

**Modularisiertes und standardisiertes Vorgehen in der Auslegung von  
Montageanlagen hinsichtlich der Maschinendatennutzung auf Basis des  
digitalen Zwillings**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur**

**(Dr.-Ing.)**

Von M.Sc. Robert Werner

geb. am 12.11.1993 in Hamm (Westf.)

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

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Arndt Lüder

Prof. Dr.-Ing. Andreas Scholz

Promotionskolloquium am 13.12.2024

Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

## Ehrenerklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die Hilfe eines kommerziellen Promotionsberaters habe ich nicht in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Verwendete fremde und eigene Quellen sind als solche kenntlich gemacht. Ich habe insbesondere nicht wissentlich:

- Ergebnisse erfunden oder widersprüchliche Ergebnisse verschwiegen,
- statistische Verfahren absichtlich missbraucht, um Daten in ungerechtfertigter Weise zu interpretieren,
- fremde Ergebnisse oder Veröffentlichungen plagiiert,
- fremde Forschungsergebnisse verzerrt wiedergegeben

Mir ist bekannt, dass Verstöße gegen das Urheberrecht Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche des Urhebers sowie eine strafrechtliche Ahndung durch die Strafverfolgungsbehörden begründen kann.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Dissertation ggf. mit Mitteln der elektronischen Datenverarbeitung auf Plagiate überprüft werden kann.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form als Dissertation eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Köln 27.08.2024

Robert Werner



## Zusammenfassung

Die Automobilindustrie steht vor großen Herausforderungen. Eine steigende Anzahl Wettbewerber in einem sich wandelnden Markt hin zu alternativen Antriebskonzepten üben einen Kostendruck auf etablierte Automobilkonzerne aus. Damit einhergehend wächst die Produktpalette, um den wachsenden Kundenanforderungen gerecht zu werden. Die Produktion steht vor der Aufgabe Kosten zu reduzieren und gleichzeitig in neue Produktionsanlagen und -prozesse zu investieren, um eine steigende Variantenvielfalt und neue Antriebstechnologien abdecken zu können. Diesen gegenläufigen Anforderungen wird mit einer steigenden Automatisierung, flexiblen Strukturen und anpassungsfähigen Produktionsanlagen begegnet.

Aufgrund dieser Veränderungen steigt sowohl die Menge an erzeugten Daten als auch die Anzahl an Anwendungsfällen, die eine strukturierte Datenbasis benötigen. Mit diesem Handlungsfeld befasst sich die Industrie 4.0. Physische Anlagen und alle die Anlage betreffenden Daten, sowohl statische als auch dynamische Daten, müssen strukturiert und zugänglich gemacht werden.

Der erste Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Frage inwieweit Datenstruktur, -ablage und -zugang in der Theorie und in der Praxis berücksichtigt und umgesetzt werden. Dafür wird eine Literaturrecherche zu bestehenden Normen und Referenzarchitekturen durchgeführt und ein Defizit in der aktuellen theoretischen Landschaft von Datenstandards aufgezeigt. Außerdem werden aktuelle Datenstandards in der automobilen Montage untersucht. Auch hier weist der Umgang mit Anlagendokumentationen, Wartungsplänen, Laufzeitdaten und weiteren Datenarten ein Defizit auf.

Eine mögliche Lösung auf die Defizite zu reagieren ist die Nutzung eines neuen Industrie 4.0 Ansatzes, der Verwaltungsschale. Diese soll als *Umsetzung des digitalen Zwillings* die Produktionsanlage virtuell repräsentieren und den Anwendungsfällen Zugang zu benötigten Daten ermöglichen. In einem zweiten Teil der Arbeit wird die Verwaltungsschale im Detail untersucht und aktuelle Ansätze zur Implementierung und Umsetzung in der Industrie analysiert. Da kein Ansatz die spezifischen Anforderungen einer automobilen Montage abdeckt, wird eine neue Methodik vorgestellt, um eine Verwaltungsschalenstruktur in der Montage umzusetzen. Dabei wird die Verwaltungsschale mit einem weiteren Konzept kombiniert, um neben der Anlage auch das Produkt und den Prozess datenseitig abzudecken. Abschließend wird die Methodik prototypisch anhand einer Pilotanlage angewendet und kritisch bewertet.



## Abstract

The automotive industry is facing major challenges. An increasing number of competitors in a changing market towards alternative drive concepts are exerting cost pressure on established automotive groups. At the same time, the product range is growing in order to meet increasing customer requirements. Production is faced with the task of reducing costs and at the same time investing in new production facilities and processes in order to be able to cover an increasing number of variants and new drive technologies. These conflicting requirements are being met with increasing automation, flexible structures and adaptable production systems.

As a result of these changes, both the amount of data generated and the amount of use cases that require a structured database are increasing. Industry 4.0 deals with this field of action. Physical plants and all data relating to the plant, both static and dynamic data, must be structured and made accessible.

The first part of this thesis deals with the question of the extent to which data structure, storage and access are considered and implemented in theory and in practice. To this end, a literature review of existing standards and reference architectures is carried out and a deficit in the current theoretical landscape of data standards is identified. Current data standards in automotive assembly are also examined. Here, too, the handling of plant documentation, maintenance schedules, runtime data and other types of data shows a deficit.

One possible solution to the deficits is the use of a new Industry 4.0 approach, the asset administration shell. As an *implementation of the digital twin*, this should virtually represent the production plant and give the use cases access to the required data. In a second part of the thesis, the asset administration shell is examined in detail and current approaches to implementation and realization in the industry are analyzed. Since no approach covers the specific requirements of automotive assembly, a new methodology is presented for implementing an asset administration shell structure in assembly. The asset administration shell is combined with another concept in order to cover not only the plant but also the product and the process on the data side. Finally, the methodology is applied prototypically using a pilot plant and critically evaluated.



# Inhaltsverzeichnis

Ehrenerklärung .....	II
Zusammenfassung .....	IV
Abstract .....	VI
Inhaltsverzeichnis .....	VIII
Abbildungsverzeichnis .....	XI
Tabellenverzeichnis .....	XV
Abkürzungsverzeichnis .....	XVI
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
1.3 Struktur der Arbeit .....	4
2 Theoretischer Bezugsrahmen .....	7
2.1 Produktionsanlagen in der Automobilindustrie .....	7
2.1.1 Produktstruktur und Produktionssystemstruktur .....	7
2.1.2 Merkmale automobiler Montage .....	9
2.1.3 Anlagenentwurf – Engineering Prozess .....	11
2.2 Grundlagen einer Methodik und relevante Methoden .....	15
2.2.1 Theoretischer Rahmen einer Methodik .....	15
2.2.2 Relevante Methoden .....	16
3 Datenbasis von Montageanlagen .....	19
3.1 Wissensmanagement im Unternehmen .....	19
3.2 Stand der Technik - Datenstandards von Montageanlagen .....	21
3.2.1 Anforderungen an Literatur der Datenstandards .....	22
3.2.2 Referenzarchitekturen zu Datenstandards .....	23
3.2.3 Normen zu Datenstandards .....	28
3.3 Datenlage im Anlagenengineering der Montage eines OEM .....	33
3.4 Forschungsbedarf .....	42
3.4.1 Offene Forschungslücke zu anwendbaren Datenreferenzstrukturen einer Montageanlage .....	42
3.4.2 Weiterführende Forschungsfrage .....	43

---

4	Grundlagen und Stand der Technik der Verwaltungsschale.....	45
4.1	Industrie 4.0.....	45
4.2	Cyber-physische Produktionssysteme .....	47
4.3	Digitaler Zwilling .....	49
4.4	Informationsmodellierung.....	50
4.5	Verwaltungsschale.....	53
4.5.1	Entwicklung .....	53
4.5.2	Industrie 4.0-Komponente.....	55
4.5.3	Aufbau Verwaltungsschale .....	56
4.5.4	Abgrenzung zu AutomationML und OPC UA .....	65
4.6	Stand der Technik - Implementierung Verwaltungsschale.....	69
4.7	Forschungslücke .....	74
5	Entwurf einer Methodik zur Implementierung der Verwaltungsschale .....	76
5.1	Anforderungen an Implementierungsansatz .....	76
5.2	Vorgehensmethodik - Verwaltungsschalenimplementierung .....	77
6	Detaillierung Methodik zur Implementierung der Verwaltungsschale.....	79
6.1	Identifikation der Use Cases und Daten.....	79
6.1.1	Identifikation und Auswahl der Use Cases.....	79
6.1.2	Identifikation und Auswahl der Daten.....	82
6.2	Struktur der Verwaltungsschale .....	85
6.2.1	Strukturierung der Granularität .....	86
6.2.2	Strukturierung nach PPR.....	87
6.3	Modellieren der Daten im Metamodell.....	94
6.3.1	Abgleich mit bestehenden Submodellen .....	95
6.3.2	Modellierung der Daten .....	96
6.3.3	Integration in die IT-Landschaft .....	100
6.4	Rahmenwerk für die Methodik .....	101
7	Methodenvalidierung anhand eines prototypischen Beispiels .....	103
7.1	Automatisches Setzen der Clipse im Dachrahmen .....	103
7.2	Identifikation Use Cases und Daten.....	107
7.3	Struktur der Verwaltungsschale .....	111
7.4	Modellieren der Daten im Metamodell.....	114

