsplan und Vorgang anzulegen und mit dem entsprechenden Equipment oder Technischen Platz zu verlinken. Die direkte Zuordnung, welches Attribut des neutralen Datenmodells aus dem Engineering zu welchem Objekt bzw. Attribut zuzuordnen ist, ist aus dem UML-Diagramm im Anhang (Kapitel 10.3) zu entnehmen.

### **Schritt 4: Sicherung / Beibehaltung des Ursprungsformats wegen Informationsverlust**

Die ERP-Systeme übernehmen nicht alle Informationen aus dem Engineering. Daher ist es unerlässlich, dass die ursprünglichen Datenmodelle beibehalten werden. Neben Attributen, die nicht übernommen werden, sind es auch Hierarchieinformationen wie die Querverbindungen (Internal Links, siehe Kapitel 7.2.3), die nicht in die Betriebssysteme überführt werden. Die Instandhaltung nutzt somit einen reduzierten digitalen Zwilling (siehe Kapitel 3.4 und Abbildung 51).

### **Schritt 5: Vervollständigung der Daten durch die Instandhaltungsplanung**

Dieser Schritt liegt nicht in der Verantwortung der Planung bzw. des Engineerings. Dennoch ist festzuhalten, dass zwar eine Vielzahl an Daten aus den vorhergehenden Prozessen übernommen werden kann, aber dennoch eine Lücke besteht. Informationen, die nur im Instandhaltungsprozess definiert werden können, sind auch erst nach der Datenübernahme zu vervollständigen. Hierzu zählen Informationen zum exakten Arbeitsplatz, der für die Wartung verantwortlich ist, oder auch die genaue Terminierung von Wartungsarbeiten sowie eine Klassifizierung von Ersatzteilen nach der ABC-Methode.

### 7.3.2. Übersetzung der neutralen Modelle in die Datenmodelle der Konfigurationssysteme für I4.0 Anwendungen

Die Analyse aus den vorhergehenden Kapiteln sowie die Ergebnisse aus Expertengesprächen haben ergeben, dass derzeit im Engineering noch kein Weg vorgesehen ist, die geforderten Informationen bereitzustellen. Daher ist hier keine Übersetzung möglich.

Vielmehr ist es entscheidend, dass die neu definierten Datenmodelle (siehe Kapitel 8) von den Tools des Engineerings in Zukunft bereitgestellt werden.

### 7.4. Ergebnis: Prozesse für Ermittlung von Transformationsregeln und Prozess der Durchführung der Datentransformation

Der Gesamtprozess zur Ermittlung der notwendigen Informationen und der Modellierung von Transformationsregeln besteht aus den in Abbildung 84 dargestellten Elementen. Der letzte Vorgang (Integration Transformationsregeln ...) wird separat im Detail in Abbildung 85 dargestellt. Die Inhalte der Abbildung 85 werden im Kapitel 8.2 genauer ermittelt und beschrieben.

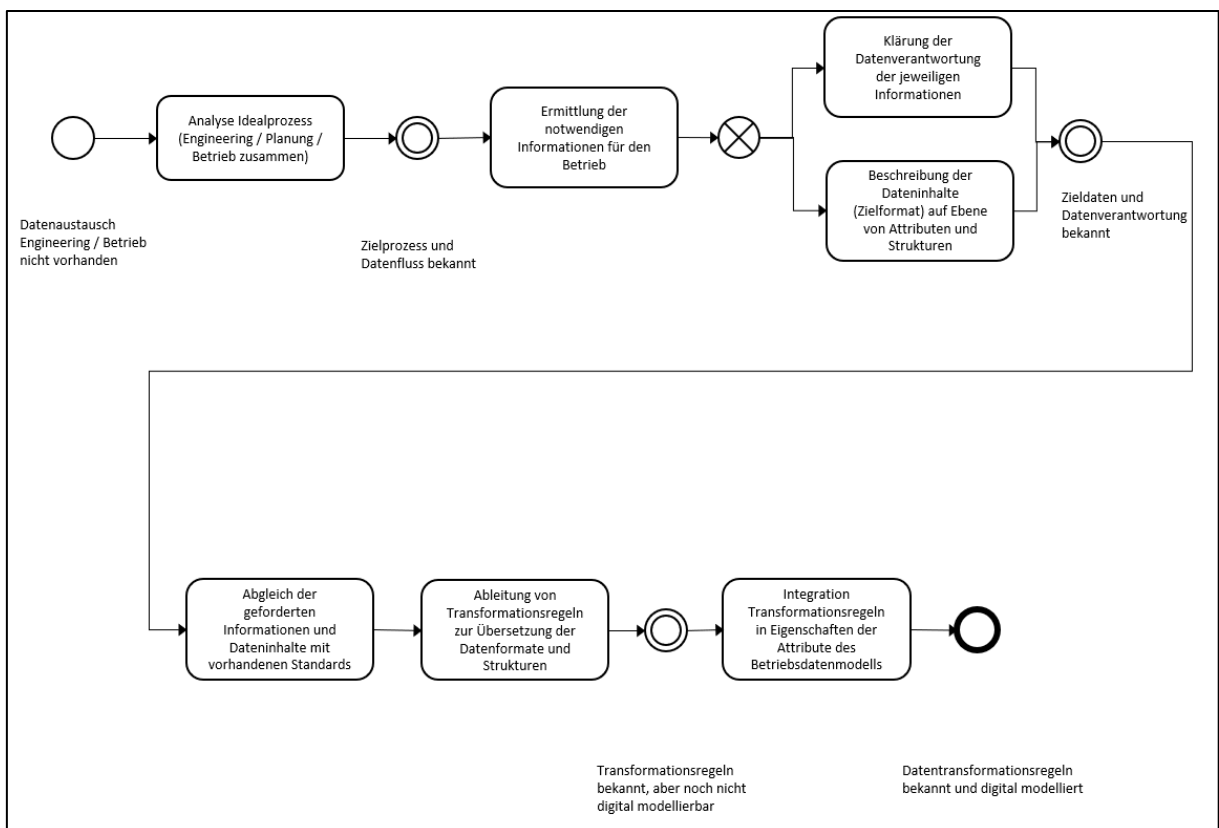
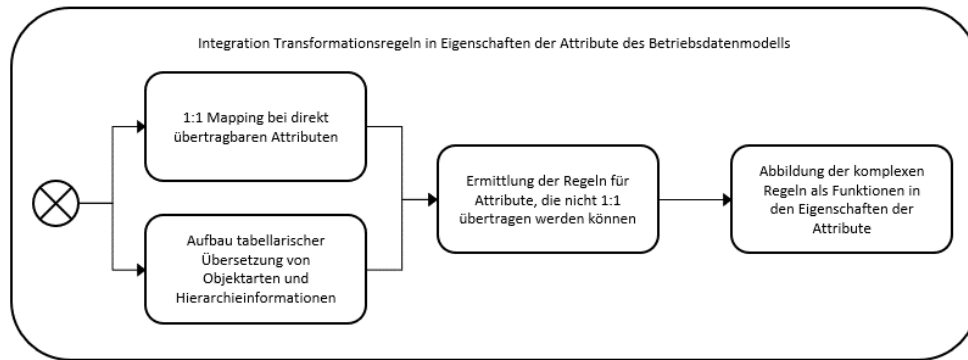


Abbildung 84: Gesamtprozess Ermittlung Dateninhalte und Transformationsregeln (eigen)



**Abbildung 85: Detailsicht Vorgang "Integration Transformationsregeln ..." (eigen)**

Das Vorgehen aus Abbildung 84 führt zu einem finalen Prozess, wie er operativ in den Projekten und der Zusammenarbeit von Planung und Engineering mit dem Betrieb durchgeführt werden kann (siehe Abbildung 86). Diese Prozessdarstellung ergänzt den Idealprozess (siehe Abbildung 58) und die Darstellung zum Zusammenwirken von IT-Systemen und Prozessen (siehe Abbildung 61) um Details zu den Rollen und Aktivitäten speziell für die Datentransformation.

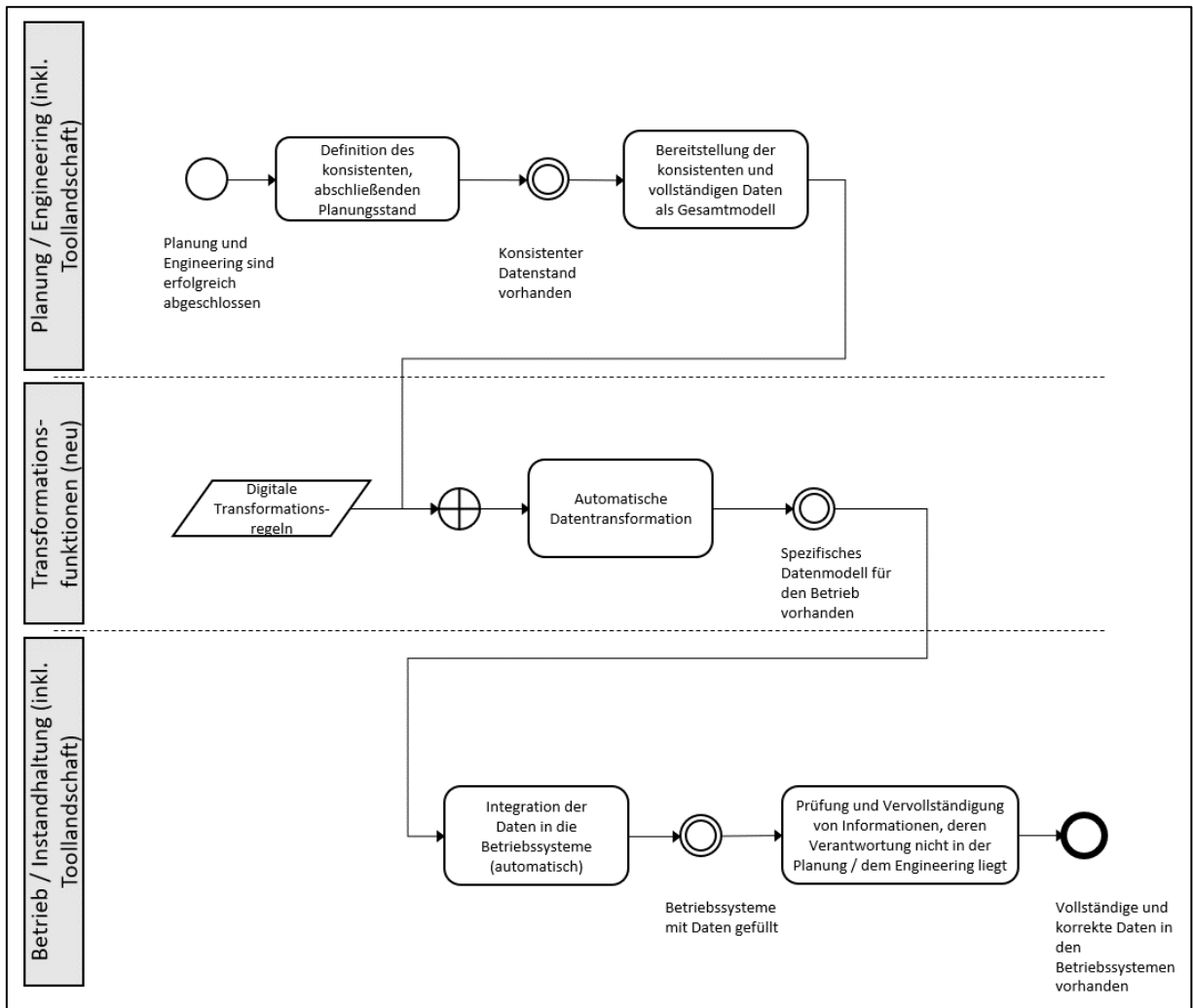


Abbildung 86: operativer Prozess der Datenübergabe und -transformation (eigen)

## **8. Definition Datenbibliotheken und Validierung anhand einer manuellen Datentransformation aus dem Engineering in ein für Betriebssysteme verständliches Format auf Basis von AML**

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die Anforderungen der Instandhaltungsprozesse und -systeme analysiert, mit den Ergebnissen der Planung bzw. des Engineerings verglichen sowie die Prozesse und Regeln festgelegt, wie die Daten aus den Planungs- und Engineeringprozessen in die Instandhaltungssysteme übersetzt werden können.

Offen ist die finale Definition des Datenmodells (inkl. der neuen Klassen und Attribute basierend auf den Analysen) sowie eine Validierung anhand eines Beispiels. Beides wird mit den Standards von AutomationML realisiert. AutomationML bietet gegenüber den weiteren hier berücksichtigten Modellierungssprachen eine detaillierte Dokumentation sowie ein leistungsfähiges Tool zur Modellierung (siehe Kapitel 3.3.1).

Zur Definition des Datenmodells gemäß AutomationML werden Rollenklassen bzw. Rollenklassenbibliotheken verwendet. Ziel ist, die noch nicht in AML-Standards vorhandenen Informationen in neuen Rollenklassen abzubilden. Dies gilt sowohl für Daten aus dem Engineering als auch für die Daten, die von der Instandhaltung verantwortet werden. Im zweiten Schritt wird mit Hilfe dieser Rollenklassen und der vorhandenen AML-Rollenklassen ein Beispiel als Instanz modelliert. Dieses Beispiel wird im letzten Schritt zur Validierung von einem neutralen Datenmodell des Engineerings manuell in ein Datenmodell übersetzt, das die Spezifika der Instandhaltungssysteme berücksichtigt. Dabei soll bewiesen werden, dass eine Transformation, wie in Kapitel 7 beschrieben, möglich ist.

## 8.1. Definition der Rollenklassen

### Integration der OPC UA relevanten Informationen

Die Tabelle 8 und die Tabelle 9 zeigen die relevanten Attribute der AutomationML AR APC, die die Beschreibung der einzelnen Tags eines Steuerungssystems enthalten. Diese Information dient als Basis für die Erweiterung um OPC UA relevante Daten.

In [121] wird ferner der Use Case beschrieben, in welchem Konfigurationsdaten für OPC UA Verbindungen in AML bereitgestellt werden können, jedoch wurden keine entsprechenden Rollenklassen definiert. Daher werden diese Informationen in den folgenden Schritten in neue Rollenklassen aufgenommen.

Auf die Darstellung weiterer existierender AML-Rollenklassen wird an dieser Stelle verzichtet. Detailinformationen können über die Referenzen des Kapitels 3.3.1 herangezogen werden.

**Tabelle 8: TagTable in AutomationML AR APC [158]**

<b>Role class name</b>	TagTable	
<b>Description</b>	The role class "TagTable" shall be used in order to support the structure of tags	
<b>Parent Class</b>	CommunicationRoleClassLib/PhysicalDevice/VariableList	
<b>Path for Element reference</b>	AutomationProjectConfigurationRoleClassLib/TagTable	
<b>Attributes</b>	"Name" (AttributeDataType="xs:string")	The attribute "Name" defines the name of the TagTable. This attribute is mandatory. This attribute is ignored if AssignToDefault is "true". <i>Note: This attribute is modelled by the standard attribute Name of the relevant CAEX object.</i>
	"AssignToDefault" (AttributeDataType="xs:boolean")	The Attribute "AssignToDefault" defines if the Tags inside will be imported to an existing default TagTable. This attribute is optional.
<b>Interfaces</b>	"Tag" [0..n]	The Interface class "Tag" shall be used in order to represent the elements as symbolic names of an I/O date and for linking the tags to the Channel.