---

7.5	Zusammenfassung des Validierungsprojektes.....	122
8	Fazit und Ausblick.....	124
8.1	Zusammenfassung der Problemstellung und Vorgehensweise der Arbeit...	124
8.2	Methodenkritik und Fazit aus der Validierung .....	125
8.3	Wissenschaftlicher Beitrag.....	126
8.4	Ausblick und zukünftige Forschung .....	127
9	Literaturverzeichnis.....	129
10	Anhang .....	143

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit in Anlehnung an die Phasen der angewandten Forschung nach (Ulrich, Dyllick & Probst, 1984) .....	4
Abbildung 2: Fahrzeug Produktstruktur nach (Löffler, 2011) .....	8
Abbildung 3: Produktionssystemstruktur nach (Lüder et al., 2017a).....	9
Abbildung 4: Mögliche Struktur einer Montage (Kern, 2022) .....	10
Abbildung 5: Produktentwicklungsprozess nach (Resch & Weber, 2016).....	11
Abbildung 6: Produktentstehungsprozess nach (VDI 2221; Westkämper & Decker, 2006).....	12
Abbildung 7: V-Modell nach VDI 2206 (VDI/VDE 2206; Ponn & Lindemann, 2011) ....	13
Abbildung 8: Münchener Vorgehensmodell nach (Lindemann, 2009) .....	14
Abbildung 9: Beschreibung theoretischer Rahmen einer Methodik nach (Eigner, 2021).....	16
Abbildung 10: Daten, Wissen und Informationen Reifegradmodell (Alternative Darstellung angelehnt an (Lüder et al., 2023)) .....	20
Abbildung 11: Elemente des Wissensmanagements nach (Probst et al., 2006).....	21
Abbildung 12: RAMI 4.0 Würfel nach (DIN SPEC 91345) .....	24
Abbildung 13: CP-Einordnung von Assets nach (DIN SPEC 91345).....	25
Abbildung 14: IIRA nach (Weber et al., 2018) .....	26
Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung des Internet of Production- Referenzarchitektur nach (Schuh et al., 2022) .....	28
Abbildung 16: Dateistruktur nach (VDI 2770) .....	30
Abbildung 17: Zehn Schritte eines Experteninterviews nach (Kaiser, 2021).....	34
Abbildung 18: Generierte Daten aus den Experteninterviews .....	37
Abbildung 19: Ergebnisse zusammengefasst aus den Experteninterviews .....	40
Abbildung 20: Leitbild 2030 für Industrie 4.0 nach (Plattform Industrie 4.0, 2019) .....	46
Abbildung 21: CPS in Anlehnung an (Pistorius, 2020) .....	48
Abbildung 22: CPPS in Anlehnung an (Roth et al., 2016) .....	49
Abbildung 23: Diagramme der Unified Modeling Language nach (Alpar et al., 2023).....	51
Abbildung 24: Klassendiagramm nach UML-Standard.....	52
Abbildung 25: Einordnung in den RAMI 4.0 Würfel nach (Plattform Industrie 4.0, 2017a).....	53

---

Abbildung 26: Visualisierung einer I4.0-Komponente .....	55
Abbildung 27: Mögliche Varianten der Organisation von Verwaltungsschalen .....	56
Abbildung 28: Abstrahiertes Metamodell der Verwaltungsschale nach (Plattform Industrie 4.0, 2020a) .....	58
Abbildung 29: Drei Varianten der Kommunikation von Verwaltungsschalen nach (Plattform Industrie 4.0, 2020b) .....	59
Abbildung 30: Submodelle basierend auf bestehenden Normen nach (Plattform Industrie 4.0, 2016b) .....	60
Abbildung 31: Sichten und Merkmale einer Verwaltungsschale nach (Plattform Industrie 4.0, 2016b) .....	61
Abbildung 32: Mögliche Identifikatoren für Verwaltungsschalen (Plattform Industrie 4.0, 2016b).....	62
Abbildung 33: Oberfläche zur Erstellung von Verwaltungsschalen im AASX Package Explorer.....	63
Abbildung 34: Interaktionsmodell zwischen Verwaltungsschalen nach (Plattform Industrie 4.0, 2016c) .....	65
Abbildung 35: Integration von AML in die Verwaltungsschale nach (Hundt et al., 2022).....	67
Abbildung 36: Darstellung Kombination Verwaltungsschale, AML und OPC UA nach (Drath, 2021) .....	68
Abbildung 37: Integration AutomationML, OPC UA und Verwaltungsschale nach (Lüder, Schleipen et al., 2024) .....	69
Abbildung 38: Modell zur Erstellung von Verwaltungsschalen nach (Siewert et al., 2023).....	71
Abbildung 39: Abbildung zum dreistufigen Vorgehen nach (Seif et al., 2019) .....	73
Abbildung 40: Methodik zum Aufbau einer Verwaltungsschale in der Automobilmontage .....	77
Abbildung 41: Identifikation Use Case .....	80
Abbildung 42: Zustand von Daten- und Systemnutzen nach (VDI/VDE 3695).....	82
Abbildung 43: Beschaffung benötigter Daten .....	83
Abbildung 44: Granularität der Verwaltungsschalen.....	86
Abbildung 45: Datenebenen nach (Lüder et al., 2017b) .....	87
Abbildung 46: PPR Schaubild nach (Lüder, 2020) .....	88
Abbildung 47: Abbildung eines PPR-Modells für eine Montagestation mit einem Roboter und Fördertechnik.....	89

Abbildung 48: PPR-Ansatz mit Verwaltungsschalen .....	90
Abbildung 49: Asset Administration Shell einer Anlage .....	91
Abbildung 50: Human Administration Shell nach (Assadi et al., 2020) .....	92
Abbildung 51: Product Administration Shell .....	93
Abbildung 52: Process Administration Shell (Abbildung angelehnt an (Plattform Industrie 4.0, 2017a)) .....	94
Abbildung 53: Prozess zur Erstellung von Submodellen der IDTA .....	96
Abbildung 54: Beispiel: Anlage einer Verwaltungsschale im AASX Package Explorer .....	97
Abbildung 55: Übersicht PPR mit Schalen .....	98
Abbildung 56: Verwaltungsschalen Typ und Instanz (Plattform Industrie 4.0, 2020b).....	99
Abbildung 57: Zu definierende Architektur grob vereinfacht .....	100
Abbildung 58: Prototypische Realisierung Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA nach (Lüder, Blume et al., 2024).....	101
Abbildung 59: Übersicht der Anlage für ein automatisches Setzen von Clipsen im Dachrahmen .....	103
Abbildung 60: Rechte Seite Roboter der Anlage .....	104
Abbildung 61: Setzwerkzeug am Roboter .....	104
Abbildung 62: Kamerasystem am Roboter .....	105
Abbildung 63: Übersicht Vereinzelungs- und Bestückungsanlage.....	105
Abbildung 64: Steuerung der Vereinzelungsanlage .....	106
Abbildung 65: Beispiel für aktuelle Prozessdatenauswertung .....	108
Abbildung 66: Schematische Darstellung der Ablage der Anlagendokumentation im PLM-System.....	110
Abbildung 67: Auszug Prozessdaten des Prozesses Clipse Dachrahmen .....	110
Abbildung 68: Auszug der Systeme der Instandhaltung .....	111
Abbildung 69: PPR der Anlage Clipse Dachrahmen .....	112
Abbildung 70: Datenebenen für den zu validierenden Anwendungsfall .....	113
Abbildung 71: Übersicht Use Cases auf PPR-Schalen aufgeteilt .....	114
Abbildung 72: Übersicht Metamodell Asset Administration Shell (detailliert inklusive Attribute in Anhang B).....	115
Abbildung 73: Asset Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang F) .....	116

---

Abbildung 74: Übersicht Metamodell Human Administration Shell (detailliert inklusive Attribute in Anhang C) .....	117
Abbildung 75: Human Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang G) .....	118
Abbildung 76: Übersicht Metamodell Product Administration Shell (inklusive Attribute in Anhang D).....	118
Abbildung 77: Product Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang H).....	119
Abbildung 78: Übersicht Metamodell Process Administration Shell (detailliert inklusive Attribute in Anhang E).....	120
Abbildung 79: Process Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang I) .....	120
Abbildung 80: Geplante Zielarchitektur Industrieunternehmen Validierungsprojekt ...	121
Abbildung 81: Erfüllungsgrad Methodik im Validierungsprojekt .....	122

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorien der Dokumente nach (VDI 2770).....	29
Tabelle 2: Bewertung bestehender Literatur zur Datenablage.....	33
Tabelle 3: Use Cases von cyber-physischen Systemen.....	47
Tabelle 4: Bewertung Stand der Technik Implementierung Verwaltungsschale.....	74
Tabelle 5: Use Cases in der Produktion angelehnt an (Plattform Industrie 4.0, 2017a).....	81
Tabelle 6: Identifizierte Daten der Pilotanlage .....	109

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
AAS	Asset Administration Shell
AI	Artificial Intelligence
AML	AutomationML
API	Application Programming Interface
BEMI	Betriebsmittel
CAE	Computer-Aided Engineering Data
CAX	Computer-Aided x
CM	Condition Monitoring
CPPS	Cyber-physisches Produktionssystem
CPS	Cyber-physisches System
CRM	Customer-Relationship-Management-System
CSV	Comma-separated values
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
ERM	Entity-Relationship-Modelle
ERP	Enterprise Resource Planning
Et al.	Et alii, et aliae, et alia (Bedeutung: und andere)
FMEA	Failure Mode and Effects Analyses
GUID	Globally Unique Identifier
HAS	Human Administration Shell
I4.0	Industrie 4.0
ID	Identifikator
IDRI	International Registration Data Identifier

IDTA	Industrial Digital Twin Association e.V.
i.O.	In Ordnung
IRI	Internationalized Resource Identifier
ISO	Internationale Organisation für Normung
JSON	JavaScript Object
KI	Künstliche Intelligenz
KISS	keep it simple, stupid
KPI	Key Performance Indicators
MBSE	Model Based Systems Engineering
MES	Manufacturing Execution Systems
MQTT	MQ Telemetry Transport
n.i.O.	Nicht in Ordnung
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PcAS	Prozess Administration Shell
PLM	Product Lifecycle Management
PM	Predictive Maintenance
PPR	Produkt, Prozess, Ressource
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PtAS	Product Administration Shell
RFID	Radio Frequency Identification
SPOT	Single Point of Truth
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UI	User Interface
UML	Unified Modeling Language

---

URI	Uniform Resource Identifier
VASS	VolkswagenAudiSeatSkoda
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
vIBN	virtuelle Inbetriebnahme
XML	Extensible Markup Language
ZBM	Zentrales Betriebsmittelmanagement
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V.

# 1 Einleitung

Das einleitende Kapitel beinhaltet Motivation, Zielsetzung und Struktur dieser Arbeit. Die Motivation befasst sich mit aktuellen Herausforderungen in der Automobilindustrie und den damit verbundenen Digitalisierungsstrategien. In der Zielsetzung wird eine allgemeine Forschungsfrage abgeleitet, die sich mit der Frage beschäftigt, ob aktuelle Digitalisierungsansätze den angesprochenen Herausforderungen genügen. Abschließend wird ein Überblick über die Struktur der Arbeit gegeben.

## 1.1 Motivation

*„Daten sind zentrale Innovationstreiber des 21. Jahrhunderts.“*

(Büttner-Thiel et al., 2022)

Die Regierung der Bundesrepublik Deutschland hat in ihrem Koalitionsvertrag 2022 entschieden ein Dateninstitut zu schaffen und die Verfügbarkeit sowie Standardisierung von Daten zu fördern. Laut einer Veröffentlichung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gemeinsam mit dem Bundesministerium des Innern und für Heimat sind Daten die zentralen Innovationstreiber in der aktuellen Zeit. Der Fokus liegt basierend auf den aktuell identifizierten Use Cases nicht auf industriellen Daten, sondern auf Daten für kommunale und politische Entscheidungsfindung. Die Prämisse der Bedeutung von Daten sowie die Ansätze zu Handlungsempfehlungen lassen sich aber möglicherweise auf die Automobilindustrie übertragen. (Büttner-Thiel et al., 2022)

Die Automobilindustrie wird mit einer steigenden Intensität und Dynamik am Markt und im Umfeld konfrontiert. Darauf muss die Industrie mit Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit reagieren. Die Auslöser für den zunehmenden Druck sind vielseitig. Ein verschärfter Wettbewerb hat sich insbesondere durch die aktuelle Umstellung der Antriebskonzepte und die damit neu entstandenen Marktteilnehmer forciert. Des Weiteren nehmen kundenspezifische Anforderungen und ein damit verbundener Innovationsdruck weiter zu. Durch den demografischen Wandel verschieben sich die Käufergruppen, worauf mit entsprechenden Produkten reagiert werden muss. Zusätzlich ist die Industrie durch sogenannte „Megatrends“ getrieben. Vernetzung, autonomes Fahren und neue Mobilitätskonzepte sind nur einige der zu nennenden Themen. (Gehlhoff et al., 2019; Kern, 2022; Lager, 2020)

In Reaktion auf die aktuellen Problemstellungen nimmt die Größe des Produktportfolios zu und die Produktlebenszyklen verkürzen sich. Durch flexible Strukturen, Transparenz, Anpassungsfähigkeit und Reaktionsfähigkeit kann die Produktion flexibel und bedarfsorientiert gesteuert werden und damit den neuen Herausforderungen begegnen

werden. (Colombo et al., 2017; Kern, 2022)

Unterstützt werden soll die Flexibilität und Modularisierung der Produktion durch die Digitalisierung. Neue Technologien auf Basis von Daten und dem Stichwort Industrie 4.0 sollen Selbststeuerungen, Individualisierung und Vernetzung von Prozessen, Produkten und Ressourcen ermöglichen und ein Produktionssystem damit flexibel gestalten. Entsprechende Initiativen zu Industrie 4.0 existieren nicht nur in Deutschland und Europa, sondern auch in China und den USA. (Kern, 2022; Lager, 2020)

Eine Vielzahl von Anwendungsfällen (Use Cases) können datenbasiert dabei helfen, den angesprochenen Herausforderungen zu begegnen. Prozessnachverfolgung, Qualitätsparameterverfolgung, Energienachverfolgung, Nachverfolgung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes, Laufzeitdatenüberwachung oder der Einsatz von KI-gestützten Systemen sind nur einige Beispiele für Anwendungsfälle, die eine entsprechende Datenbasis benötigen. (Sølvberg et al., 2020)

Bei der Umsetzung der angesprochenen Anwendungsfälle stellt sich die Frage, ob die benötigten Daten vorhanden, zugänglich und für Menschen, Maschinen und Systeme lesbar sind. Wie Daten strukturiert und abgelegt werden, kann durch jeden Hersteller einer Maschine oder Hersteller eines Produktes individuell entschieden werden. Für eine Orientierung existieren beispielsweise Architekturmodelle wie das RAMI 4.0 Modell oder konkrete Anweisungen in Form einer Norm wie der VDI 2770. Entsprechende Normen sind häufig auf einzelne Anwendungsfälle und spezifische Industrien ausgerichtet. Sie sind nicht verpflichtend und über Industrien oder Hersteller hinweg nicht durchgängig eingesetzt. Die Automobilindustrie muss in den Bestrebungen der Umsetzung einer Industrie 4.0 prüfen mit welchen Standards die Datenstruktur ausgelegt werden soll, um die aufgeführten Anwendungsfälle bearbeiten zu können. (VDI 2770; DIN SPEC 91345)

Zusammenfassend stellt sich die Frage, ob bestehende Ansätze, Architekturen und Normen der Datenstrukturierung und Datenzugänglichkeit in der Automobilindustrie ausreichen, um den Herausforderungen der aktuellen Zeit zu begegnen. Falls eine Abdeckung der beschriebenen Use Cases nicht auf Basis bestehender Konzepte umgesetzt werden kann, folgt die Frage, welche neuen Industrie 4.0 Konzepte in der Industrie etabliert werden müssen und wie ein solcher Implementierungsprozess in der automobilen Montage aussehen kann.

## **1.2 Zielsetzung**

Im vorangestellten Abschnitt wurde die Problemstellung beschrieben. Durch Druck auf die Industrie wurde ein Lösungsraum mit der Industrie 4.0 Bestrebung definiert. Das bedeutet, datengetriebene Lösungen für aktuelle Herausforderungen zu finden und umzusetzen. Ziel der Automobilindustrie ist eine Fabrik, die flexibel, adaptiv, skalierbar und rekonfigurierbar ist und in welcher Anwendungsfälle datenbasiert umgesetzt werden können.

Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation eines Standards zur Datenstrukturierung, um den aktuellen Herausforderungen der Automobilindustrie zu begegnen und Industrie 4.0 konforme Datenstrukturen umsetzen zu können.

Im ersten Abschnitt dieser Arbeit werden Ansätze der Theorie und Praxis analysiert und bewertet. Damit soll die einleitende Forschungsfrage für den ersten Teil beantwortet werden:

*FF1: Eignen sich die existierenden Modelle für eine umfassende Abdeckung von datengetriebenen Use Cases in der automobilen Montage?*

Diese einleitende Forschungsfrage soll im Folgenden unterteilt und in zu bearbeitende Teilschritte gegliedert werden. In einem ersten Schritt soll der Stand der Forschung betrachtet werden. In diesem Zusammenhang soll die Literatur untersucht und der Stand der Technik bei Referenzarchitekturen und Normen analysiert werden. Auf Basis von definierten Kriterien sollen diese auf Anwendbarkeit für die Problemstellung geprüft werden. Dabei wird analysiert, ob die bestehenden wissenschaftlichen Ansätze ausreichen, damit die Automobilindustrie ihre Problemstellungen datenbasiert bearbeiten kann. Dies ist unter der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

*FF1.1: Welche Referenzstrukturen existieren in der Literatur, um Anlagendaten einer Montageanlage zugänglich zu machen?*

Für ein vollständiges Bild der aktuellen Situation, soll neben der Theorie ebenfalls die Praxis untersucht werden. Durch Interviews soll die Datenlage in der Montage eines Automobilbauers auf Standards geprüft werden. Es wird analysiert, welche Standards aus der Literatur verwendet werden, um Daten zugänglich zu machen. Darüber hinaus wird die Frage beantwortet, welche Daten aktuell in der Planung und im Betrieb von Produktionsanlagen anfallen und wie diese abgelegt werden. Ob diese Datenstrukturen ausreichen, um auch zukünftige Use Cases abzudecken und welche Vorteile ein Industrie 4.0 Standard bieten, wird ebenfalls untersucht. Dies ist unter der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