**Tabelle 9: Interface Tag in AutomationML AR APC [158]**

<b>Role class name</b>	Tag		
<b>Description</b>	The Interface class "Tag" shall be used in order to represent the symbolic name of an I/O date. Tags shall only be used within a TagTable.		
<b>Parent Class</b>	VariableInterface		
<b>Path for Element reference</b>	AutomationProjectConfigurationInterfaceClassLib/Tag		
<b>Attributes</b>	"Name" (AttributeDataType="xs:string")	The attribute "Name" defines the name of the tag. This attribute is mandatory. <i>Note: This attribute is modelled by the standard attribute Name of the relevant CAEX object.</i>	
	"DataType" (AttributeDataType="xs:string")	"Customized" (AttributeDataType="xs:boolean")	The attribute "DataType" defines the type of the data. This attribute is mandatory. The subattribute "Customized" indicates if the DataType contains vendor specific data types (Customized = "true") or not (Customized = "false"). If customized is omitted or set to "false" the DataType contains already defined information according IEC 61131 (e.g. BOOL, BYTE, WORD).
	"IoType" (AttributeDataType="xs:string")	The attribute "IoType" specifies the direction of the tag. This attribute has the value "Input" or "Output". This attribute is optional.	
	"LogicalAddress" (AttributeDataType="xs:string")	The attribute "Logical Address" specifies the address of the tag. This attribute shall not contain the direction (see Note below) This attribute is optional.	
	"Comment" (AttributeDataType="xs:string")	The attribute "Comment" defines a comment for the tag. The attribute "Comment" follows the Best Practice Recommendation Multilingual expressions in AutomationML. This attribute is optional.	

Die existierende Rollenklasse und die entsprechende Interface Klasse sind entsprechend zu erweitern. Als Basis dient eine neu definierte Rollenklasse wie in Tabelle 10 beschrieben. Dabei wurde die Rollenklasse so definiert, dass sie alleinstehend anwendbar ist. Bei einer späteren Integration in eine AR APC [158] können einzelne Attribute wegfallen, da diese in Attribute der Rollenklasse Tag (siehe Tabelle 9) integriert werden können. Dabei ist jedoch zu klären, ob die AR APC auch auf alle Use Cases bezüglich der Beschreibung von OPC UA Verbindungen im Kontext von Anlagenanbindungen anwendbar ist.

Für die Dokumentation der neuen Rollenklassen wurde das Format des AutomationML Vereins gewählt, um eine direkte Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Dies schließt das Design der Tabellen sowie die Verwendung der englischen Sprache ein.

**Tabelle 10: AML Rollenklasse NEU OPC UA Config (eigen)**

Roll Class Name	OPC UA Config	
Description	Roll Class with a collection of attributes to describe all relevant information to connect to a OPC UA Server with the goal to set up an automatic connection service inside I4.0 applications.	
Parent class	AutomationMLComponentBaseRCL	
Attributes	ItemDataType (xs:string)	This attribute describes the data type of the item. According IEC61131. Not relevant when used in combination with roll class "Tag" of AR APC.
	ItemUnit (xs:string)	Unit of item as described in AML [159]. Not relevant when used in combination with roll class "Tag" of AR APC and a correct description of the Tag by using the AML Units [159]
	ItemFactor (xs:float)	A multiplier for different scaling purposes.
	IP_AdressServer (xs:string)	IP Adress oft the OPC UA Server
	SubnetMaskServer (xs:string)	Subnet mask of the OPC UA Server
	GatewayServer (xs:string)	Gateway of the OPC UA Server
	Portnumber (xs:string)	Port OPC UA Server
	ItemNodeID (xs:string)	Node ID of the Item. An Item can be identified by a Node ID or a browse path
	ItemBrowsePath (xs:string)	Browse Path of the Item. An Item can be identified by a Node ID or a browse path

Die weiteren, fehlenden Informationen beziehen sich nicht auf die OPC UA Schnittstelle, sondern auf die Beschreibung der jeweiligen Komponente. Hierbei liegt der Fokus auf neuen Informationen, die für die Wartung der Komponenten bzw. deren Rückverfolgbarkeit (z.B. Seriennummer) benötigt werden. Die folgenden Tabellen dokumentieren die entsprechenden Rollenklassen.

**Tabelle 11: AML Rollenklasse NEU Comp\_MaintDescriptionAdvanced (eigen)**

Roll Class Name	Comp_MaintDescriptionAdvanced	
Description	Additional information to existing description according WP6 of AML e.V..	
Parent class	AutomationMLComponentBaseRCL	
Attributes	PersonnelQuantity (xs:float)	Ammount of people who are doing the maintenance action
	UsedComponentID (xs:string)	The ID of the used component for the maintenance action. Alternative is a



		link or reference to the used component
--	--	---

**Tabelle 12: AML Rollenklasse NEU Comp\_InstanceInformationAdvanced (eigen)**

Roll Class Name	Comp_InstanceInformationAdvanced	
Description	Additional information to describe the instance of a component when built in an equipment / facility	
Parent class	AutomationMLComponentBaseRCL	
Attributes	CountryManufacturing (xs:string)	Contry of manufacturing of the component according ISO 3166 ALPHA-2
	DateManufacturing (xs:date)	Date of manufacturing
	WarrantyOfParent (xs:boolean)	Set to true, when the warranty of the parent element should be used (mostly used in case of a component built in a machine or other production facility)
	DateCommissioning (xs:date)	Date of commissioning
	SupplierName (xs:string)	Name of supplier who delivered the component. The supplier can be different from the manufacturer.
	SupplierID (xs:string)	ID of supplier who delivered the component. The supplier can be different from the manufacturer.

**Tabelle 13: AML Rollenklasse NEU Comp\_TypeInformationAdvanced (eigen)**

Roll Class Name	Comp_TypeInformationAdvanced	
Description	Additional type information for a component according WP6 of AML e.V..	
Parent class	AutomationMLComponentBaseRCL	
Attributes	WarrantyPeriod (xs:duration)	Duration of the warranty

**Tabelle 14: AML Rollenklasse NEU StructProdSystemAdvanced (eigen)**

Roll Class Name	StructProdSystemAdvanced	
Description	Additional information for a component according WP6 of AML e.V.. This attributes should be used for alle objects in a hierarchy of production facility	
Parent class	AutomationMLComponentBaseRCL	
Attributes	InventoryNr (xs:string)	Inventory number of the component or machine / facility

Alle Rollenklassen wurden im AML-Editor angelegt. Siehe hierzu im Anhang Kapitel 10.5.

## 8.2. Aufbau eines Beispiels

### 8.2.1. Ausgangssituation, Transformationsregeln und Ziel

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit der neuen Rollenklassen und der Transformationsregeln wird ein Beispiel definiert und in das Format der Instandhaltung übersetzt.

Hierbei werden folgende Schritte durchgeführt:

- Definition des Beispiels
- Definition der Transformationsregeln für die im Beispiel verwendeten Objekte
- Modellierung des Beispiels in AML (inkl. der Verwendung der neuen Rollenklassen) aus Sicht der Planung bzw. des Engineerings
- Übersetzung des Beispiels in die Struktur der Betriebssysteme und Modellierung des instandhaltungsspezifischen Datenmodells (in AML)

Bei der Übersetzung in das Format der Instandhaltungssysteme wechselt der Name der Attribute. Um den Zusammenhang erkennen zu können werden in den Semantic Relations der Objekte des Modells der Betriebssysteme der Name des Attributs des Engineeringmodells inkl. Strukturkennzeichen abgelegt. Dies ist nicht die vom AML-Standard vorhergesehene Verwendung der Semantic Relations, jedoch eignet es sich in dieser Sonderverwendung sehr gut für den Beweis. Die Attributwerte enthalten keine Daten, sondern dienen zur Überprüfung der Methode.

Das Beispiel beinhaltet gängige Objekte der automobilen Produktion. Dabei wurden auch Erkenntnisse aus den Gesprächen mit den Spezialisten der Instandhaltung berücksichtigt, die auf mögliche Sonderfälle hinwiesen.

Abbildung 87 zeigt den strukturellen Aufbau des Beispiels:

- Das Strukturkennzeichen beinhaltet die komplette Hierarchie bis zum Werksstandort.
- Die Anlage selbst setzt sich aus drei Station zusammen.
  - ST000: Schaltschränke und andere zentrale Komponenten
  - ST001: Fördertechnik mit Motor und Sensorik
  - ST002: Roboterzelle mit Roboter, Greifer und einer Ventilinsel

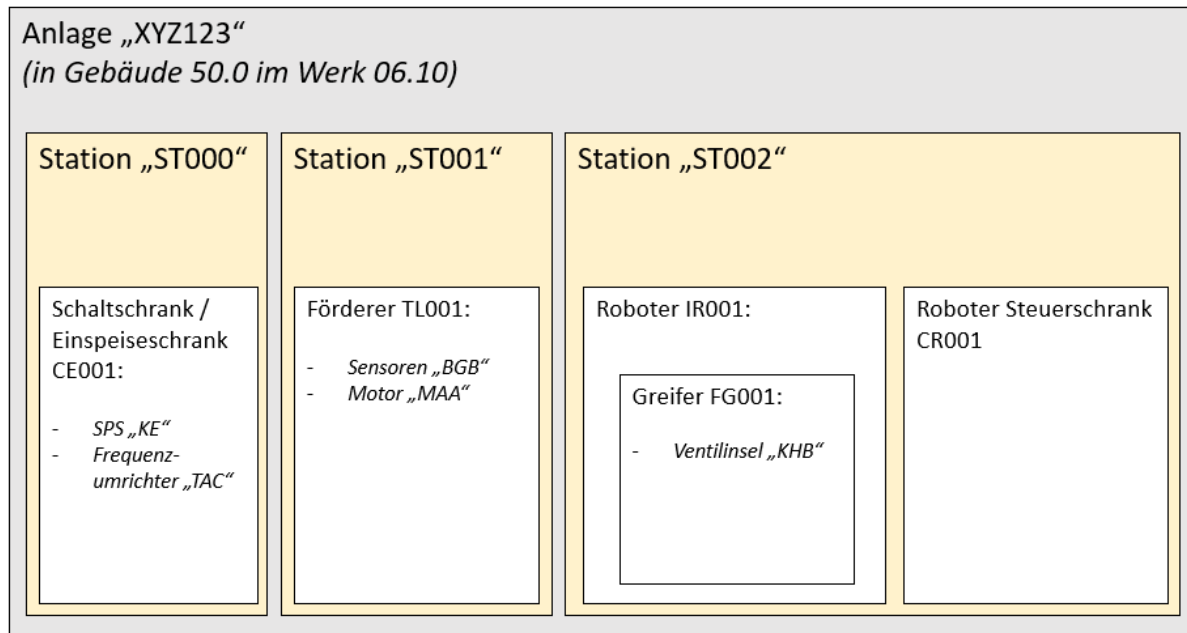


Abbildung 87: Beispielanlage

Die speziell für die Übersetzung dieses Beispiels notwendigen Regeln auf Ebene der Funktionseinheit sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Übersetzung Technischer Platz / Equipment für Beispiel

Bezeichnung Objekt	Objektart in ERP (TP oder EQ)
IR (Industrieroboter)	TP / EQ
TL (Förderer)	TP
FG (Greifer)	TP / EQ
CR (Robotersteuerschrank)	TP / EQ
CE (Steuerschrank, Einspeiseschrank)	TP

### 8.2.2. Modellierung des Datenmodells der Planung in AML

Die Modellierung in AutomationML wird mit Hilfe des AML-Editors durchgeführt und baut sich aus drei Schritten zusammen:

1. Modellierung der Objekte inkl. Hierarchie in der Instance Hierarchy
2. Zuweisung der Rollenklassen und Übernahme der Attribute aus dieser

3. Vervollständigung der Attribute: Dieser Schritt wird in der Umsetzung des Beispiels nicht durchlaufen, da er keinen Einfluss auf die Bestätigung der Methode hat.

### Zu Schritt 1: Modellierung der Objekte inkl. Hierarchie in der Instance Hierarchy

Die Modellierung erfolgt anhand der Struktur der Beispielanlage (siehe Abbildung 87) im AML-Editor. Neben dem Aufbau der örtlichen und funktionalen Struktur werden auch dazu parallel existierende Verlinkungen modelliert (siehe Kapitel 7.2.3 und Abbildung 83). Die Bezeichnung der Objekte folgt den Regeln und Normen für Strukturkennzeichen. Die in der Norm beschriebenen Trennzeichen (siehe Kapitel 7.2.3) werden jedoch nicht ins Datenmodell übertragen. Das Ergebnis der Modellierung ist in Abbildung 88 dargestellt.

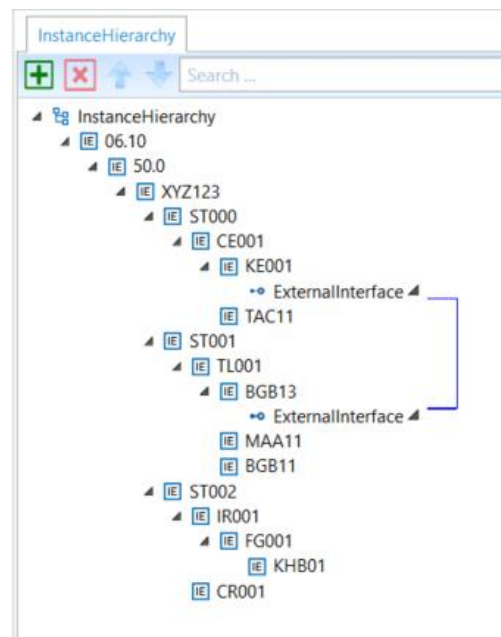


Abbildung 88: Aufbau Beispiel - Objekte und Hierarchie in AML

### Zu Schritt 2: Zuweisung der Rollenklassen und Übernahme der Attribute aus dieser

Den Objekten der jeweiligen Hierarchieebene werden im zweiten Schritt die notwendigen Rollenklassen zugewiesen. Dabei werden auf existierende AML-Standardbibliotheken (siehe Kapitel 3.3.1) und die neu definierten Bibliotheken (siehe Kapitel 8.1) zurückgegriffen. Die Rollenklassen werden in der Instance Hierarchy des AML-Editors in Klammern hinter dem jeweiligen Objekt dargestellt (siehe Abbildung 89). Mit der Zuweisung der Rollenklassen werden außerdem die Attribute zu jedem Objekt aus den Rollenklassen übernommen. Werden mehrere Rollenklassen verwendet, so ist die Summe aller Attribute an dem Objekt vorhanden (siehe Abbildung 90).

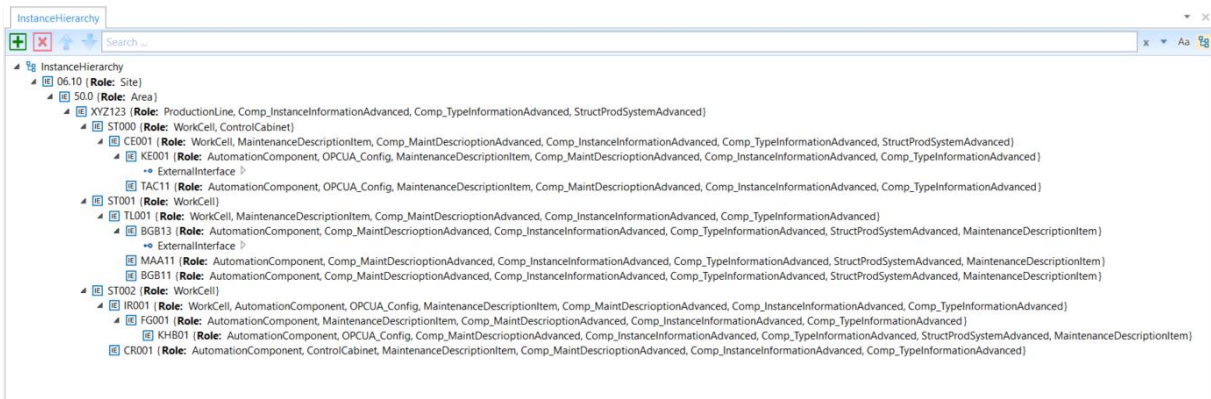


Abbildung 89: Aufbau Beispiel - Rollenklassen

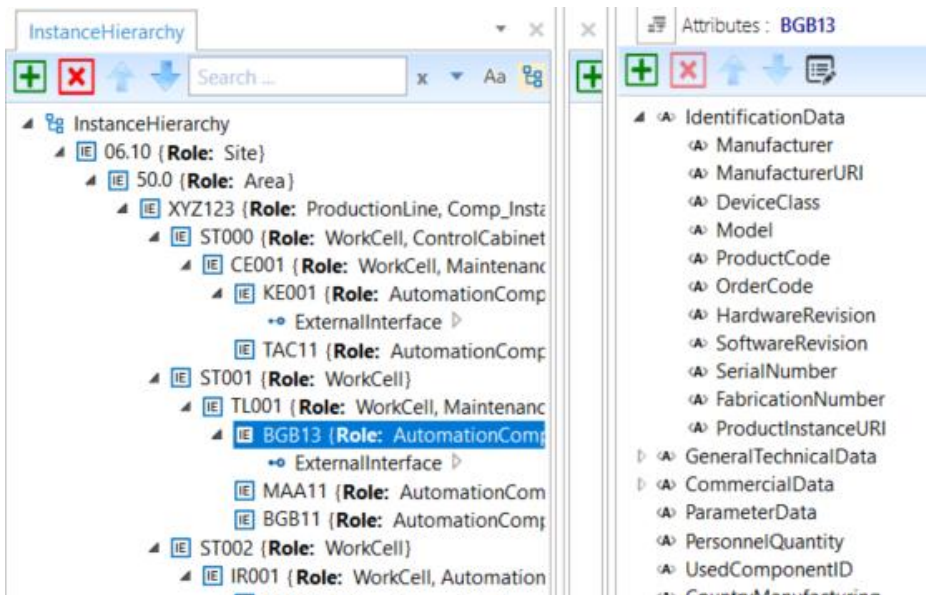


Abbildung 90: Aufbau Beispiel - Attribute aus Rollenklassen

### 8.2.3. Übersetzung in das Betriebsformat als AML-Modell

Als Basis dienen die 5 Schritte zur Transformation (siehe Kapitel 7.3.1) sowie die Beispieldatei und die Rollenklassen.

Die Übersetzung in das AML-Modell für den Betrieb folgt mehreren Schritten:

1. **Erstellung von spezifischen Rollenklassen** aus Sicht der Instandhaltung als Vorbereitung. Um im späteren Verlauf das Beispiel in Form von Instanzobjekten aufbauen zu können, müssen die relevanten Attribute der Instandhaltungssysteme (in diesem Fall SAP) in Form von Rollenklassen aufgebaut werden. Dabei werden für die

Objekte Technischer Platz, Equipment, Wartungsplan, Vorgang und Arbeitsplan jeweils generische Objekte mit allen Attributen aus Abbildung 72 und Abbildung 73 Rollenklassen im AML-Editor angelegt.

2. **Pflege der Semantic Relations** in den Attributen zur Herstellung des Verweises auf das Engineeringmodell aus Kapitel 8.2.2. Die im UML-Diagramm ermittelten und dargestellten Mappingregeln müssen bei der Übersetzung aus dem Engineeringmodell in das Betriebsmodell angewendet werden. Diese Mappingregeln sind direkt abhängig von den Datenmodellen. Daher ist ein Konzept notwendig, wie aus dem Zieldatenmodell elektronisch verarbeitbar hervorgeht, aus welchen Informationen das jeweilige Attribut gebildet wird. Der AutomationML Standard bietet für jedes Attribut die Möglichkeit der Pflege von Semantic Relations (siehe Kapitel 3.3.1). Im Standard ist jedoch nur vorgesehen, auf vorhandene Attribute in vorhandenen Standards eins zu eins zu verweisen. In diesem Fall ist eine komplexere Regel notwendig. Etwaige Veränderungen beim Datentyp oder bei der Skalierung müssen ebenfalls in den Semantic Relations abgebildet werden. Die Pflege der Semantic Relations erfolgt in den Rollenklassen, damit diese Information in jedem Instanzobjekt verfügbar wird.
3. **Anlagen der Objekte im AML-Editor ohne Hierarchie.** Hierbei werden Objekte für die Objektarten Technischer Platz (TP), Equipment (EQ), Wartungsplan (WP), Arbeitsplan (AP) und Vorgang (VG) angelegt. Die Anlage von Technischen Plätzen und Equipments wird für alle Objekte des Beispiels durchgeführt. Wartungspläne, Arbeitspläne und Vorgänge werden für zwei Equipments angelegt, da sich das Vorgehen bei allen Equipments gleicht.
4. **Zuweisung der spezifischen Rollenklassen** der Instandhaltung zu den Objekten und Übernahme der Attribute aus dieser Rollenklasse. Hierbei werden spezielle Attribute hinzugefügt, die über die Objektart (siehe Kapitel 7.3.1) entscheiden.
5. Bei der Beschreibung der OPC UA Schnittstelle folgt das Instandhaltungsformat eins zu eins dem Engineering, da es für diesen Use Case noch keine etablierten Formate im Betrieb gibt. Dies wird daher im Beispiel nicht explizit angewendet.

Im folgenden Absatz werden die Schritte im Detail anhand des Beispiels ausgeführt.

### **Schritt 1: Erstellung von spezifischen Rollenklassen aus Sicht der Instandhaltung**

Die Rollenklassen werden im AML-Editor in einer separaten Rollenklassenbibliothek aufgebaut (siehe Kapitel 3.3.1). Es werden dabei die Attribute aus den UML-Diagrammen (siehe Kapitel 7.2.2) in die entsprechenden Rollenklassen integriert. Abbildung 91 zeigt die Rollenklassenbibliothek sowie beispielhaft die Attribute der Rollenklasse „Maint\_Equipment“.

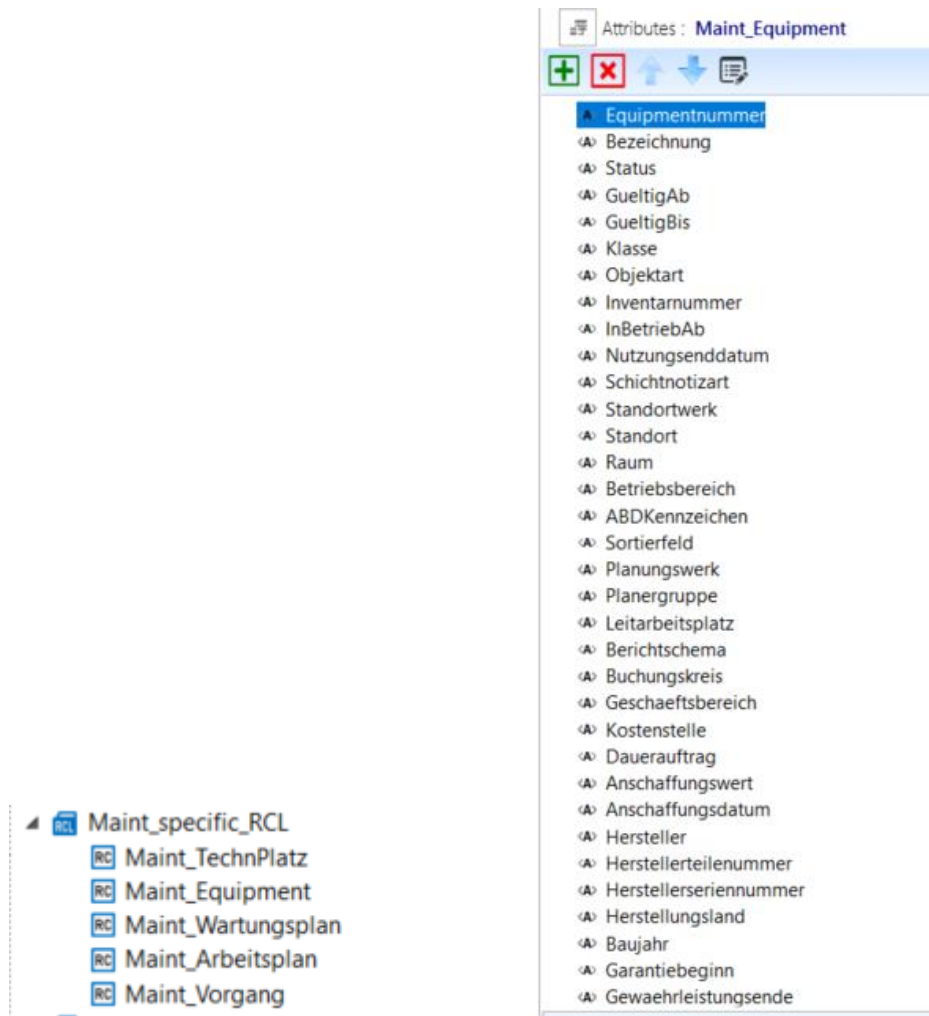


Abbildung 91: Aufbau Beispiel - spezifische Rollenklassen Instandhaltung

## Schritt 2: Pflege der Semantic Relations in den Attributen

Im Zieldatenmodell wird der Bezug zu den Engineeringdaten angegeben. Ziel ist es, den jeweiligen Attributen im Datenmodell des Fabrikbetriebs entsprechend Attribute aus dem Engineering zuweisen zu können. Damit wird das Mapping überprüft und es werden die Mappingregeln im Datenmodell hinterlegt. Diese können später durch geeignete Applikationen zur automatischen Datentransformation herangezogen werden.

Regelwerk für Attributquelle: #“RC Name“:“Attributname“

Werden Attribute miteinander verknüpft oder müssen Attribute abweichend skaliert werden, so wird dies ebenfalls in den Semantic Relations gepflegt. Hierfür werden hinlänglich bekannte mathematische Formeln oder Stringoperationen aus dem Microsoft Excel Umfeld verwendet.

Soll beim späteren Mapping auf Werte von Attributen aus der Instance Hierarchy zugegriffen werden, so werden diese in Form von Zeigern in eckigen Klammern dargestellt. Die Strukturierung von Objekten wird durch einen Punkt dargestellt. Wird ein Element mit Hilfe von Bedingungen gesucht, so werden diese mit SEARCH(Suchbereich;Kriterium;Bedingung;Wert) abgebildet:

- SEARCH(): Funktion gibt das Element zurück, das gesucht werden soll
- Suchbereich: Suchbereich in dem nach dem Element gesucht werden soll. Beispiel: InstanceHierarchy, ...
- Kriterium: Kriterium, das durchsucht werden soll. Beispiel ist die Suche nach einer spezifischen Rollenklasse. Hierfür steht das Kriterium „RollClass“
- Bedingung: Suche nach gleich (EQUAL) oder ungleich (NEQUAL) oder nach einem speziellen Text (STRING)
- Wert: Der Wert, nach dem gesucht werden soll.

**Kommentare in Textform werden mit „//“ hinten an die Regel angestellt.**

Beispiele für diese Funktionen könnten sein: Aufzählung

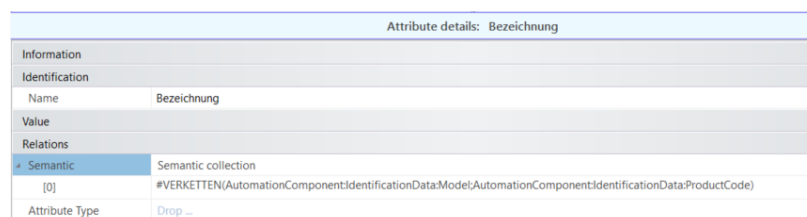
**Beispiel 1:** Das Attribut “Bezeichnung” der Klasse „Equipment“ setzt sich aus zwei Attributen der AMLComponentDescription zusammen. Daraus ergibt sich folgender Eintrag für die Semantic Relations des Attributs „Bezeichnung“:

```
# VERKETTEN (AutomationComponent:IdentificationData:Model;AutomationComponent:IdentificationData:ProductCode)
```

**Beispiel 2:** Das Attribut wird aus den ersten zwei Zeichen des Namens des Elternelements aus der Instance Hierarchy gebildet:

```
#TEIL([InstanceHierarchy.ParentElement.Name],1,2)
```

Die Darstellung im AML-Editor ist der Abbildung 92 zu entnehmen.



Attribute details: Bezeichnung	
Information	
Identification	
Name	Bezeichnung
Value	
Relations	
• Semantic	Semantic collection
[0]	#VERKETTEN(AutomationComponent:IdentificationData:Model;AutomationComponent:IdentificationData:ProductCode)
Attribute Type	Drop ...