*FF1.2: Welche Referenzstrukturen werden in der Praxis angewandt, um Anlagendaten einer Montageanlage zugänglich zu machen?*

Es ist zu prüfen, ob die Untersuchung von Theorie und Praxis Rückschlüsse auf die

Anwendbarkeit und Güte von bestehenden Modellen und Methodiken zulässt. Dazu werden die Ergebnisse der beiden Forschungsfragen FF1.1 und FF1.2 zusammengefasst und ein gemeinsames Fazit formuliert. Dies ist unter der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

*FF1.3: Welche Defizite lassen sich in Literatur und Praxis aktueller Modelle erkennen?*

Die Frage, wie sich die aufgezeigten Defizite beheben lassen soll in FF2 untersucht werden. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird die nachstehende Forschungsfrage weiter differenziert und leitet durch den zweiten Teil dieser Arbeit. Dazu wird ein Industrie 4.0 Ansatz ausgewählt und das methodische Vorgehen für die Umsetzung in der Automobilindustrie aufgebaut:

*FF2: Mit Hilfe welcher Methoden oder Modelle lassen sich die identifizierten Defizite auflösen?*

### 1.3 Struktur der Arbeit



Abbildung 1: Aufbau der Arbeit in Anlehnung an die Phasen der angewandten Forschung nach (Ulrich, Dyllick & Probst, 1984)

Die hier vorliegende Arbeit ordnet sich im Bereich der angewandten Forschung ein. Das Ziel, wie im vorangestellten Abschnitt beschrieben, ist die Entwicklung einer Vorgehensmethodik zur Implementierung eines Datenstandards, um datengetriebene Use Cases in der Industrie umsetzen zu können und der anschließenden Überprüfung. Dabei orientiert sich die Arbeit wie in Abbildung 1 zu sehen an den etablierten Phasen der angewandten Forschung nach Ulrich et al. (Ulrich et al., 1984)

Die hier präsentierte Arbeit gliedert sich in zwei übergeordnete Bereiche. Im ersten Bereich wird das Thema der bestehenden Normen und Datenstandards behandelt. Dazu werden sowohl die Grundlagen, der theoretische Stand der Technik als auch die Praxisdefizite auf Basis von Experteninterviews behandelt. Der zweite Bereich der Arbeit behandelt den Schwerpunkt Industrie 4.0 Ansätze. Hierbei werden ebenfalls Grundlagen beschrieben und bestehende wissenschaftliche Arbeiten zum Ansatz von Datenstandards untersucht. Schwerpunkt der Arbeit ist die Entwicklung einer neuen Methodik, die die aufgezeigten Defizite auflöst. Die konkrete Aufteilung der Themen in den Kapiteln ist im Folgenden beschrieben.

Mit dem ersten Kapitel wird in die Arbeit eingeführt. Die Motivation und darauf aufbauend die Problemstellung, die diese Arbeit bearbeiten soll, werden erläutert. Anschließend werden eine einleitende Forschungsfrage sowie zu bearbeitende Teilfragen formuliert. Abschließend wird die Struktur der Arbeit vorgestellt und in Anlehnung an etablierte Forschungsansätze strukturiert.

Der Grundlagenteil befasst sich in Kapitel zwei mit den Produktionsanlagen der Automobilindustrie und insbesondere mit der automobilen Montage. Außerdem wird der Prozess des Engineerings von Produktionsanlagen und die Produktstruktur sowie Produktionssystemstruktur beschrieben. Des Weiteren bietet das Kapitel den theoretischen Hintergrund einer Methodik und einzelner Methoden als Bestandteile einer Methodik.

In Kapitel drei wird die Forschungsfrage konkret in zwei Schritten bearbeitet. Im ersten Teil wird eine Literaturrecherche zu problemrelevanten Theorien und Modellen durchgeführt. Diese werden auf Basis aufgestellter Kriterien bewertet und auf eine mögliche Anwendung hin untersucht. Der zweite Teil befasst sich mit der aktuellen Lage der Datenstruktur in der Praxis. Mit dem Fokus der automobilen Montage werden Experteninterviews mit Beteiligten der Automobilindustrie durchgeführt und statische sowie dynamische Anlagendaten begutachtet. Dieser Schritt soll den aktuellen Umgang mit Datenstrukturen, Datenablagen und Datenzugänglichkeiten in der Industrie identifizieren. Abschließend werden die Methodiken, Modelle und Vorgehensweisen der Theorie und der Praxis kritisch betrachtet und aufbauend auf der einleitenden Forschungsfrage wird eine neue leitende Forschungsfrage formuliert.

Basierend auf der neuen Forschungsfrage wird in Kapitel vier auf den Themenschwerpunkt Verwaltungsschale eingegangen. Beginnend mit einer Grundlagenbetrachtung, aufgeteilt in Geschichte, Aufbau und Details folgt eine

Betrachtung des Standes der Technik zu der Fragestellung, wie eine Verwaltungsschale in der Industrie aufgebaut, strukturiert und implementiert werden kann. Die identifizierten Methoden, Modelle und Vorgehensweisen werden auf Basis definierter Kriterien bewertet und auf die Anwendbarkeit in der automobilen Montage geprüft.

Aus dem Defizit in Kapitel vier folgt die Notwendigkeit einer neuentwickelten Methodik. Kapitel fünf stellt einen Entwurf des theoretischen Rahmenwerks dar.

Darauf aufbauend werden in Kapitel sechs alle Schritte und Bestandteile der neuen Methodik im Detail erklärt und ausdefiniert.

In Kapitel sieben erfolgt eine Validierung der neu definierten Methodik anhand einer beispielhaften Anlage in der automobilen Montage. Jeder Schritt wird anhand der Realdaten umgesetzt.

Abschließend führt Kapitel acht die Forschungsergebnisse zusammen. Es wird untersucht ob die vorliegende Arbeit die Forschungsfragen umfassend bearbeitet. Die aufgestellte Methodik wird kritisch hinterfragt und die Anwendbarkeit sowie der praktische Nutzen auf Basis des Anwendungsbeispiels wird geprüft. Am Ende wird ein Ausblick gegeben auf mögliche weitere Forschungsschwerpunkte, die mit dieser Arbeit im Zusammenhang stehen.

## 2 Theoretischer Bezugsrahmen

In dieser Arbeit werden zwei übergeordnete Themen dem theoretischen Bezugsrahmen zugeordnet. Kapitel 2.1 beschreibt den Betrachtungsrahmen der Arbeit. Hierbei handelt es sich um Produktionsanlagen in der automobilen Montage. In dem Zusammenhang werden das Produkt und das Produktionssystem kurz beschrieben. Anschließend wird der Fokus auf die Montage begründet, die zugehörigen Montagecharakteristika beschrieben sowie der Entstehungsprozess von Anlagen untersucht. Kapitel 2.2 beschreibt das theoretische Grundgerüst einer Methodik und stellt relevante Methoden vor, die für eine neu entwickelte Methodik relevant sind. Weitere Grundlagen zu dem Thema Daten sind in Kapitel 3 zu finden. Der Themenkomplex Industrie 4.0 wird mit seinen Grundlagen in Kapitel 4 bearbeitet.

### 2.1 Produktionsanlagen in der Automobilindustrie

Die Fertigungstiefe deutscher Automobilhersteller ist seit dem Jahr 2000 auf unter 25% gesunken (Klug, 2018). Das führt zur Beteiligung einer größeren Anzahl an Lieferanten und die Lieferung eines größeren Umfangs an Komponenten durch Zulieferer. Das Kerngeschäft der Original Equipment Manufacturer (OEMs) liegt in den vier Gewerken Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage. Das Presswerk nutzt als Ausgangsmaterial Coils, aufgerollte Aluminium- und Stahlbleche. Diese Bleche werden in großen Pressen gestanzt, gebogen und gezogen und werden zu den Bauteilen der späteren Karosserie geformt. Der Karosseriebau fügt angefertigten Bauteile zu einer Karosserie zusammen. Dabei werden Fügeverfahren wie Schweißen, Löten, Schrauben und Kleben verwendet. In der Lackiererei werden die Karossen in Tauchbädern gereinigt und entfettet. Anschließend werden der Korrosionsschutz sowie mehrere Schichten Farbe auf die Karosserie aufgetragen. Die Montage lässt sich in Vormontagen und Endmontage aufteilen. In den Vormontagen werden Module wie das Cockpit Modul aus Einzelkomponenten zusammengefügt und der Linie der Endmontage zugeführt. In der Endmontage durchläuft die Karosserie verschiedene Abschnitte in denen Komponenten und vormontierte Module an das Fahrzeug montiert werden. (Herlyn, 2012; Kern, 2022)

#### 2.1.1 Produktstruktur und Produktionssystemstruktur

Für eine Betrachtung der Produktionsstrukturen muss eine Betrachtung der Produktstruktur und anschließend der Produktionssystemstruktur vorangestellt werden. Nach (Schuh, 2012) ist die Montage abhängig von der Produktstruktur, die sich hierarchisch aus Einzelteilen, Komponenten und Baugruppen zusammensetzt. Eine detaillierte Aufteilung nach (Löffler, 2011) teilt die Produktstruktur in sieben Teile auf (siehe Abbildung 2).