**Abbildung 92: Aufbau Beispiel - Semantic Relations im AML Editor**



Neben der Darstellung im AutomationML Editor können AML-Dateien auch in einem XML-Viewer oder Editor dargestellt werden. In diesem Fall werden die Semantic Relations wie in Abbildung 93 dargestellt. Im Anhang Kapitel 10.4 sind die XML-Dateien aller spezifischen Rollenklassen dargestellt, und die notwendigen Transformationsregeln können entsprechend entnommen werden.

```
1 <Attribute
2   Name="Bezeichnung"
3   AttributeDataType="xs:string" xmlns="http://www.dke.de/CAEX">
4   <RefSemantic
5     CorrespondingAttributePath="#VERKETTEN(AutomationComponent:IdentificationData:Model;AutomationComponent:IdentificationData:ProductCode)" />
6 </Attribute>
```

**Abbildung 93: Aufbau Beispiel - Semantic Relations im XML-Format**

Auf Basis der Verprobung in diesem Beispiel lässt sich eine erste Liste an möglichen Funktionen anfertigen:

- Stringoperationen (z.B. verbinden, trennen, ausschneiden)
- Mathematische Operationen (z.B. Addition, Subtraktion, Multiplikation)
- Suchfunktionen nach Objekten in der Hierarchie / Struktur
- Suchfunktionen nach Attributen
- Wandlung von Datentypen (z.B. Float to String)

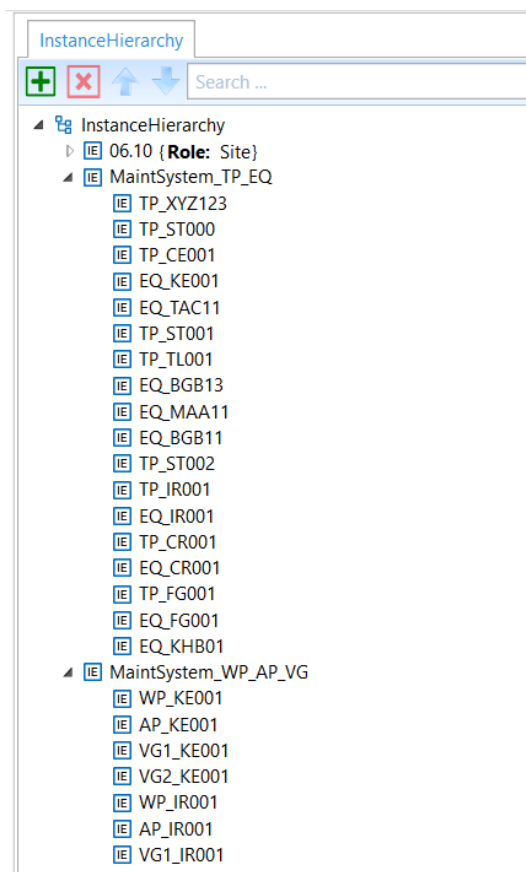
#### **Hinweis:**

Die oben abgebildeten Regeln und die entsprechende Semantik dienen ausschließlich für dieses Umsetzungsbeispiel sowie zur Beschreibung der Methodik.

Als nachfolgender Schritt ist die Standardisierung dieser erweiterten Semantic Relations im AutomationML Verein zwingend erforderlich (siehe Kapitel 9.2.2).

#### **Schritt 3: Anlagen der Objekte im AML-Editor ohne Hierarchie**

Alle Objekte aus Kapitel 8.2.2 werden mit Hilfe der Regeln aus Tabelle 15 als einzelne Objekte in der AML Instance Hierarchy angelegt. Dabei werden die Objekte nicht in einer Struktur oder Anlagenhierarchie abgebildet, sondern werden auf der gleichen Instanzebene modelliert. Neben den eigentlichen Objekten, die die realen Komponenten beschreiben, müssen auch die Wartungspläne, Vorgänge und Arbeitspläne als separate Objekte angelegt werden. Abbildung 94 zeigt das Ergebnis der Modellierung. Um die Hierarchieinformationen nicht zu verlieren, werden die Elternelemente bzw. der Bezug eines Wartungsplans zu einem Anlagenobjekt in Attributen abgebildet.



**Abbildung 94: Aufbau Beispiel - Objekte der Instandhaltung**

Die „Technischen Plätze“ sind als „TP\_“, die „Equipments“ als „EQ\_“, die Wartungspläne als „WP\_“, die Arbeitspläne als „AP\_“ und die Vorgänge als „VG\_“ gekennzeichnet. Dies ist ein Indikator, um bei einer weiteren automatisierten Verarbeitung die einzelnen Objekte unterscheiden zu können. Alternativ ist dies anhand der verwendeten Rollenklassen (siehe Schritt 4) zu erkennen.

#### **Schritt 4: Zuweisung der spezifischen Rollenklassen der Instandhaltung**

Der letzte Schritt beinhaltet das Zuweisen der Rollenklassen zu den jeweiligen Instanzobjekten. Damit werden die Attribute aus den Rollenklassen in die Instanzobjekte übernommen. Abbildung 95 zeigt das Ergebnis sowie die Darstellung der Attribute eines Equipments. Die hierarchischen Zusammenhänge werden nun in der flachen Objektliste über entsprechende Referenzen wie „UebergeordnetesEQUI“ hergestellt.

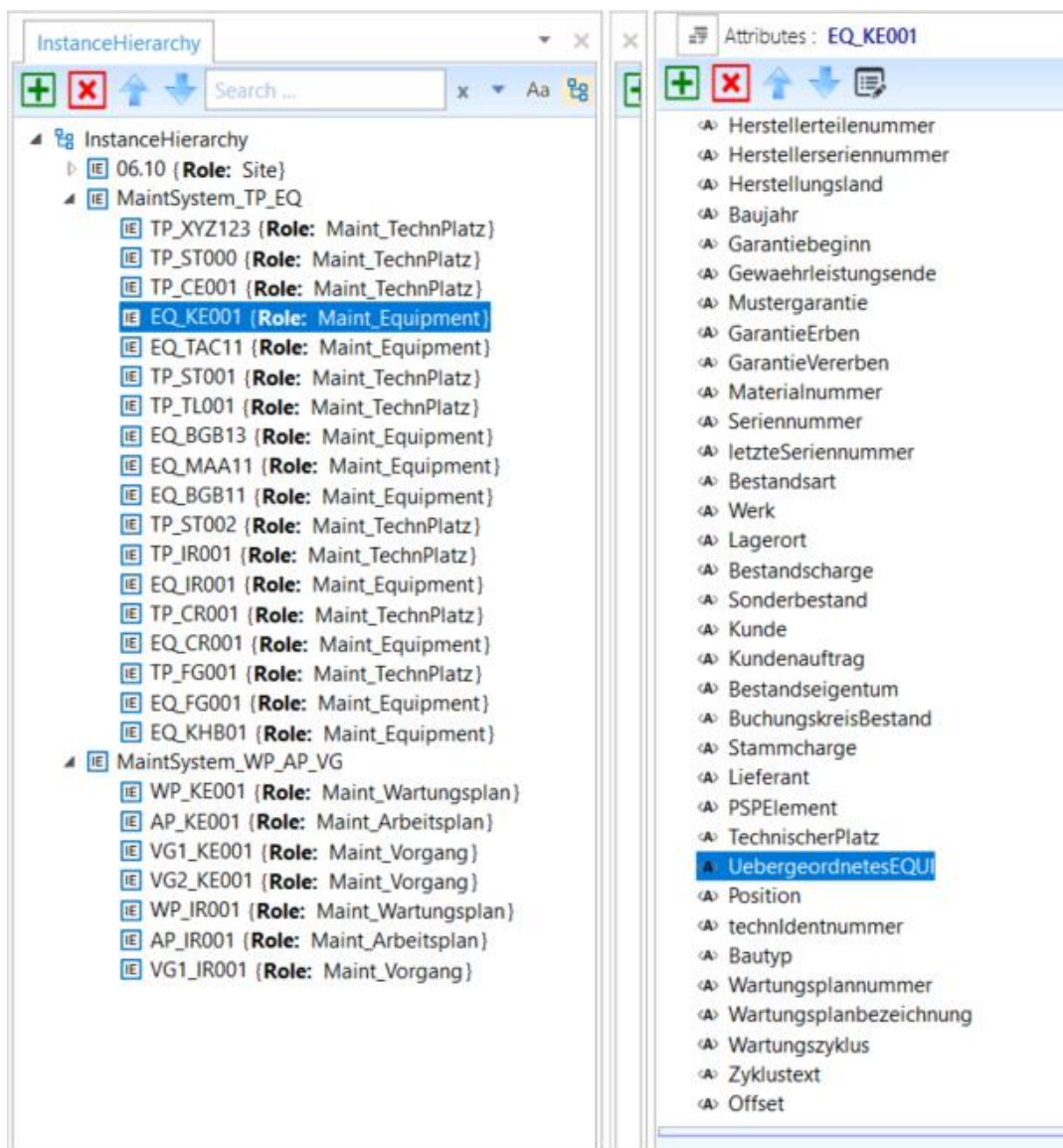


Abbildung 95: Aufbau Beispiel - fertige Instanz Instandhaltung

## 8.2.4. Ergebnis der Verprobung mit AutomationML

Ziel des Beispiels war es, die Ergebnisse zu den Forschungsfragen 2 und 3 aus Kapitel 5 auf Umsetzbarkeit zu überprüfen. Die aus Kapitel 7 ermittelten Inhalte des Datenmodells sowie die Mappingregeln konnten im Beispiel anhand von AutomationML erfolgreich verprobt werden. Jedoch ist im Zuge der Verprobung ein weiterer wichtiger Baustein für eine erfolgreiche Umsetzung entdeckt worden. Die Ablage bzw. Modellierung von Mappingregeln muss auf eine geeignete Weise im Zieldatenmodell erfolgen. Die aktuell dafür vorgesehenen Elemente wie Semantic Relations reichen für diesen Zweck gemäß ihrer vorgegebenen Verwendung nicht aus. Dieses Beispiel zeigt jedoch exemplarisch, dass diese Elemente mit entsprechenden Standards den Zweck erfüllen würden.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Ein jedes Projekt hat sowohl ein festes Ziel als auch einen abgegrenzten Umfang. Zum Abschluss wird in Kürze auf das eigentliche Ziel zurückgeblickt. Außerdem sind während der Untersuchungen eine Vielzahl neuer Fragestellungen zu Tage getreten, die für die Weiterentwicklung der Digitalisierung notwendig sind.

### 9.1. Resümee

Bei einem Blick in die Interviews und Workshops zur aktuellen Arbeitsweise sowie beim Blick in die Literatur lässt sich zwischen dem Engineering des Produktionssystems und dessen Betrieb (siehe Abbildung 5) ein tiefer Graben entdecken. Aber gerade zwischen diesen beiden Welten liegt auch das größte Potential bei der Datendurchgängigkeit und bei der Skalierbarkeit von I4.0 Use Cases. Die Ängste und die damit verbundene Zurückhaltung der Firmen bei Industrie 4.0 sowie der Digitalisierung allgemein, kann nur mit Hilfe einer Überwindung dieses „Datengrabens“ reduziert werden. Diese Arbeit zeigt, dass es möglich ist, die Daten entsprechend zu transformieren, und zeigt auch auf, welche Daten für den Fabrikbetrieb mit Fokus auf die Instandhaltung notwendig sind. Dennoch muss man berücksichtigen, dass viele dieser Funktionen sowie Informationen in kommerziellen Tools nicht vorhanden sind. Es ist daher entscheidend, durch separate Transformationstools die Brücke zu schlagen. Ferner ist es zwingend notwendig, dass alle Tools in der Planung bzw. des Engineerings die Projektinformationen objektorientiert zur Verfügung stellen.

Neben der reinen technischen Diskussion bezüglich Datenmodelle und Tools muss die Datenverantwortung mehr in den Fokus gerückt werden. Diese Arbeit zeigt, dass viele Informationen für den Fabrikbetrieb nicht aus dem Engineering oder der Planung bereitgestellt werden können, da es sich um Informationen handelt, die im Zuge der Inbetriebnahme und während des Übergangs aus der Planung in die Instandhaltung entstehen. Es ist aktuell nicht definiert, wer die Verantwortung dafür trägt. Erst nach dieser Klärung lässt sich auch ein passendes Tool oder Datenmodell für die noch nicht automatisiert erbrachten Informationen finden.

Zusammengefasst können die Forschungsfragen (siehe Kapitel 5) folgendermaßen beantwortet werden:

**F1:** *Wie werden Daten über den Engineeringprozess angereichert und an den Fabrikbetrieb für eine erfolgreiche Instandhaltung übergeben?*

Der Idealprozess wird in der Literatur lediglich als Zielbild formuliert (siehe Kapitel 2). Auf Basis dieser Zielbilder und der Expertenworkshops ergibt sich in der Industrie ein klarer Zielprozess, wie er in Kapitel 6 dargestellt wird. Dies bedingt einen entsprechenden Datenaustausch und dafür entsprechende Standards bezüglich Datenverantwortung. Details zum Idealprozess sind Kapitel 6 zu entnehmen.

**F2:** Welche Methode eignet sich, um ein ideales Datenmodell für die Instandhaltungsprozesse zu definieren?

**F3:** Welche Informationen (ideales Datenmodell) benötigt der Instandhaltungsprozess unter Anwendung der Methode aus F2?

Die Instandhaltung benötigt sowohl Informationen zur Anlagenstruktur bzw. zur Struktur des Produktionssystems, genaue Beschreibungen der Objekte bzw. Komponenten hinsichtlich Typenschild und instandhaltungsrelevanter Informationen sowie eine genaue und elektronisch verarbeitbare Beschreibung der I4.0 Diagnosewerte. Es wurde eine Methode entwickelt, die zur Erstellung des Zieldatenmodells führt. Die exakte Beschreibung aller Informationen wird in den Kapiteln 7.1 und 7.2 im Detail beschrieben.

**F4:** Welche Methode eignet sich, um notwendige Datentransformationen zwischen Planung und Betrieb zu identifizieren?

**F5:** Wie können die Datentransformationen aus F4 in Datenmodellen abgebildet werden?

Es können eine Vielzahl der Daten aus dem Engineering übernommen werden. Jedoch gibt es einige Informationen, die nur durch Betriebsprozesse erbracht werden können. Für die Daten, die übernommen werden können, ist eine komplexe Transformation erforderlich. Dies bezieht sich sowohl auf die Strukturinformationen als auch auf die Transformation einzelner Attribute. Die Abbildung dieser Regeln ist entweder in tabellarischer Form oder durch die Verwendung von speziellen Attributeigenschaften realisiert worden. Details zur Methode und zu den finalen Regeln werden in Kapitel 7.3 und Kapitel 7.4 beschrieben sowie in Kapitel 8.2.3 anhand der Umsetzung eines Beispiels detailliert.

**Das umfangreiche Beispiel hat alle Ergebnisse bestätigt und liefert konkrete Lösungsvarianten für die weitere Verwendung zur Standardisierung sowie zur weiteren Detaillierung in Form von zukünftigen Forschungsbedarf.**

## **9.2. Ausblick und weiterführender Forschungsbedarf**

### **9.2.1. Rückführung aus Betrieb in die Planung**

Diese Arbeit fokussiert sich auf den Übergang von der Planung bzw. dem Engineering in den Fabrikbetrieb. Für eine komplette Durchgängigkeit ist jedoch auch der Rückweg zu betrachten. Aktuell ist selten bekannt, wie die Planung bzw. das Engineering effizienter und effektiver ablaufen könnten, wenn entsprechende Daten aus dem Betrieb zurückgeführt würden. Dabei sollte nicht nur der bisher bekannte Prozess betrachtet werden, sondern auch über neue Use Cases nachgedacht werden. Gerade die Anforderungen an eine nachhaltige und energieeffiziente Planung werden stetig an Bedeutung gewinnen und werden eine

entsprechende Rückführung von Verbrauchswerten bedingen. Auch muss beleuchtet werden, welchen Anspruch eine KI-assistierte Planung an die Datenrückführung hat. Man darf sich hier nicht von dem aktuellen Stand der Datenakquise im Betrieb täuschen lassen. Die Planung benötigt keine Schwingungen und Temperaturen im 20ms Zyklus. Sie benötigt intelligente Daten für eine bessere Planung. Auch hier ist mit einer Vorverarbeitung und einer Datentransformation zu rechnen.

### **9.2.2. Abbildung von Mappingregeln in Datenmodellen**

In Kapitel 8.2.3 wurde speziell für die Abbildung von Mappingregeln der AutomationML Standard ignoriert. Die Mappingregeln müssen für eine effiziente Bereitstellung in den Zieldatenformaten modelliert werden. Dabei ist nicht ein eins zu eins Bezug zu einem Attribut aus einem bekannten Standard ausreichend. Es bedarf einer komplexeren Beschreibung mit einer Vielzahl von Funktionen, wie sie in Kapitel 8.2.3 angewendet wurden. Dies ist in dieser Form jedoch in den bisherigen Standards nicht abgebildet worden und muss daher als feste Lösung integriert und beschrieben werden.

### **9.2.3. Erweiterung Datenmodelle der Instandhaltung**

Diese Arbeit hat gezeigt, dass viele Prozesse und Begriffe in der Instandhaltung definiert wurden. Jedoch fehlen feste Standards für Datenmodelle. Die Ergebnisse dieser Arbeit müssen daher als Auftakt verstanden werden und bedingt eine permanente Erweiterung der entsprechenden Datenmodelle und immer auch der entsprechenden Transformationsregeln und -funktionen. Gerade im Hinblick auf die Ziele der Asset Administration Shell ist hier eine strikte Standardisierung aller über den gesamten Lebenslauf der Anlagen und Komponenten notwendigen Informationen notwendig.

### **9.2.4. Transformationswerkzeuge**

Innerhalb dieser Arbeit wurden eine Vielzahl an Datentransformationen erwähnt. Diese sind jedoch noch nicht durch industrielle Tools umsetzbar. Damit wird die Entwicklung von in der Fläche anwendbaren Tools ein entscheidendes Erfolgskriterium für das Gelingen des Übergangs zwischen Engineering und Betrieb. Dabei ist auf eine aus IT-Sicht einfache Anwendung Wert zu legen. Die Anwender sind, wie aus dieser Arbeit zu entnehmen, Experten der jeweiligen Disziplinen und kennen die fachlichen Transformationsregeln, jedoch verfügen sie meist nicht über fortgeschrittene Programmierkenntnisse.

### **9.2.5. Menschen und Organisationen im Zusammenhang mit der Digitalisierung**

Diese Arbeit hat sich auf die Dateninhalte, Datenmodelle und notwendige Datentransformationen konzentriert. Jedoch bedingt dies auch eine gewaltige Veränderung bei den handelnden Menschen und den entsprechenden Organisationen. Nur wenn eine neue Arbeitsweise erfolgreich eingeführt wird, entsteht der Nutzen. Die dazu notwendigen

Veränderungen und Maßnahmen stellen für Unternehmen wahrscheinlich einen enormen Kraftakt dar und müssen idealerweise parallel zur technischen Entwicklung vorangetrieben werden. Außerdem ist erkennbar, dass es sich immer um ein Zusammenwirken von vielen unterschiedlichen Disziplinen und Tools handelt. Damit verbunden ist unweigerlich, dass auch eine Vielzahl an Unternehmen beteiligt sind. Ob Komponentenlieferanten, die digitale Modelle liefern müssen, Softwarevendoren, die neue Schnittstellen umsetzen müssen und Konstruktionsunternehmen, die ebenfalls die Arbeitsweise adaptieren müssen. Für all diese Unternehmen muss die Digitalisierung Vorteile bringen. Ohne erkennbaren Mehrwert und neuen Geschäftsmodellen bei allen Unternehmen wird es wahrscheinlich nicht zur flächendeckenden Umsetzung kommen. Hierzu wird im Rahmen einer Dissertation bereits gearbeitet [138].

### **9.2.6. Datenökonomie und Energie-optimiertes Planen**

Neben der reinen Digitalisierung zum Zweck der Effizienzsteigerung in den Prozessen wurde das Themenfeld Energie komplett ausgeblendet. Der Verbrauch von Produktionsanlagen kann jedoch ebenfalls in der Planungsphase optimiert und in der Betriebsphase gemessen werden. Daher ist auch hier eine Übernahme solcher Informationen in die Datenmodelle und Idealprozesse denkbar. Jedoch gilt es auch zu betrachten, welche Energieaufwände durch die Digitalisierung entstehen. Die Vielzahl an Daten- und Kommunikationswegen sorgen sicherlich für eine Infrastruktur mit hohem Energiebedarf.

## 10. References

- [1] VDI Richtlinie 4499 Blatt 1: *Digitale Fabrik: Grundlagen*, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Berlin, 2008.
- [2] VDI Richtlinie 4499 Blatt 2: *Digitale Fabrik: Digitaler Fabrikbetrieb*, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Berlin, 2011.
- [3] Roland Willmann, *Ontology matchmaking of product ramp-up knowledge in anufacturing industries: How to transfer a cake-baking recipe between bakeries*, 2016. [Online]. Available: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/4780>
- [4] VDI-Richtlinie 4499 Blatt 3: *Digitale Fabrik: Datenmanagement und Systemarchitekturen*, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Berlin, 2016.
- [5] Thomas Bauernhansl, „Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma,“ in *VDI Springer Reference, Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen*, T. Bauernhansl and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, pp. 1–32, doi: 10.1007/978-3-662-53254-6.
- [6] Henning Kagermann, „Chancen von Industrie 4.0 nutzen,“ in *VDI Springer Reference, Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen*, T. Bauernhansl and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, pp. 235–246, doi: 10.1007/978-3-662-53254-6.
- [7] Ernst & Young GmbH / bitkom research, Ed., „Industrie 4.0: Status Quo und Perspektiven: Ergebnisse einer repräsentativen Unternehmensbefragung in Deutschland und der Schweiz,“
- [8] IDG Business Media GmbH, Ed., „Studie Industrie 4.0,“ [Online]. Available: <https://www.lufthansa-industry-solutions.com/de-de/studien/idg-studie-industrie-40-2017>
- [9] Deutsche Telekom AG, Ed., „DIGITALISIERUNGSINDEX MITTELSTAND 2019/2020: DER DIGITALE STATUS QUO DES DEUTSCHEN MITTELSTANDS,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.telekom.com/resource/blob/584562/9da7a4360a39062b2389f7be094efdeb/dl-191105-bericht-digitalisierungsindex-data.pdf>
- [10] European Commission, „Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe,“ 2019.
- [11] T. Meyer, „Die Schnittstelle von der Digitalen Fabrik zum Digitalen Fabrikbetrieb,“ *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, vol. 109, no. 10, pp. 752–755, 2014, doi: 10.3139/104.111221.
- [12] M. S. Carsten Matysczok, „VDI Fachausschuss Digitale Fabrik - Darstellung der aktuellen Aktivitäten und Richtlinien,“ 2019. [Online]. Available: [http://www.asim-fachtagung-spl.de/asim2019/papers/04\\_Proof\\_177.pdf](http://www.asim-fachtagung-spl.de/asim2019/papers/04_Proof_177.pdf)
- [13] C. Matysczok, N. Hohlweger, M. Ilcin, and P. Wibbing, „Die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Digitale Fabrik,“ *ProduktDatenJournal*, 2018. [Online]. Available: <https://www.unity.de/fileadmin/Insights/Artikel/ProduktDaten-Journal-Auswirkungen-von-Industrie-4.0-auf-die-Digitale-Fabrik.pdf>
- [14] M. Schenk, S. Wirth, and et al., *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.



- 
- [15] Kurt Matyas, „Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien,“ 2002. [Online]. Available: [https://www.wfg-borken.de/wp-content/uploads/2022/01/20211215\\_StammstischPdM\\_Vortrag-innowise.pdf](https://www.wfg-borken.de/wp-content/uploads/2022/01/20211215_StammstischPdM_Vortrag-innowise.pdf)
- [16] J. R. Hans-Werner Gohres, „Chronik der Instandhaltung - Schlaglichter einer Entwicklung,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haefl, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 3–14, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [17] G. Güntner, „Die digitale Transformation der Instandhaltung: Der Werkzeugkoffer für die digitale Transformation,“ vol. 2018. [Online]. Available: <https://www.maintenance-competence-center.at/>
- [18] K. H. Weber, *Engineering verfahrenstechnischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen*, 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016.
- [19] Thomas Bell, „Neue Wege zum Digitalen Zwilling durch Mechatronisches Anlagen-Engineering\_CO,“ [Online]. Available: <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A31019/attachment/ATT-0/?L=1>
- [20] Robin Godot Richard Kühnast, „Referenzmodell zur Gestaltung des Digitalen Schattens der Instandhaltung nach den Prinzipien eines generischen Managementkonzepts,“ 2020. [Online]. Available: <https://pure.unileoben.ac.at/files/5868334/AC16100661.pdf>
- [21] Engelbert Westkämper, „Zukunftsperspektiven der digitalen Produktion,“ in *Digitale Produktion*, E. Westkämper, D. Spath, and et al., Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 309–328, doi: 10.1007/978-3-642-20259-9.
- [22] H.-P. Wiendahl *et al.*, „Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation,“ *CIRP Annals*, vol. 56, no. 2, pp. 783–809, 2007, doi: 10.1016/j.cirp.2007.10.003.
- [23] Arndt Lüder, Nicole Schmidt, Kristofer Hell, Hannes Röpke, „Fundamentals of Artifact Reuse in CPPS,“ in *Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems*, S. Biffel, A. Lüder, and D. Gerhard, Eds.: Springer International Publishing, 2017, pp. 113–138, doi: 10.1007/978-3-319-56345-9.
- [24] G. Pawellek, *Ganzheitliche Fabrikplanung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [25] S. Kerber, *Prozessgestaltung zum Einsatz digitaler Fabrikgesamtmodelle: Anwendung in der Produktionsplanung eines Automobilherstellers*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [26] *VDI Richtlinie 3695 Blatt 2*, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2021.
- [27] *VDI Richtlinie 3695 Blatt 3*, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2021.
- [28] M. Eigner, D. Roubanov, and R. Zafirov, Eds., *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, doi: 10.1007/978-3-662-43816-9.
- [29] Torsten Gilz and Radoslav Zafirov, „Modellbildung und erste Simulation,“ in *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*, M. Eigner, D. Roubanov, and R. Zafirov, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 97–114, doi: 10.1007/978-3-662-43816-9.
- [30] Daniil Roubanov, „Mechanikkonstruktion (M-CAD),“ in *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*, M. Eigner, D. Roubanov, and R. Zafirov, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 115–136, doi: 10.1007/978-3-662-43816-9.

- [31] Radoslav Zafirov and Daniil Roubanov, „Elektrik und Elektronik (E-CAD),“ in *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*, M. Eigner, D. Roubanov, and R. Zafirov, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 137–160, doi: 10.1007/978-3-662-43816-9.
- [32] Radoslav Zafirov, „Produktionsmodelle und Simulation (DiFa),“ in *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung*, M. Eigner, D. Roubanov, and R. Zafirov, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 197–226, doi: 10.1007/978-3-662-43816-9.
- [33] Kristofer Hell, *Methoden der projektübergreifenden Wiederverwendung im Anlagenentwurf: Konzeptionierung und Realisierung in der Automobilindustrie*, 2018. [Online]. Available: <https://opendata.uni-halle.de/handle/1981185920/11246>
- [34] Arndt Lüder, Nicole Schmidt, Kristofer Hell, Hannes Röpke, “Identification of Artifacts in Life Cycle Phases of CPPS,” in *Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems*, S. Biffel, A. Lüder, and D. Gerhard, Eds.: Springer International Publishing, 2017, pp. 139–168, doi: 10.1007/978-3-319-56345-9.
- [35] Arndt Lüder, Nicole Schmidt, Kristofer Hell, Hannes Röpke, “Description Means for Information Artifacts Throughout the Life Cycle of CPPS,” in *Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems*, S. Biffel, A. Lüder, and D. Gerhard, Eds.: Springer International Publishing, 2017, pp. 169–184, doi: 10.1007/978-3-319-56345-9.
- [36] *Forschungsprojekt DIAMOND: Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten*. [Online]. Available: <https://diamond-project.de/>
- [37] “MicroStationV8iQuickStartGuide,”
- [38] M. A. Milyutina, “Introduction of Building Information Modeling (BIM) Technologies in Construction,” *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1015, p. 42038, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1015/4/042038.
- [39] S. Bangsow, “Plant Simulation,” in *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk*, S. Bangsow, Ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 7–15, doi: 10.1007/978-3-642-05074-9\_2.
- [40] R. List, *CATIA V5 - Grundkurs für Maschinenbauer: Bauteil- und Baugruppenkonstruktion, Zeichnungsableitung*, 4th ed. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009.
- [41] Siemens AG Digital Industries, *Process Simulate für Teamcenter*. [Online]. Available: [https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/15.1.2/PS\\_TC#uid:index\\_xid1015772](https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/tecnomatix/15.1.2/PS_TC#uid:index_xid1015772)
- [42] B. Gischel, *Handbuch EPLAN Electric P8*, 5<sup>th</sup> ed. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2015.
- [43] Siemens AG Digital Industries, *SIMATIC STEP 7 und WinCC Engineering V17: Systemhandbuch*.
- [44] E. K. InTec, „Guideline\_ViPer\_V1.21,“
- [45] Luisa Schmid, „RF::Suite (YAMS): Handbuch RF::YAMS,“ 2019.
- [46] Mewes & Partner GmbH, *WinMOD-Systemsoftware: Handbuch*.
- [47] Gunther Reinhart, Rainer Schack, and et al., „Organisationsanpassungen – von der Digitalen Fabrik zum Digitalen Unternehmensnetzwerk,“ 2008, doi: 3139.
- [48] T. Bindel and D. Hofmann, *Projektierung von Automatisierungsanlagen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.