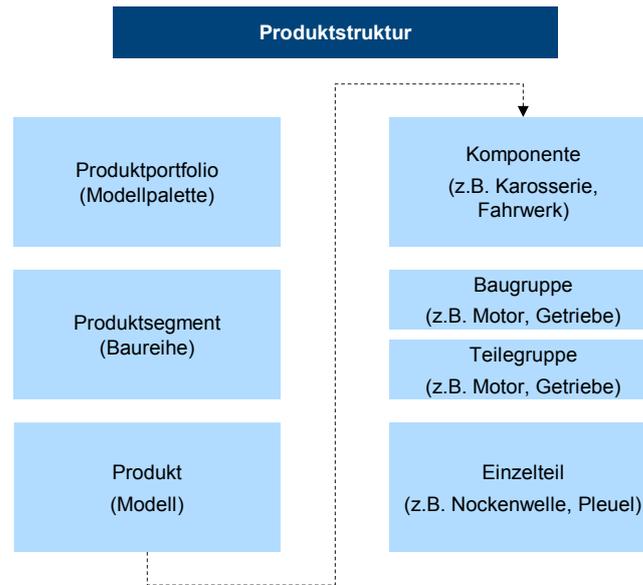


Abbildung 2: Fahrzeug Produktstruktur nach (Löffler, 2011)

Übergeordnet steht das Produktportfolio, übertragen auf die Automobilindustrie wird hier von einer Modellpalette gesprochen. Darunter gliedern sich Produktsegmente ein, diese können als Baureihen wie die Volkswagen Golf-Baureihe (GTI, Variant, R, etc.) verstanden werden. Das eigentliche Produkt steht für das konkrete Modell, beispielsweise den Golf R. Jedes Produkt enthält in der weiteren Aufteilung Komponenten, Baugruppen, Teilegruppen und Einzelteile. Die Komplexität der Umfänge nimmt von Bestandteil zu Bestandteil der Produktstruktur ab. Diese Produktstruktur ist die Basis und liefert die Informationen für die Planung der Montage. (Eversheim, 1989)

Die Produktstruktur beeinflusst unter anderem die Produktionssystemstruktur, welche im folgenden Abschnitt erläutert werden soll. Neben bestehenden Einzelmodellen ist in der Arbeit von (Röpke et al., 2016) eine konsolidierte Darstellung zu finden, die, wie in Abbildung 3 zu sehen, das Produktionssystem in neun Ebenen aufteilt. Fertigungsnetzwerk, Fabrik, Fertigungslinie, Fertigungsabschnitt, Arbeitseinheit, Arbeitsstation, Funktionsgruppe, Komponente und Konstruktionselement beschreiben alle funktionalen Ebenen mit ihren physischen Objekten innerhalb der Automobilmontage. Für eine spätere Betrachtung, welche Daten im Anlagenengineering anfallen und wie diese gruppiert werden, kann die Produktionssystemstruktur eine erste Möglichkeit der Datenstruktur und Datenhierarchie bieten. (Lüder et al., 2017a)

	Ebenen eines Produktionssystems	Automobilmontage			
9	Fertigungsnetzwerk	Automobilhersteller mit Lieferanten			
8	Fabrik	Fabrik mit Gewerken			
7	Fertigungslinie	Presswerk	Karosseriebau	Lackiererei	Montagelinie
6	Fertigungsabschnitt				Bandabschnitt
5	Arbeitseinheit				Scheibeneinbau
4	Arbeitsstation				Klebestation
3	Funktionsgruppe				Roboter und Klebeeinheit
2	Komponente				Klebeeinheit
1	Konstruktionselement				Klebedüse

Abbildung 3: Produktionssystemstruktur nach (Lüder et al., 2017a)

### 2.1.2 Merkmale automobiler Montage

Die automobiler Montage besitzt im Automobilbau den größten Anteil manueller Tätigkeiten und eine große Heterogenität in der Anlagenlandschaft. Aus diesem Grund fokussiert die folgende Arbeit die Montage. Es wurde ein Gewerk mit hohem Komplexitätsgrad gewählt, wodurch sich ein identifizierter oder entwickelter Datenstandard auf andere Gewerke übertragen lässt.

Im Folgenden soll die Charakteristik des Gewerkes Montage im Automobilbau kurz beschrieben werden. Wie in Abbildung 4 zu sehen, besteht eine klassische Montagelinie aus der Hauptlinie sowie mehrerer zulaufender Nebenlinien. In den Nebenlinien, auch Vormontagen genannt, werden Baugruppen erstellt, die anschließend gebündelt der Hauptlinie zugeführt werden. Üblicherweise sind diese das Fahrwerk, die Türen und das Cockpit. In der Hauptlinie, oder auch Kernlinie, wird das Fahrzeug von der Übergabe des Gewerkes Lack bis zur Qualitätssicherung aufgebaut, dabei werden einzelne Komponenten und Baugruppen aus den Nebenlinien eingebracht. (Küber, 2017; Weidemann, 2017)

Die Montage besitzt Merkmale, die sie von den anderen Gewerken oder anderen Industrien unterscheidet. In diesen Merkmalen liegt eine besondere Herausforderung in der Umsetzung neuer Technologien und Ansätzen der Digitalisierung (Kern, 2022):

- Ausbringungsmenge einer Großserie von ca. 60 Einheiten pro Stunde

- Eine Vielzahl an Montageinhalten und vielstufige Montageprozesse mit bis zu 25.000 Einzelteilen
- Globales Lieferantennetzwerk
- Hoher manueller Tätigkeitsanteil, der teils nicht automatisierbar ist (technisch oder wirtschaftlich)
- Produktgröße von ca. 2x5m
- Variantenvielfalt und Losgröße, durch Konfiguration eine hohe Variantenvielfalt und Losgröße 1 nach Kundenauftrag
- Hohe Variabilität in der eingesetzten Fördertechnik

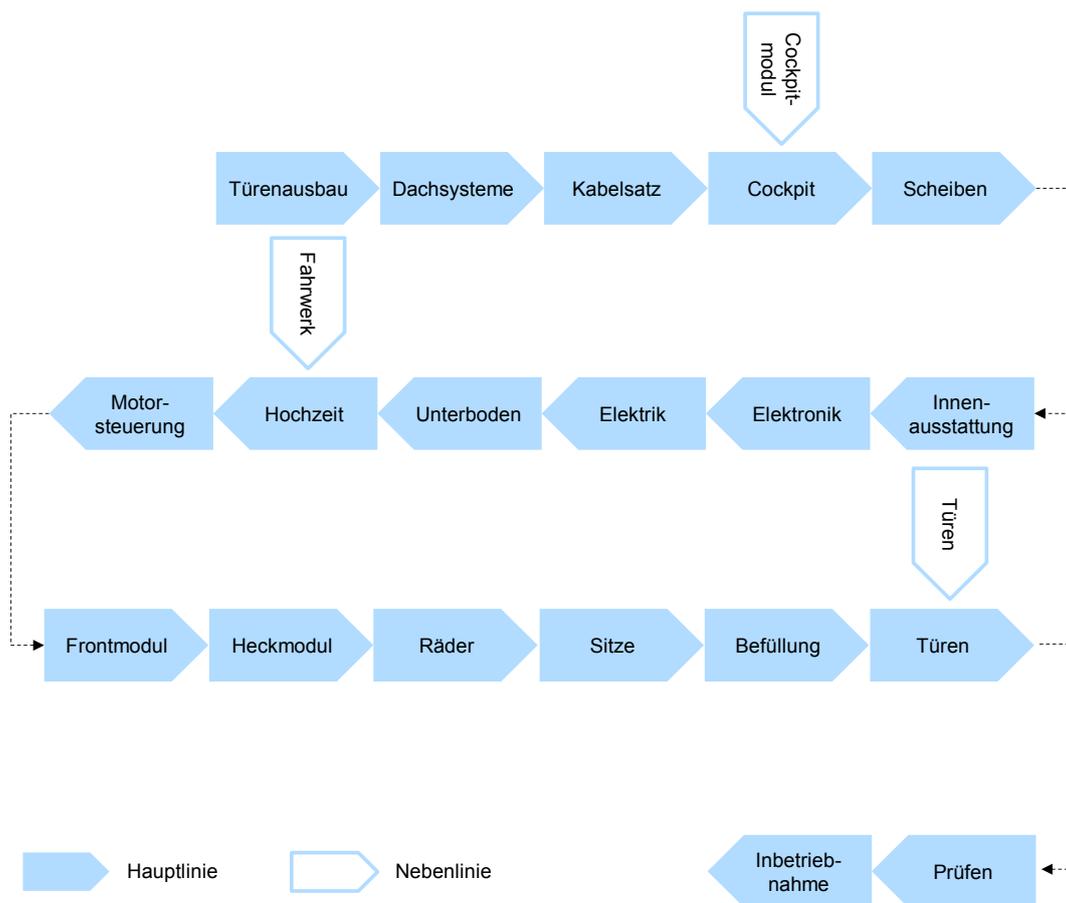


Abbildung 4: Mögliche Struktur einer Montage (Kern, 2022)