- 
- [49] M. Schleipen, R. Drath, and O. Sauer, "The system-independent data exchange format CAEX for supporting an automatic configuration of a production monitoring and control system," in *2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Cambridge, UK, 2008, pp. 1786–1791, doi: 10.1109/ISIE.2008.4676932.
- [50] R. Drath, *AutomationML: A practical guide*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg, 2021.
- [51] *DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung*, Deutsche Norm, 2019.
- [52] B. Leidinger, *Wertorientierte Instandhaltung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.
- [53] *DIN EN 13306 Instandhaltung: Begriffe der Instandhaltung*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018.
- [54] *DIN 77005-1 Lebenslaufakte für technische Anlagen: Teil 1: Strukturelle und inhaltliche Festlegungen*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 2018.
- [55] *DIN EN 16646. Instandhaltung im Rahmen des Anlagenmanagements: Deutsche Fassung EN 16646:2014*, Deutsche Norm, 2015.
- [56] J. R. Andreas Weber, „Value Chain Service im Asset Management,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 35–48, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [57] J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., *Betriebliche Instandhaltung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [58] J. W. Uwe Dombrowski, „Instandhaltungsmanagement in Ganzheitlichen Produktionssystemen,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 15–34, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [59] J. H. Björn Bartels, „Obsoleszenzmanagement,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 181–197, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [60] G. Katja and Bernd-Friedrich Voigt, „Wandel von Instandhaltungsarbeit,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 161–180, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [61] Wilhelm Hodapp, „Die Bedeutung einer zustandsorientierten Instandhaltung,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 135–152, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [62] Thorsten Pötter, Jens Folmer, and et al., „Enabling Industrie 4.0 - Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie,“ in *VDI Springer Reference, Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen*, T. Bauernhansl and M. ten Hompel, Eds., 2nd ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016, pp. 71–83, doi: 10.1007/978-3-662-53254-6.
- [63] OPC Foundation, "OPC Unified Architecture Part 1: Overview and Concepts," vol. 2017.
- [64] S. Heißmeyer, D. Altmann, and L. Overmeyer, „Lernfähige Instandhaltung,“ *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, vol. 105, no. 4, pp. 333–338, 2010, doi: 10.3139/104.110294.
- [65] Helmut Mühlnickel, Cäcilia Maria Kurz et. al, „Smart Maintenance,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 349–360, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.

- [66] Lennart Brumby, „Instandhaltung und Asset Management,“ in *Betriebliche Instandhaltung*, J. Reichel, G. Müller, and J. Haeffs, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, pp. 67–90, doi: 10.1007/978-3-662-53135-8.
- [67] *VDI-Richtlinie 2770 Blatt 1: Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen / Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie*, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, Apr. 2020.
- [68] SAP AG, „Instandhaltung (PM): Release 4.6C,“ 2001.
- [69] SAP AG, *SAP Hilfeportal*. [Online]. Available: <https://help.sap.com/viewer/index>
- [70] Benedikt Schmucker, Johannes Ellinger, Maximilian Benker, Thomas Semm, Michael F. Zäh, „Predictive Maintenance als Wegbereiter für die instandhaltungsgerechte Produktionssteuerung: Am Beispiel von Werkzeugmaschinen,“ *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, vol. 113, no. 5, pp. 298–301, 2018, doi: 10.3139/104.111912.
- [71] Thorben Kaul, Julian Hentze, Walter Sextro, Iris Gräßler, „Integration von Verlässlichkeitsmodellen der Entwicklung in einen Digitalen Zwilling zur Umsetzung einer vorausschauenden Instandhaltung,“ [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/332422757\\_Integration\\_von\\_Verlasslichkeitsmodellen\\_der\\_Entwicklung\\_in\\_einen\\_Digitalen\\_Zwilling\\_zur\\_Umsetzung\\_einer\\_vorausschauenden\\_Instandhaltung](https://www.researchgate.net/publication/332422757_Integration_von_Verlasslichkeitsmodellen_der_Entwicklung_in_einen_Digitalen_Zwilling_zur_Umsetzung_einer_vorausschauenden_Instandhaltung)
- [72] U. Bracht, D. Geckler, and S. Wenzel, *Digitale Fabrik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018.
- [73] M. Macchi, I. Roda, E. Negri, and L. Fumagalli, “Exploring the role of Digital Twin for Asset Lifecycle Management,” *IFAC-PapersOnLine*, no. 11, pp. 790–795, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.415.
- [74] Engelbert Westkämper, Martin Landherr, and et al., „Lebenszyklusorientiertes Engineering und Management von Produkten und Fabriken,“ in *Digitale Produktion*, E. Westkämper, D. Spath, and et al., Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 145–196, doi: 10.1007/978-3-642-20259-9.
- [75] Engelbert Westkämper, Hans-Friedrich Jacobi, and et al., „Grundlagen der digitalen Produktion: Definition und Entwicklung,“ in *Digitale Produktion*, E. Westkämper, D. Spath, and et al., Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 45–144, doi: 10.1007/978-3-642-20259-9.
- [76] Dieter Spath, Holger Eckstein, and et al., „Nutzung neuer Informationstechnologien für die digitale Produktion,“ in *Digitale Produktion*, E. Westkämper, D. Spath, and et al., Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 197–306, doi: 10.1007/978-3-642-20259-9.
- [77] D. Lucke, M. Defranceski, and T. Adolf, „Cyberphysische Systeme für die prädiktive Instandhaltung,“ in *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1*, B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl, and M. ten Hompel, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2017, pp. 75–91, doi: 10.1007/978-3-662-45279-0\_28.
- [78] Olaf Sauer, Miriam Schleipen, Christoph Ammermann, „Digitaler Fabrikbetrieb,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.asim-fachtagung-spl.de/asim2010/papers/Proof%20168-2.pdf>
- [79] W. Schlögl, „Einsatz der Digitalen Fabrik von der Anlagenplanung bis in den laufenden Betrieb,“ 2007. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Wolfgang-Schloegl/publication/296963682\\_Production\\_Lifecycle\\_Management\\_with\\_the\\_digital\\_](https://www.researchgate.net/profile/Wolfgang-Schloegl/publication/296963682_Production_Lifecycle_Management_with_the_digital_)

- factory/links/5ecf8c5992851c9c5e6336d4/Production-Lifecycle-Management-with-the-digital-factory.pdf
- [80] Leif-Thore Reiche, Claas Steffen Gundlach, Gian Frederik Mewes, Alexander Fay, "The Digital Twin of a System: A Structure for Networks of Digital Twins," 2021, doi: 10.1109/ETFA45728.2021.9613594.
- [81] Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, *Gabler Wirtschaftslexikon*, 19th ed. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019.
- [82] Verband der Automobilindustrie, „VDA 6100\_Smart Data in der Automobilproduktion,“ 2020.
- [83] Prerna Juhlin, Dennis Janka, ..., "Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges," *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 9–13, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.03.115.
- [84] G. Schuh *et al.*, „Effizientere Produktion mit Digitalen Schatten,“ *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, vol. 115, s1, pp. 105–107, 2020, doi: 10.3139/104.112339.
- [85] R. Klostermeier, S. Haag, and A. Benlian, *Digitale Zwillinge – Eine explorative Fallstudie zur Untersuchung von Geschäftsmodellen*, 2018.
- [86] IDC / John F. Gantz, "The Diverse and Exploding Digital Universe: An Updated Forecast of Worldwide Information Growth Through 2011," 2008. [Online]. Available: <https://www.ifap.ru/library/book268.pdf>
- [87] Arndt Lüder, Kristof Meixner, Anna-Kristin Behnert, Stefan Biffel, "ModellingEngineeredObject Dependencies\_AutomationMLbasedToolChain," *IEEE Softw.*, 2021, doi: 10.1109/ETFA45728.2021.9613530.
- [88] *Visual Components Essential*. [Online]. Available: [https://www.visualcomponents.com/de/produkte/essentials/?utm\\_term=fabrikplanungssoftware&utm\\_campaign=DE+NEW&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=4050884639&hsa\\_cam=15089724888&hsa\\_grp=128735697573&hsa\\_ad=556836321011&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=kwd-327404703089&hsa\\_kw=fabrikplanungssoftware&hsa\\_mt=b&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gclid=EAlaIQobChMIpliC34\\_Z9QIVBbp3Ch3wrgwyEAAYASAAEgKy3vD\\_BwE](https://www.visualcomponents.com/de/produkte/essentials/?utm_term=fabrikplanungssoftware&utm_campaign=DE+NEW&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=4050884639&hsa_cam=15089724888&hsa_grp=128735697573&hsa_ad=556836321011&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-327404703089&hsa_kw=fabrikplanungssoftware&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=EAlaIQobChMIpliC34_Z9QIVBbp3Ch3wrgwyEAAYASAAEgKy3vD_BwE)
- [89] *Bentley Microstation*. [Online]. Available: <https://www.bentley.com/de/products/brands/microstation>
- [90] *Fabrikplanung Tarakos*. [Online]. Available: <https://www.tarakos.de/fabrikplanungssoftware.html>
- [91] *Autodesk Autocad / Forge*. [Online]. Available: <https://www.autodesk.de/>
- [92] *Autodesk Inventor*. [Online]. Available: <https://www.autodesk.de/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [93] *Catia*. [Online]. Available: <https://www.3ds.com/de/produkte-und-services/catia/>
- [94] *Creo Parametric: früher Pro Engineer*. [Online]. Available: <https://www.ptc.com/de/products/creo/parametric>
- [95] *Siemens NX und Teamcenter*. [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/nx/>
- [96] *Autocad Electric*. [Online]. Available: <https://www.autodesk.de/products/autocad/included-toolsets/autocad-electrical>
- [97] *Eplan Electric*. [Online]. Available: <https://www.eplan.de/loesungen/eplan-plattform/eplan-electric-p8/>

- 
- [98] *Schneider ETAP*. [Online]. Available: <https://www.se.com/de/de/product-range/57434544-etap/#overview>
- [99] *Solid Works Electric*. [Online]. Available: [https://www.dps-software.de/produkte/elektrische-konstruktion/solidworks-electrical?gclid=EAlaIQobChMI1NTF35XZ9QIVhc3Ch3cHQtQEAAAYAiAAEgJdkfD\\_BwE](https://www.dps-software.de/produkte/elektrische-konstruktion/solidworks-electrical?gclid=EAlaIQobChMI1NTF35XZ9QIVhc3Ch3cHQtQEAAAYAiAAEgJdkfD_BwE)
- [100] *Siemens Automation Designer*. [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/products/mechanical-design/automation-design.html>
- [101] *B&R Automation Studio*. [Online]. Available: <https://www.br-automation.com/de-de/produkte/software/automation-software/automation-studio/>
- [102] *Beckhoff TwinCAT*. [Online]. Available: <https://www.beckhoff.com/de-de/produkte/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te1000.html>
- [103] *Mitsubishi Electric iQ Works*. [Online]. Available: [https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/sft/melsoft/smerit/iq\\_works/index.html?menu=kisyu&mid=plc](https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/sft/melsoft/smerit/iq_works/index.html?menu=kisyu&mid=plc)
- [104] *Siemens TIA Portal*. [Online]. Available: [https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/themenfelder/tia.html?gclid=EAlaIQobChMIrbfdnnpZ9QIVld7lCh1YOwK1EAAAYASAAEgJZAfD\\_BwE](https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/themenfelder/tia.html?gclid=EAlaIQobChMIrbfdnnpZ9QIVld7lCh1YOwK1EAAAYASAAEgJZAfD_BwE)
- [105] *EKS RF::Suite*. [Online]. Available: <https://www.eks-intec.de/ef.html>
- [106] *FE Screen Sim*. [Online]. Available: <https://www.fescreen-sim.de/>
- [107] *ISG Virtuos*. [Online]. Available: <https://www.isg-stuttgart.de/de/isg-virtuos/isg-virtuos-3>
- [108] *Simit*. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109746429/simit-simulation-platform-overview?dti=0&lc=en-WW>
- [109] *WinMOD*. [Online]. Available: <https://www.winmod.de/de/>
- [110] *SAP ERP S4 HANA / PM / EAM*. [Online]. Available: <https://www.sap.com/germany/products/supply-chain-management/asset-management-eam.html>
- [111] *IBM EAM*. [Online]. Available: [https://www.ibm.com/de-de/topics/enterprise-asset-management?utm\\_content=SRCWW&p1=Search&p4=43700067988216441&p5=e&gclid=EAlaIQobChMIoPqqjOHq9QIVSo9oCR2PzwieEAAYAiAAEgJeU\\_D\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.ibm.com/de-de/topics/enterprise-asset-management?utm_content=SRCWW&p1=Search&p4=43700067988216441&p5=e&gclid=EAlaIQobChMIoPqqjOHq9QIVSo9oCR2PzwieEAAYAiAAEgJeU_D_BwE&gclsrc=aw.ds)
- [112] *Infor EAM*. [Online]. Available: <https://www.infor.com/solutions/eam>
- [113] *Palantir Impact*. [Online]. Available: <https://www.palantir.com/impact/>
- [114] *Siemens Mindsphere*. [Online]. Available: <https://siemens.mindsphere.io/de>
- [115] *Splunc Cloud Platform*. [Online]. Available: [https://www.splunk.com/en\\_us/platform/platform-operations-overview.html](https://www.splunk.com/en_us/platform/platform-operations-overview.html)
- [116] *Y42 Platform*. [Online]. Available: <https://www.y42.com/>
- [117] Rainer Drath, Michael John, and et al., “AutomationML Brochure: standardized data exchange in the engineering process of production systems,” 2021. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/download-archive/>
- [118] Nicole Schmidt and Arndt Lüder, “AutomationML in a Nutshell,” Nov. 2015. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [119] AutomationML e.V., “Part 1 – Architecture and General Requirements: Whitepaper AutomationML Edition 2.1,” 2018. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [120] AutomationML e.V., “Part 2 - Role class libraries: Whitepaper AutomationML,” 2014. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>

- [121] AutomationML e.V., “AutomationML Whitpaper OPCUA: OPC Unified Architecture Information Model for AutomationML,” Mar. 2016. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [122] AutomationML e.V., “Application Recommendation AR AAS: AAS Representation,” [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [123] R. Drath, Ed., *AutomationML: The industrial cookbook*. Berlin: De Gruyter, 2021. [Online]. Available: <https://www.degruyter.com/isbn/9783110745979##>, doi: 10.1515/9783110745979.
- [124] Plattform Industrie 4.0, “Details Of the Administration Shell - Part 1,” 2020.
- [125] OPC Foundation, “OPC Unified Architecture Part 5: Information Model,” 2017.
- [126] OPC Foundation, “OPC unified architecture Part 100: Devices,” vol. 2021, doi: 10.3403/BSEN62541.
- [127] OPC Foundation, “Companion Spec Guidelines,” 2021.
- [128] OPC Foundation, “OPC UA for Robotics Part 1: Vertical Integration,” vol. 2019.
- [129] eClass e.V., *EClass*. [Online]. Available: <https://eclass.eu/>
- [130] A. Fay *et al.*, *Abschlussbericht - SemAnz40: Vorhandene Standards als semantische Basis für die Anwendung von Industrie 4.0*. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität Universität der Bundeswehr Hamburg, 2017.
- [131] AutomationML e.V., „Interrelation of AAS and AutomationML,“ May. 2021. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [132] Rainer Drath, Christian Mosch, Stefan Hoppe, „Diskussionspapier – Interoperabilität mit der Verwaltungsschale, OPC UA und AutomationML: Zielbild und Handlungsempfehlungen für industrielle Interoperabilität,“ [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2023/04/Diskussionspapier-Zielbild-und-Handlungsempfehlungen-fur-industrielle-Interoperabilitat-5.3-protected.pdf>
- [133] Martin Eigner, “Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems,” in *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, and A. Alves, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 85–113, doi: 10.1007/978-3-319-38756-7\_4.
- [134] Angela Massonet, Raphael Kiesel, Robert H. Schmitt, “Reference Architectures for the Internet of Things,” *IEEE Softw.*, vol. 33, no. 1, pp. 112–116, 2016, doi: 10.1109/MS.2016.20.
- [135] M. Winkelmeier, „Anwenderhandbuch Instandhaltung FUB,“
- [136] HCL, “SAP Enterprise Asset Management, add-on for MRO 6.0 by HCL for SAP S/4HANA 2020 Feature Scope Document v1.0,” [Online]. Available: <https://help.sap.com/doc/5ba36b4f4a5a4704b3225dfd4a969e2b/6.0/en-US/SAP%20Enterprise%20Asset%20Management%20add-on%20for%20MRO%206.0%20by%20HCL%20for%20SAP%20S4HANA%202020%20Feature%20Scope%20Document%20v1.0.pdf>
- [137] Apache Software Foundation, *Kafka Documentation*. [Online]. Available: <https://kafka.apache.org/documentation/>
- [138] Carmen Listl, *Dissertation: Ableitung einer ganzheitlichen Transformationsstrategie zur Realisierung von Datendurchgängigkeit im Anlagenentstehungsprozess*, 2024.
- [139] D.-I. M. B. Dipl.-Logist., *Geschäftsobjekte für die Logistik: Erfolgsfaktor Standardisierung*. [Online]. Available: [https://www.ccl.fraunhofer.de/de/praxis/business\\_objects.html](https://www.ccl.fraunhofer.de/de/praxis/business_objects.html)