Vertiefend sollen die Charakteristika betrachtet werden, die für einen Digitalisierungsansatz besonders relevant und zu beachten sind. In der Regel werden bereits automatisierte Prozesse digitalisiert, da hier eine große Menge an Daten zusammenkommt. Die Montage hat als Gewerk einen besonders niedrigen Grad an Automatisierung in ihren Prozessen. Bestandteile einer automatischen Station sind in der Regel Bewegungseinrichtung (Roboter, Lineareinheit, etc.), Fügestation (Schrauber, Greifer, etc.), Sensoren (Kamerasysteme, Kraft-Momenten-Sensor, etc.), Steuerungen (Anlagensteuerung, Human-Maschine Interface, etc.), Sicherheitstechnik (Schutzzaun, Laserscanner, etc.) und Bereitstellungssysteme (Vibrationswendelförderer, Stufenförderer, etc.) (Scholer, 2018). Innerhalb der Zelle finden verschiedene Prozesse

statt. Nach den *vorbereitenden Tätigkeiten* folgt die *Positionierung und Orientierung* und abschließend der eigentliche *Montageprozess* (Werner, 2009). In automatisierten Zellen der Montage ist insbesondere die Positionierung und Orientierung ein wichtiger Faktor. Hierbei werden das Fahrzeug und das Produktionssystem zueinander synchronisiert. Da Abweichungen durch eine Vielzahl an Variablen verursacht werden können, bedarf der Schritt der Synchronisation Sensorik und Steuerung. Dabei erfolgt zunächst eine Grobpositionierung, in welcher das Fahrzeug in das Montagesystem gefördert und die Sensorik aktiviert wird. In der Stufe der Annäherung erfassen die Sensoren die Differenzen zwischen Fahrzeug und Produktionssystem und gleichen diese aus. Am Ende der zweiten Phase erfolgt der mechanische Kontakt. Die dritte Phase führt den Montageschritt bei synchronisiertem Fahrzeug und Produktionssystem durch. (Werner, 2009)

Sowohl in Kombination mit automatisierten Zellen als auch mit manuellen Zellen muss die Fördertechnik gesteuert werden. In Automatikzellen kann somit ein weiterer Freiheitsgrad hinzukommen, den es zu überwachen gilt. Klassische Fördermittel in der Montage sind Skidplattformen auf Rollenbahnen, Schubplattformen, Kettenförderer, Elektrohängebahnen, schienengeführte Systeme, fahrerlose Transportsysteme, Einhängeschienenbahnen und Gabelstapler (Bauernhansl, Fechter & Dietz, 2020).

### 2.1.3 Anlagenentwurf – Engineering Prozess

Um die Datenbasis einer Anlage zu betrachten, soll der gesamte Lebenszyklus untersucht werden. In diesem Abschnitt soll vertiefend auf den Produktentstehungsprozess als Teil des Lebenszyklus eingegangen werden. Dieser Bereich, der auch als Engineering Phase bezeichnet wird, ist von hoher Bedeutung für die Montage. Jede Anlage der späteren Montagelinie wird individuell entwickelt und von einem Maschinenbauunternehmen einmalig für eine Tätigkeit an einem Modell abgestimmt hergestellt. (Gericke et al., 2021)



Abbildung 5: Produktentwicklungsprozess nach (Resch & Weber, 2016)

Die folgenden Modelle sind nicht ausschließlich für die Automobilindustrie entwickelt worden, werden aber in dieser genutzt. Der Produktentstehungsprozess ist ein Sammelbegriff für verschiedene Ansätze, die den Prozess von Idee, über Produktplanung, hinzu Entwicklung und Prozessgestaltung strukturieren (siehe Abbildung 5). Es handelt sich dabei nicht um eine konkrete Vorgehensweise. Die wichtigsten Modelle, die hierbei genannt werden müssen, sind das VDI 2221-Modell und das V-Modell. Diese Modelle haben in der Industrie eine hohe Bedeutung und werden im Folgenden näher beschrieben. (Lindemann, 2009)

Das in Abbildung 6 zu sehende **Modell nach VDI 2221** ist eine etablierte Methodik in der Industrie für das Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte. Es ist branchenübergreifend anwendbar und basiert auf einem dreiphasigen Aufbau. Jede Phase besteht aus den drei Schritten:

1. Entwicklung & Konstruktion
2. Fertigung & Montage
3. Versuch & Erprobung

Nach dem ersten Durchlauf dieser Schritte steht ein Funktionsmuster oder ein Labormuster bereit, anhand dessen Verbesserungen eingesteuert werden können. In Phase zwei werden die gleichen drei Schritte wiederholt und Änderungen eingepflegt, um einen Prototyp oder ein Nullserienprodukt zu erzeugen. Die weitere Verbesserung dieses ausgereifteren Musters erfolgt in Phase drei, um ein Produkt reif für die Großserienproduktion zu entwickeln. Das Vorgehensmodell für die Entwicklung und Konstruktion ist ein Schwerpunkt der VDI 2221, welches aus den Abschnitten *Planen*, *Konzipieren*, *Entwerfen* und *Ausarbeiten* besteht. Diese Bestandteile dienen als Basis für Entwicklungsprojekte und werden durch ein Methodenset unterstützt, welches für unterschiedliche Einsatzfelder kategorisiert ist. Methoden für Analyse und Zielvorgaben, Entwickeln von Lösungsideen, Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnung, Bewertungsverfahren und Entscheidungstechniken sowie integrierte Methoden sind hierbei zu nennen. (VDI 2221)

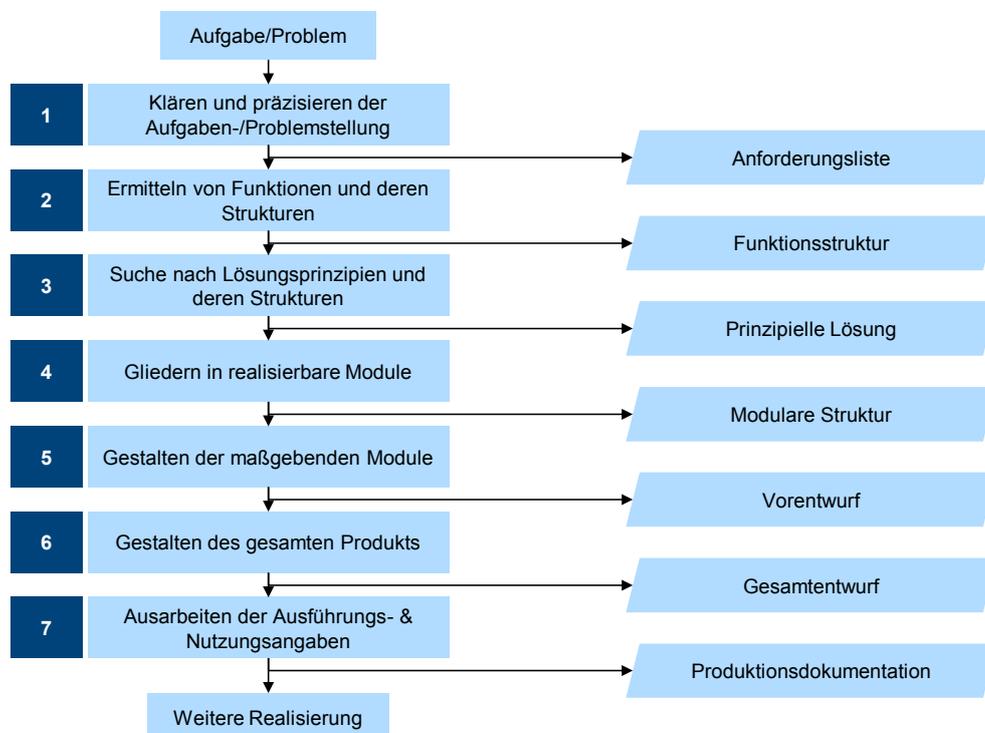


Abbildung 6: Produktentstehungsprozess nach (VDI 2221; Westkämper & Decker, 2006)

Das **V-Modell**, das in der Industrie weit verbreitet ist, hat seinen Ursprung in der

Softwareentwicklung und basiert auf einer Erweiterung der VDI 2206. Die Kombination eines Top-down und eines Bottom-up Ansatzes führte zur Entstehung des V-Modells, wie es in Abbildung 7 dargestellt ist. Der linke Top-down Prozess dient der Umsetzung von Kundenanforderungen in einen Feinentwurf, während der rechte Bottom-up Prozess die Realisierung und Integration bis zur Absicherung betrachtet. (VDI/VDE 2206; Reif, 2014)

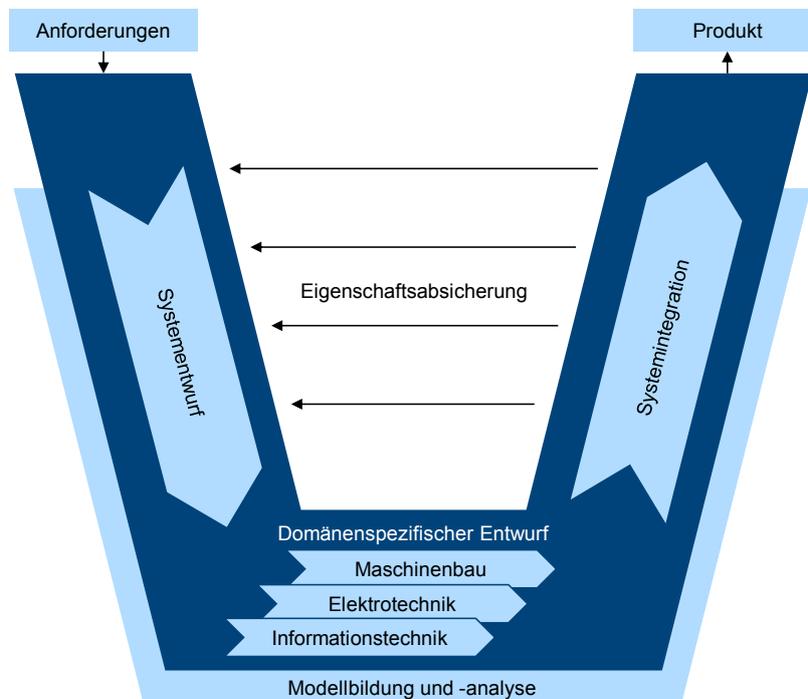


Abbildung 7: V-Modell nach VDI 2206 (VDI/VDE 2206; Ponn & Lindemann, 2011)