- 
- [140] A. Dietzsch, *Systematische Wiederverwendung in der Software-Entwicklung*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2002. [Online]. Available: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6302756>
- [141] PTC Inc., “KEPServerEX V6: User Manual,” 2022.
- [142] Inray Industrie GmbH, *OPC UA Router: OPC UA Client Plug-in*. [Online]. Available: <https://www.opc-router.de/>
- [143] L. Beňo, R. Pribiš, and R. Leskovský, “Processing data from OPC UA server by using Edge and Cloud computing,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 27, pp. 240–245, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.12.645.
- [144] Siemens Industry Online Support, „OPC UA-Zugriff auf S7-1200 PLC via modellierter OPC UA-Serverschnittstelle,“
- [145] *RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES: über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG*, European Commission, 2006.
- [146] AutomationML e.V., “Part 6 - AutomationML Component,” 2020. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [147] *DIN SPEC 16592*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [148] AutomationML e.V., “AutomationML - Provisioning for MES and ERP: Application Recommendation,” 2021. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [149] Bernhard Wally and et al., “2009 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation,”
- [150] AutomationML e.V., “Application Recommendation: Toolchain: Recommendations how to introduce AutomationML in industrial toolchains of manufacturing industries,” 2023. [Online]. Available: [https://www.automationml.org/wp-content/uploads/2023/06/AR\\_Toolchain.pdf](https://www.automationml.org/wp-content/uploads/2023/06/AR_Toolchain.pdf)
- [151] Industrial Digital Twin Association, *Homepage - AAS Submodel Templates: Registered AAS Submodel Templates*. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/content-hub/teilmodelle>
- [152] Plattform Industrie 4.0, “Submodel Templates of the Asset Administration Shell,” [Online]. Available: [https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/tree/main/published/ZVEI\\_Digital\\_Nameplate/1/0](https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/tree/main/published/ZVEI_Digital_Nameplate/1/0)
- [153] Roland Dunker, “Submodel: Maintenance: 1. Working Meeting,” 2022. [Online]. Available: <https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/tree/main/development/Maintenance/1/0>
- [154] Dr. Sebastian Käbisch, “W3C Web of Things & AAS,” 2022. [Online]. Available: [https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/blob/main/development/Asset%20Interface%20Description/1/0/2022\\_W3C\\_WOT\\_AASv3.pdf](https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/blob/main/development/Asset%20Interface%20Description/1/0/2022_W3C_WOT_AASv3.pdf)
- [155] AutomationML e.V., “ECLASS: Whitepaper AutomationML and ECLASS integration,” vol. 2021. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [156] *DIN EN 81346-1 Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung: Teil 1: Allgemeine Regeln (IEC 81346-1:2009); Deutsche Fassung EN 81346-1:2009*, Deutsche Norm, 2010.



- [157] *DIN EN 81346-2 Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung: Teil 2: Klassifizierung von Objekten und Kennbuchstaben für Klassen (IEC 81346-2:2019); Deutsche Fassung EN IEC 81346-2:2019*, Deutsche Norm, 2020.
- [158] AutomationML e.V., "Application Recommendations: Automation Project Configuration: AR APC, V 1.3.0," 2021. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>
- [159] AutomationML e.V., "Best Practice Recommendation: Units in AutomationML: Document Identifier: BPR Units, V 1.0.0," vol. 2018. [Online]. Available: <https://www.automationml.org/about-automationml/specifications/>

# Anhänge

## 10.1. Eingabemasken für Equipment - Daten

- Equipment Kopfdaten:

The screenshot shows the header data for an SAP Equipment record. It includes the following fields and values:

- Equipment: 1000000000000132
- Typ: E
- PM Equipment
- Bezeichnung: (empty)
- Status: ELAG
- Gültig ab: 31.03.2021
- Gültig bis: 31.12.9999

Abbildung 96: SAP Equipment Kopfdaten

- Allgemeine Daten

The screenshot shows the general data section for an SAP Equipment record. It includes the following fields and values:

- Klasse: (empty)
- Objektart: (empty)
- Inventarnummer: (empty)
- In Betrieb ab: (empty)
- Nutzungsenddat.: (empty)
- Schichtnotizart: (empty)

Abbildung 97: SAP Equipment Allgemeine Daten

- Standortdaten

The screenshot shows the location data section for an SAP Equipment record. It includes the following fields and values:

- Standortwerk: (empty)
- Standort: (empty)
- Raum: (empty)
- Betriebsbereich: (empty)
- ABC-Kennz.: (empty)
- Sortierfeld: (empty)

Abbildung 98: SAP Equipment Standortdaten

- Zuständigkeiten

The screenshot shows the responsibilities section for an SAP Equipment record. It includes the following fields and values:

- Planungswerk: (empty)
- Planergruppe: (empty)
- LeitarbPlatz: (empty) / (empty)
- Berichtsschema: (empty)

Abbildung 99: SAP Equipment Standortdaten

- **Kontierung**

Kontierung

Buchungskreis:	<input type="text"/>
GeschBereich:	<input type="text"/>
Kostenstelle:	<input type="text"/> / <input type="text"/>
Dauerauftrag:	<input type="text"/>

**Abbildung 100: SAP Equipment Kontierung**

- **Bezugsdaten**

Bezugsdaten

AnschaftWert:	<input type="text" value="0,00"/>	AnschaftDatum:	<input type="text"/>
---------------	-----------------------------------	----------------	----------------------

**Abbildung 101: SAP Equipment Bezugsdaten**

- **Herstellerdaten**

Herstelldaten

Hersteller:	<input type="text"/>	Herst. Land/Reg:	<input type="text"/>
Typbezeichng:	<input type="text"/>	Baujahr/-monat:	<input type="text"/> / <input type="text"/>
HerstTeilNr:	<input type="text"/>		
HerstSerialNr:	<input type="text"/>		

**Abbildung 102: SAP Equipment Herstellerdaten**

- **Dokumente**

Verknüpfte Dokumente

alle Versionen:   
Alle freigegeb. Vers.:   
Letzte Version:

Art	Dokument	LfVr	LfVr	Freigebe	Teil	Vs	Beschreibung	Status	Objekttext	L/B	Änderungsnr.	BGrp	Hr	D...
-----	----------	------	------	----------	------	----	--------------	--------	------------	-----	--------------	------	----	------

**Abbildung 103: SAP Equipment Dokumente**

- **Garantie**

**Lieferanten-/Herstellergarantie**

Garantiebeginn:	<input type="text"/>	GewährEnde:	<input type="text"/>
Mustergarantie:	<input type="text"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Garantie erben	<input checked="" type="checkbox"/> Garantievererb.		

**Abbildung 104: SAP Equipment Garantieinformationen**

- Seriennummer

**Allgemeines**

Material:	<input type="text" value="6563378"/>	SERVODOSIERER
Serialnummer:	<input type="text" value="1000000000000132"/>	
Letzte SerNr:	<input type="text" value="1000000000000167"/>	<input type="button" value="Historie"/>

**Abbildung 105: SAP Equipment Garantieinformationen**

**Bestandsinformation**

Bestandsart:	<input type="text" value="01"/>	Frei verwendbar	
Werk:	<input type="text" value="MU80"/>	BMW (UK) Manufacturing Ltd	Buchungskreis: <input type="text" value="MU"/>
Lagerort:	<input type="text" value="NC00"/>	Central WH NSM	
Bestandscharge:	<input type="text"/>	Stammcharge:	<input type="text"/>
Sonderbestand:	<input type="text"/>	Dat.I.Warenbew.:	<input type="text"/>
Kunde:	<input type="text"/>	Lieferant:	<input type="text"/>
Kundenauftrag:	<input type="text"/>	PSP-Element:	<input type="text"/>
Bestandseigent.:	<input type="text"/>		

**Abbildung 106: SAP Equipment Bestandsinformationen**

- Strukturinformationen (Einordnung Equipment in Technischen Platz)

### Strukturierung

Techn. Platz:

Bezeichnung:

Überg. Equip.:

Bezeichnung:

Position:

Tech.Identnr.:

Bautyp:

SERVODOSIERER

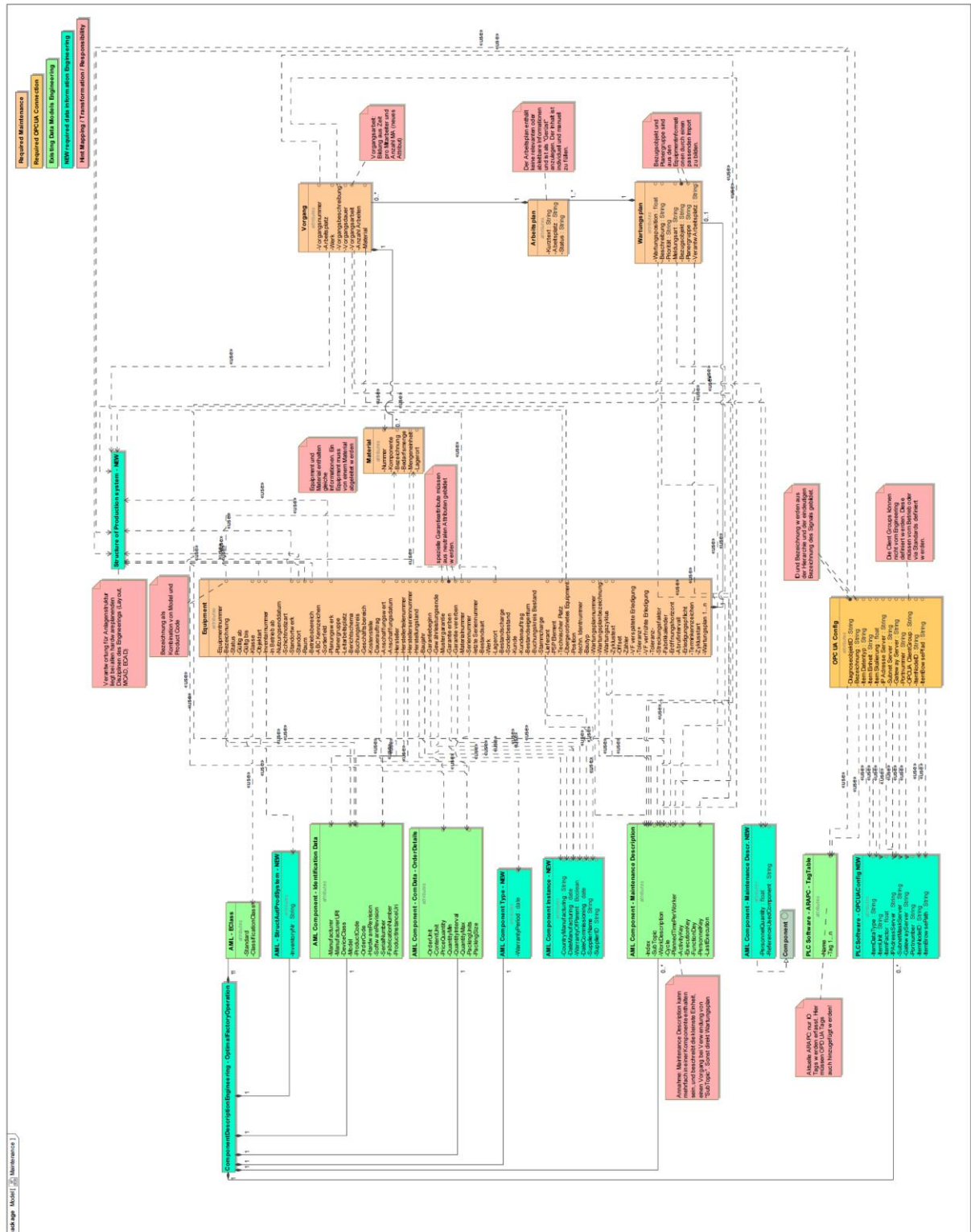
Abbildung 107: SAP Equipment Strukturierung

## 10.2. Tabelle Daten Instandhaltung inkl. Verantwortung und Abgleich

Anforderungen aus Instandhaltung				Datenverantwortung für diese Information		Bemerkung	Enthalten in normierten Modellen direkt
Attributname Tool	IH Prozess	List	Datentyp	Verantwortung Prozess	Verantwortung Tools		
Equipmentnummer	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		Mögliche automatische semantische Bildung auf Basis von Herstellerdaten oder einer von der Hierarchie abgeleiteten eindeutigen Bezeichnung (BMW Masterstring)	DIN EN 81346-1
Technischer Platz Nummer	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		Mögliche automatische semantische Bildung auf Basis von Herstellerdaten oder einer von der Hierarchie abgeleiteten eindeutigen Bezeichnung (BMW Masterstring)	DIN EN 81346-1
Bezeichnung	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung		Ableitung aus Hierarchie. (BMW Masterstring)	DIN EN 81346-1
Status	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt			
Gültig ab	Ersatzteilvers		date	Instandhaltung direkt			
Gültig bis	Ersatzteilvers		date	Instandhaltung direkt			
Klasse	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung ableitbar		Aktuell individuelle Klassen, aber in Zukunft anlehnung an Standards wie z.B. EClass	
Objektart	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung ableitbar		Aber eventuell Ableitbar aus Bezeichnung und Hierarchie	
Inventarnummer	Ersatzteilvers		string	Betriebswirtschaft			
In Betrieb ab	Ersatzteilvers		date	Gesamtdaten Planung		SOIP Datum der Anlage	
Nutzungsenddatum	Ersatzteilvers		date	Gesamtdaten Planung Engineering		zu erwartende Nutzung nur aus Sicht der Planung möglich	
Schichtnotizart	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt			
Standortwerk	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung ableitbar		aus Hierarchie ableitbar	DIN EN 81346-1
Standort	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung ableitbar		aus Hierarchie ableitbar	DIN EN 81346-1
Raum	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung ableitbar		aus Hierarchie ableitbar	DIN EN 81346-1
Betriebsbereich	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		aus Hierarchie ableitbar	DIN EN 81346-1
ABC Kennzeichen	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		Vorschlag könnte vom Hersteller kommen	
Sortierfeld	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		Individuelle Sortierkriterien	
Planungswerk	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung			
Planergruppe	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung			
Leitungsplatz	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		Work Center	
Bereichschema	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt		Formalisierte Meldung zur Auswahl (muss vorher angelegt sein)	
Buchungskreis	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt			
Geschäftsbereich	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung			
Kostenstelle	Ersatzteilvers		string	Betriebswirtschaft			
Dauerauftrag	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt			
Anschaffungswert	Ersatzteilvers		float	Betriebswirtschaft		ACHTUNG: Einheit! ACHTUNG: nur	AML Komponente / CDD / Eclass
Anschaffungsdatum	Ersatzteilvers		date	Betriebswirtschaft			
Hersteller	Ersatzteilvers		string	Komponentenbereitstellung			AML Komponente / CDD
Typbezeichnung	Ersatzteilvers		string	Komponentenbereitstellung			AML Komponente / CDD
Herstellerteilenummer	Ersatzteilvers		string	Komponentenbereitstellung			AML Komponente / CDD
Herstellerserienummer	Ersatzteilvers		string	Komponentenbereitstellung			AML Komponente / CDD
Herstellungsland	Ersatzteilvers		string	Komponentenbereitstellung			AML Komponente / CDD
Baujahr	Ersatzteilvers		date	mech. Konstruktion			
Garantiebeginn	Ersatzteilvers		date	Gesamtdaten Planung		Abnahmedatum der Anlage	
Gewährleistungsende	Ersatzteilvers		date	Gesamtdaten Planung			
Mustergarantie	Ersatzteilvers		bool	Komponentenbereitstellung			
Garantie erben	Ersatzteilvers		bool	Komponentenbereitstellung			
Garantie vererben	Ersatzteilvers		bool	Komponentenbereitstellung			
Materialnummer	Ersatzteilvers		float	mech. Konstruktion			
Seriennummer	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt			AML Komponente / CDD
letzte Seriennummer	Ersatzteilvers		string	Instandhaltung direkt	Vorgänger		AML Komponente / CDD
Bestandsart	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Werk	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt		aus Hierarchie ableitbar	DIN EN 81346-1
Lagerort	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Bestandscharge	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			

Anforderungen aus Instandhaltung				Datenverantwortung für diese Information		Bemerkung	Enthalten in normierten Modellen
Attributname Tool	IH Prozess	List	Datentyp	Verantwortung Prozess	Verantwortung Tools		
Sonderbestand	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Kunde	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Kundenauftrag	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Bestandsseigentum	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Buchungskreis Bestand	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Stammcharge	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Lieferant	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt		ACHTUNG: Lieferant, nicht Hersteller!	
PSP Element	Ersatzteilvers	Ja	string	Instandhaltung direkt			
Technischer Platz	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung	Struktur		
Übergeordnetes Equipment	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung	Struktur		
Position	Ersatzteilvers		string	Gesamtdaten Planung		Positionsnummer	
Technische Identnummer	Ersatzteilvers		string	mech. Konstruktion			
Bautyp	Ersatzteilvers		string	mech. Konstruktion		gleich dem Material	
Wartungsplannummer	Wartung		string	Instandhaltung direkt		evtl. generierbar? Semantik: Masterstring	
Wartungsplanbezeichnung	Wartung		string	Instandhaltung direkt		evtl. generierbar? Semantik: Masterstring	
Wartungszyklus	Wartung		date	Komponentenbereitstellung			
Zyklusstart	Wartung		string	Instandhaltung ableitbar		Freitext für Zyklus (z.B. "jährlich")	
Offset	Wartung		date	Instandhaltung direkt			
Zähler	Wartung		float	Instandhaltung direkt			
VF verspätete Erledigung	Wartung		float	Instandhaltung direkt		VF = Verschiebungsfaktor in %	
Toleranz +	Wartung		float	Instandhaltung direkt		in %	
VF verfrühte Erledigung	Wartung		float	Instandhaltung direkt		in %	
Toleranz -	Wartung		float	Instandhaltung direkt		in %	
Streckungsfaktor	Wartung		float	Instandhaltung direkt		in %	
Fabrikkalender	Wartung		string	Instandhaltung ableitbar		in Standards fest zu definieren	
Eröffnungszeitpunkt	Wartung		float	Instandhaltung direkt		in Prozent, ab wann Auftrag gestartet	
Abrufintervall	Wartung		date	Komponentenbereitstellung		Herstellerangabe	
Erledigungspflicht	Wartung		bool	Komponentenbereitstellung		Herstellerangabe	
Terminkeineintrag	Wartung		date	Instandhaltung ableitbar		Zeit, Zeit Stichtag, Zeit Fabrikkalender, fest in Standards zu definieren	
Zyklusstart	Wartung		date	Instandhaltung direkt			
Wartungsplan [1..n]	Wartung	Ja		Gesamtdaten Planung		Array von Wartungsplänen	
>Wartungsposition	Wartung		float	Instandhaltung direkt		Automatische Vergabe	
>Beschreibung	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>Priorität	Wartung			Instandhaltung direkt			
>Meldungsart	Wartung			Instandhaltung direkt			
>Bezugsobjekt	Wartung			Gesamtdaten Planung		Das EQUI auf das sich der Wartungsplan	
>Planergruppe	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>Verantwortungsplatz	Wartung			Instandhaltung direkt			
>Arbeitsplan [1..n]	Wartung	Ja		Gesamtdaten Planung Engineering		Array von Arbeitsplänen an einer Wartungsposition	
>> Kurztex	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>> Arbeitsplatz	Wartung			Instandhaltung direkt			
>> Status	Wartung			Instandhaltung direkt		Status des Arbeitsplans, z.B. Freigegeben	
>> Wartungsstrategie	Wartung			Instandhaltung direkt		Oder auch Herstellerangabe??? Rechtliche	
>> Vorgang [1..n]	Wartung	Ja		Gesamtdaten Planung			
>>> Vorgangsnummer	Wartung			Instandhaltung direkt			
>>> Arbeitsplatz	Wartung			Instandhaltung direkt			
>>> Werk	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>>> Vorgangsbeschreibung	Wartung			Gesamtdaten Planung		z.B. "Öl ablassen"	
>>> Vorgangsdauer	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>>> Vorgangsarbeit	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>>> Anzahl Arbeiten	Wartung			Gesamtdaten Planung			
>>> Material [1..n]	Ersatzteilvers			Gesamtdaten Planung		verwendetes Material für den Vorgang	
>>>> Komponente	Ersatzteilvers			Gesamtdaten Planung			
>>>> Bezeichnung	Ersatzteilvers			Gesamtdaten Planung			
>>>> Bedarfsmenge	Ersatzteilvers			Gesamtdaten Planung			
>>>> Mengeneinheit	Ersatzteilvers			Gesamtdaten Planung			
>>>> Lagerort	Ersatzteilvers			Instandhaltung direkt			
DiagnoseobjektID	Predictive			el. Konstruktion			
Bezeichnung	Predictive			el. Konstruktion			
Item Datentyp	Predictive			el. Konstruktion			
Item Einheit	Predictive			el. Konstruktion			
Hierarchieinformationen	Predictive			Gesamtdaten Planung Engineering		Muss die Strukturierung des realweltlichen Objekts enthalten >> BMW Masterstring	DIN EN 81346-1
IP Adresse Server	Predictive			el. Konstruktion			
Subnet Server	Predictive			el. Konstruktion			
Gateway Server	Predictive			el. Konstruktion			
PortNumber	Predictive			el. Konstruktion			
ServerCertificate	Predictive			el. Konstruktion			
OPCUAClientGroup	Predictive			el. Konstruktion			
Item NodeID	Predictive			el. Konstruktion			
Item Browse Pfad	Predictive			el. Konstruktion			

# 10.3. UML Diagramm Datenmodelle und Mapping



## 10.4. Beispiel - Instandhaltungsspezifische Rollenklassen mit Mappingregeln in der Ref. Semantic

```
<RoleClass
  Name="Maint_Equipment"                                xmlns="http://www.dke.de/CAEX">
  <Attribute
    Name="Equipmentnummer"
    AttributeDataType="xs:string"                       />
  <Attribute
    Name="Bezeichnung"
    AttributeDataType="xs:string">
    <RefSemantic
      CorrespondingAttributePath="#VERKETTEN(AutomationComponent:IdentificationData:Model;AutomationCo
mponent:IdentificationData:ProductCode)"               />
    </Attribute>
  <Attribute
    Name="Status"
    AttributeDataType="xs:string"                       />
  <Attribute
    Name="GueltigAb"
    AttributeDataType="xs:string"                       />
  <Attribute
    Name="GueltigBis"
    AttributeDataType="xs:string"                       />
  <Attribute
    Name="Klasse"
    AttributeDataType="xs:string">
    <RefSemantic
      CorrespondingAttributePath="#VERKETTEN(eClassClassSpecification:Standard;eClassClassSpecification:Cl
assificationClass)"                                   />
    </Attribute>
  <Attribute
    Name="Objektart"
    AttributeDataType="xs:string">
    <RefSemantic
      CorrespondingAttributePath="#TEIL([InstanceHierarchy.ParentElement.Name],1,2) // die ersten beiden
Zeichen des Namens des Elternelements in der Instance Hierarchy" />
    </Attribute>
  <Attribute
    Name="Inventarnummer"
    AttributeDataType="xs:string">
    <RefSemantic
      CorrespondingAttributePath="#StructProdSystemAdvanced:InventoryNr" />
    </Attribute>
  <Attribute
    Name="InBetriebAb"
    AttributeDataType="xs:string"                       />
  <Attribute
    Name="Nutzungsenddatum"
    AttributeDataType="xs:string"                       />
  <Attribute
    Name="Schichtnotizart"
```



```
AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Standortwerk"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#[SEARCH(InstanceHierarchy;RollClass;EQUAL;Site].Name // Name des
Elements in der Instance Hierarchy mit der Rollen &quot;Site&quot;" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Standort"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#TEIL([SEARCH(InstanceHierarchy;RollClass;EQUAL;Site].Name,1,2) // erste
beiden Zeichen des Namens des Elements in der Instance Hierarchy mit der Rollen &quot;Site&quot;" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Raum"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#[SEARCH(InstanceHierarchy;RollClass;EQUAL;Area].Name // Name des
Elements in der Instance Hierarchy mit der Rollen &quot;Area&quot;" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Betriebsbereich"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#[SEARCH(InstanceHierarchy;RollClass;EQUAL;Area].Name // Name des
Elements in der Instance Hierarchy mit der Rollen &quot;Area&quot;" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="ABDKennzeichen"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Sortierfeld"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Planungswerk"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#[SEARCH(InstanceHierarchy;RollClass;EQUAL;Site].Name // Name des
Elements in der Instance Hierarchy mit der Rollen &quot;Site&quot;" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Planergruppe"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Leitarbeitsplatz"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Berichtschema"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Buchungskreis"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Geschaeftsbereich"
```

```
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Kostenstelle"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Dauerauftrag"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Anschaffungswert"
    AttributeDataType="xs:string">
    <RefSemantic
      CorrespondingAttributePath="#AutomationComponent.CommercialData.ProductOrderDetails.PriceQuantity"
    />
  />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Anschaffungsdatum"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Hersteller"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#AutomationComponent.IdentificationData.Manufacturer" />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Herstellerteilenummer"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#AutomationComponent.IdentificationData.ProductCode" />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Herstellerseriennummer"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#AutomationComponent.IdentificationData.SerialNumber" />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Herstellungsland"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#Comp_InstanceInformationAdvance.CountryManufacturing" />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Baujahr"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#Comp_InstanceInformationAdvance.DateManufacturing" />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Garantiebeginn"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#Comp_InstanceInformationAdvance.DateCommissioning" />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Gewaehrleistungsende"
  AttributeDataType="xs:string">
```

```
<RefSemantic
  CorrespondingAttributePath="#Comp_InstanceInformationAdvance.DateCommissioning      +
Comp_TypeInformationAdvance.WarrantyPeriod"                                       />
</Attribute>
<Attribute
  Name="Mustergarantie"                                                            />
  AttributeDataType="xs:string"
</Attribute>
<Attribute
  Name="GarantieErben"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#Comp_InstanceInformationAdvance.WarrantyOfParent" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="GarantieVererben"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#NOT(Comp_InstanceInformationAdvance.WarrantyOfParent)" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Materialnummer"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Seriennummer"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#AutomationComponent.IdentificationData.SerialNumber" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="letzteSeriennummer"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Bestandsart"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Werk"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Lagerort"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Bestandscharge"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Sonderbestand"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Kunde"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Kundenauftrag"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
<Attribute
  Name="Bestandseigentum"
  AttributeDataType="xs:string"
  />
</Attribute>
```

```
Name="BuchungskreisBestand"
AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Stammcharge"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Lieferant"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#VERKETTEN(Comp_InstanceInformationAdvanced.SupplierName;Comp_InstanceInformationAdvanced.SupplierID)" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="PSPElement"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="TechnischerPlatz"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="UebergeordnetesEQUI"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Position"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="technIdentnummer"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Bautyp"
  AttributeDataType="xs:string" />
<Attribute
  Name="Wartungsplannummer"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#MaintenanceDescriptionItem.Index" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Wartungsplanbezeichnung"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#MaintenanceDescriptionItem.SubTopic" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Wartungszyklus"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#MaintenanceDescriptionItem.Cycle" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Zyklustext"
  AttributeDataType="xs:string">
  <RefSemantic
    CorrespondingAttributePath="#MaintenanceDescriptionItem.Cycle" />
  </Attribute>
<Attribute
  Name="Offset"
```

```
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Zaehler"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="VFverspErledigung"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="ToleranzPlus"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="VFverfrErledigung"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="ToleranzMinus"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Streckungsfaktor"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Fabrikkalender"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Eroeffnungshorizont"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Abrufintervall"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Erledigungspflicht"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Terminkennzeichen"
    AttributeDataType="xs:string" />
  <Attribute
    Name="Zyklusstart"
    AttributeDataType="xs:string" />
</RoleClass>
```

## 10.5. Rollenklassen New in AML Editor

```
▲ [RC] Maint_Additional_Informtaion_Eng_RCL
  [RC] OPCUA_Config (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Comp_MaintDescriptionAdvanced (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Comp_InstanceInformationAdvanced (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Comp_TypeInformationAdvanced (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] StructProdSystemAdvanced (Class: AutomationMLBaseRole )
▲ [RC] Maint_specific_RCL
  [RC] Maint_TechPlatz (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Maint_Equipment (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Maint_Wartungsplan (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Maint_Arbeitsplan (Class: AutomationMLBaseRole )
  [RC] Maint_Vorgang (Class: AutomationMLBaseRole )
```