Das V-Modell beschreibt ein Vorgehen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme. Es umfasst die Umsetzung von Anforderungen in ein Produkt über einen Systementwurf, einen domänenspezifischen Entwurf und eine Systemintegration. Der allgemeine Systementwurf wird in den jeweiligen Spezialgebieten (Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik) ausgearbeitet und in der Systemintegration wieder zusammengeführt. Eine Rückkopplung erfolgt durch die Eigenschaftsabsicherung zwischen der Integration und dem Entwurf. Bei großen Projekten wird eine schrittweise Herangehensweise von den Komponenten bis zum System verfolgt und das Modell wird mehrfach von vorne nach hinten durchlaufen. Dabei werden ineinander verknüpfte Vs von innen nach außen bearbeitet. (VDI/VDE 2206; Ponn & Lindemann, 2011)

Die vorgestellten Modelle sind etabliert und wurden über viele Jahre in der Praxis angewandt. Im Hinblick auf die Entwicklung der Industrie 4.0 (siehe Kapitel 4.1) und damit verbundenen smarten Produkten wird zunehmend mehr vom Engineering gefordert. Zielsetzung ist die Umsetzung eines Engineering 4.0. Das erste hier zu nennende Konzept ist das des Systems Engineering. Schwerpunkt liegt in der Luft- und Raumfahrt, sowie der Telekommunikationsbranche. Hierbei handelt es sich um einen interdisziplinären Ansatz zur Entwicklung komplexer technischer Systeme.

Schwerpunkte werden im Bereich Elektronik und Software gelegt. Der Kerngedanke ist, dass ein komplexes System mehr ist als die Summe seiner Teile, sondern zusätzlich durch die Zusammenhänge zwischen den Teilsystemen definiert wird. Vorgegangen wird in der Methode nach dem Top-Down Prinzip, das heißt die ausführliche Anforderungsidentifikation steht am Anfang. (Eigner, 2021)

Ein exemplarisches Modell, das dem System Engineering Gedanken folgt, ist das **Münchener Vorgehensmodell** (MVM). Es ist nicht sequenziell oder iterativ aufgebaut, sondern modular strukturiert. Es besteht aus sieben Modulen, die untereinander vernetzt sind. Obwohl das Modell ein Standardvorgehen empfiehlt (siehe Abbildung 8), ist auch eine alternative Vorgehensweise möglich. Der Netzaufbau, der sich daraus ergibt, ermöglicht eine hohe Flexibilität bei situativen Änderungen im Projekt (Lindemann, 2009). Die drei Hauptschritte des Modells (Ziel-/Problemklärung, Generierung von Lösungsalternativen und Herbeiführung von Entscheidungen) werden in den sieben Modulen/Elementen aufgeschlüsselt. (Mattmann, 2017)

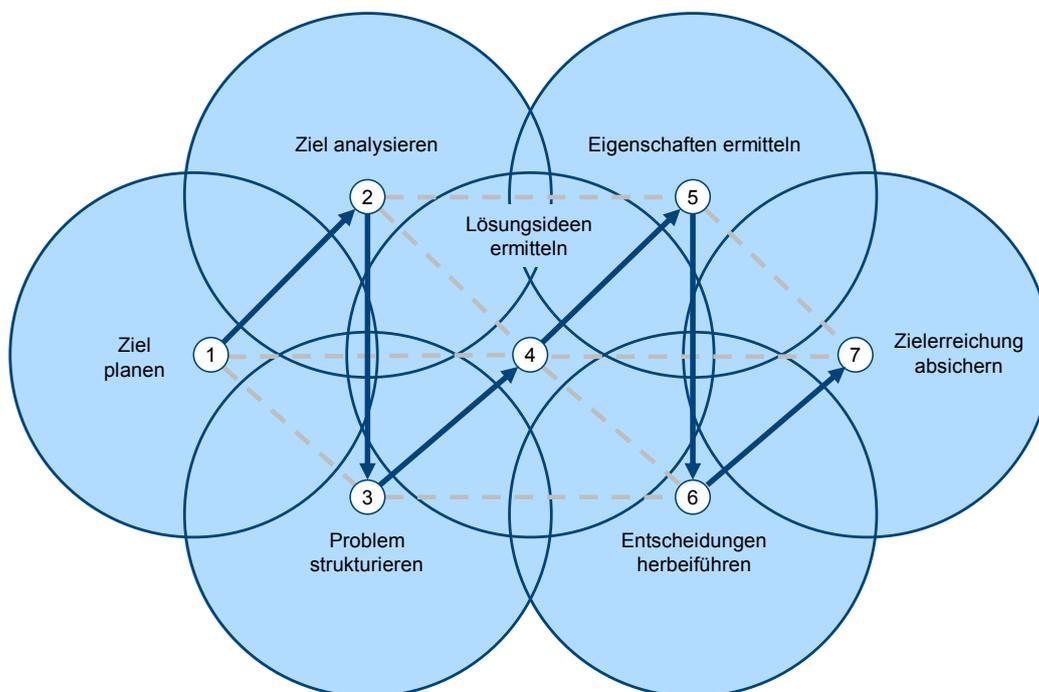


Abbildung 8: Münchener Vorgehensmodell nach (Lindemann, 2009)

Das Münchener Vorgehensmodell startet mit dem ersten Element *Ziel planen*, welches der Situationsanalyse und der Ableitung von Maßnahmen dient. Im Element *Ziel analysieren* wird der Zielzustand definiert und Anforderungen aufgenommen. Im nächsten Schritt folgt das *Problem strukturieren*, bei dem der Problemraum abstrahiert wird, um Handlungsschwerpunkte zu legen und die Lösungssuche zu fokussieren. Das Element *Lösungsideen ermitteln* dient der Identifizierung von Lösungsideen für jedes Teilsystem. Die Strukturierung aller Lösungsideen ist dabei von entscheidender Bedeutung. Das Element *Eigenschaften ermitteln* dient der Identifikation der Ausprägungen bestimmter Merkmale des Systems. Mit dem Element *Entscheidungen herbeiführen*

*herbeiführen* werden die Lösungsideen bewertet und bei genereller Eignung für das Problem kann von einer Lösungsalternative gesprochen werden. Bei der Entscheidung zwischen den Alternativen muss die unterschiedliche Relevanz beachtet werden. Das Element *Zielerreichung absichern* schließlich dient der präventiven Absicherung der Zielerreichung, um teure Fehler im Produktionsprozess zu vermeiden. (Lindemann, 2009)

Aufbauend auf dem Systems Engineering hat sich das **Model Based Systems Engineering** (MBSE) entwickelt. Papierbasierte Dokumentationen und Datenhaltungen sollen digitalisiert werden. Es werden Modelle angelegt, die das System beschreiben und über den Lebenszyklus hinweg begleiten. Bestandteile sind ein Anforderungsmodell, ein Systemarchitekturmodell, ein Entwicklungsmodell, ein Simulationsmodell, ein Manufacturing Bill of Material (Planungsphase) und ein Nukleus (Betriebsphase). Das führt unter anderem zu einer Digitalisierung der Planungsphase.

Wie die MBSE-Methode verdeutlicht, bedeutet eine Digitalisierung der Engineering Phase also nicht nur die Digitalisierung der Dokumente und IT-Lösungen innerhalb einer Lebenszyklusphase, sondern darüber hinaus die Verknüpfung und Übergabe von Modellen über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Kern dieser Engineering 4.0 Bestrebungen sind Daten. Aus diesem Grund wird sich Kapitel 3 mit der Datenbasis in der Literatur sowie der Praxis einer automobilen Montage befassen. (Eigner, 2021)

## 2.2 Grundlagen einer Methodik und relevante Methoden

Die hier vorliegende Arbeit befasst sich mit Methoden zum Umgang mit Daten in der Industrie. Aus dem Grund wird im folgenden Abschnitt der theoretische Rahmen einer Methodik dargestellt. Dieses Wissen unterstützt bei der Bewertung von bestehenden wissenschaftlichen Ansätzen in Kapitel 3 und Kapitel 4. Darüber hinaus hilft das theoretische Gerüst bei der Neuerstellung einer Methodik in Kapitel 5 und Kapitel 6. Dafür werden die allgemeingültigen Grundlagen einer Methodik, sowie relevante Methoden als Bestandteil einer übergeordneten Vorgehensweise vorgestellt.

### 2.2.1 Theoretischer Rahmen einer Methodik

*Definition Methodik:*

*Eine Methodik ist ein festgelegtes Vorgehen. Es werden innerhalb der Methodik mehrere Methoden eingeführt, verortet und für die Anwendung in einem Schritt empfohlen. Die Beschreibung eines planmäßigen Vorgehens soll die Bearbeitung eines komplexen Sachverhalts erleichtern. (Lehmann, 2023)*

Wie in Abbildung 9 zu sehen besteht eine Methodik nach (Eigner, 2021) aus Makromethodik und Mikromethodik. Die Makromethodik gliedert sich in Prozess, Methode und Tool. Der Prozess definiert was passieren soll. Die Methode definiert wie

es passieren soll und das Tool unterstützt dabei. Die Mikromethodik beschreibt weitere Details. Ein Profil beziehungsweise eine Sprache wird festgelegt, die bestimmte Elemente der Methodik definiert. Zusätzlich wird ein Datenmodell festgelegt. Die Mikromethodik kann in allen drei Teilen der Makromethodik unterstützend genutzt werden. Zusätzlich werden äußere Einflussfaktoren berücksichtigt. Technologie und Menschen beschränken die Umsetzung einer Methodik jeweils durch ihre Möglichkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten. Die Umwelt nimmt eine beeinflussende Rolle ein, die sowohl positive, verstärkende Auswirkungen als auch hemmende, negative Auswirkungen besitzen kann. (Eigner, 2021)

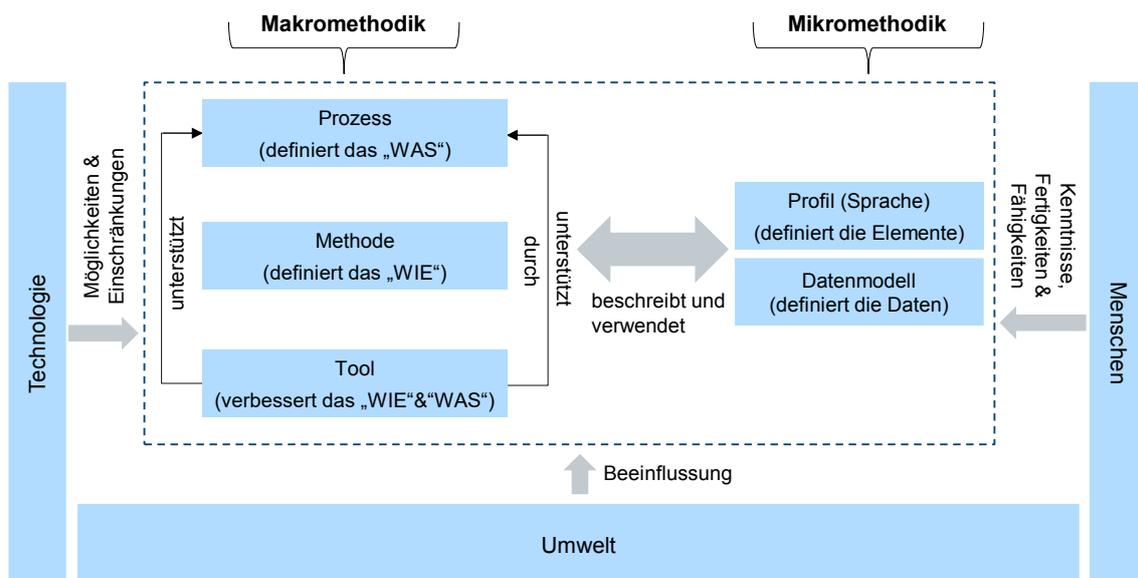


Abbildung 9: Beschreibung theoretischer Rahmen einer Methodik nach (Eigner, 2021)

## 2.2.2 Relevante Methoden

Eine Methodik zeichnet sich durch ihre Bestandteile, verwendeten Hilfsmittel und Werkzeuge aus. Aus diesem Grund werden im Folgenden Methoden vorgestellt, die als Bestandteil einer Methodik ihre Teilschritte unterstützen können. Bei der Umsetzung einer Methodik mit großem Umfang kann es vorteilhaft sein ein Projektmanagement zu integrieren. Aus dem Grund werden zu Beginn die beiden Projektmanagementansätze Wasserfallmethode und SCRUM vorgestellt.

Bei der **Wasserfallmethode** handelt es sich um die Form einer klassischen Projektmanagement-Organisation. Die Phasen der Planung, Analyse, Entwurf, Entwicklung, Implementierung, Test und Produktion werden nacheinander durchlaufen. Die Nutzerbedürfnisse werden zu Beginn detailliert aufgenommen und in einem genauen Lastenheft festgehalten. Nach Durchlauf einer Phase wird diese abgeschlossen und die Ergebnisse an den Projektleiter der nächsten Phase übergeben. Ein erster Test durch den Nutzer ist erst in einem fortgeschrittenen Projektstatus möglich, das birgt hohe Kostenrisiken. (Stuhde & Panagos, 2023)

Die **SCRUM** Methode ist eine agile Projektmanagementvorgehensweise. Sie ist charakterisiert durch kooperative und selbstorganisierte Teamarbeit. Dabei wird die Arbeit in sogenannten Sprints bearbeitet, die in kleinen Zyklen durchlaufen werden. Anders als in der klassischen Projektvorgehensweise erfolgt eine parallele Abarbeitung der Projektbausteine. Im Fokus steht jederzeit der Kunde, das heißt auf eine Änderung von Anforderungen oder neue Anforderungen kann reagiert werden und das Produkt kann in der laufenden Entwicklung angepasst werden. (Kaufmann & Mülder, 2023; Stuhde & Panagos, 2023)

Der Gedanke des **LEAN**-Managements kann sowohl im gesamten Projektmanagement als auch in Teilschritten unterstützend genutzt werden. Entstanden aus dem Toyota Production System hat sich das Lean Thinking und das Lean Management entwickelt. Lean-Grundprinzipien sind unter anderem die Optimierung eines Wertstroms und die damit verbundene Flussoptimierung des einzelnen Arbeitsstücks. Darüber hinaus ist ein wichtiger Bestandteil die kontinuierliche Verbesserung. Ein weiterer zentraler Punkt ist die Vermeidung von Verschwendungen aller Arten. (Helmold, 2023; Stuhde & Panagos, 2023; Valarini & Elias, 2022)

Unterstützend in verschiedenen Teilschritten einer Methodik kann die **Failure Mode and Effects Analyses** kurz FMEA verwendet werden. Sie wird in Deutschland nach VDA-Standard durchgeführt. Es handelt sich um eine systematische Methode zur frühzeitigen Erkennung von Risiken und zur Maßnahmendefinition. Die FMEA kann in System-FMEA und Prozess-FMEA unterteilt werden. Sie wird in interdisziplinären Teams mit Fachwissen und einem fachfremden FMEA-Moderator durchgeführt. Es sollen alle Ausfallarten für Systeme oder Bauteile identifiziert und mit einem Risikowert versehen werden. Anschließend erfolgt eine Dokumentation über mögliche Maßnahmen. Da die FMEA in vielen industriellen Anwendungsfällen, sowie in der Auslegung von Produktionsanlagen angewandt wird, kann auf die identifizierten Problemfälle zurückgegriffen werden bei der Analyse nach möglichen Use Cases. (Bertsche, Dazer & Hintz, 2022)

Eine weitere Methode, die Potentiale aufdeckt und Zusammenhänge sichtbar macht, ist das **Ursache-Wirkungs-Diagramm** oder auch Ishikawa-Diagramm. Es geht von einer bestehenden Problemstellung aus und erforscht die dazu führenden Ursachen und Wirkungen. Mittels sechs Kategorien werden systematisch alle möglichen Ursachen für die Problemstellung abgefragt. Mensch, Material, Maschine, Methode, Milieu und Messung sind in der klassischen Literatur die Kategorien, diese können aber auch angepasst oder ergänzt werden. Diese Methode kann dabei helfen auf Basis erkannter Problemstellungen die benötigten Daten oder Zusammenhänge herauszufinden, um diese als Use Cases einer Methodik zu betrachten. (Franken & Franken, 2023a; Macharzina & Wolf, 2023)

Vor der Durchführung eines Projektes oder eines Teilschrittes, kann eine Abschätzung der Kosten in Verbindung mit dem Nutzen ein sinnvoller Prozess sein. Eine **Kosten-**

**Nutzen-Analyse** bietet diese Abschätzung. Die Analyse stellt Kosten und Nutzen einer Entscheidung oder eines Projektes gegenüber. Bei der Kostenaufstellung muss auf eine ganzheitliche Kostenbetrachtung geachtet werden, die die gesamte Projektlaufzeit erfasst. Die Nutzenbetrachtung ist so gut es geht zu quantifizieren, kann in einigen Fällen aber nur qualitativ wiedergegeben werden. Zusammenfassend ist die Kosten-Nutzen-Analyse ein Instrument für Transparenz und hat keinen Anspruch auf vollständige Abdeckung aller Details. (Wünsche, 2007)

Ein weiterer Bestandteil einer Methodik kann eine Technik für Kreativität sein, beispielsweise **Design Thinking**. In einem iterativen Prozess sollen Nutzerbedürfnisse identifiziert werden und neue Lösungen generiert werden. Die interdisziplinären Teams arbeiten dabei insbesondere an komplexen Problemen. Weitere Bestandteile sind ein iteratives Vorgehen und eine variable Raumnutzung. Der Fokus dieser Methode liegt in der Generierung von Ideen, die in einem klassischen unternehmerischen Umfeld nicht entstehen. (Gehm, 2022)

Bestandteil des Design Thinking können weitere kleinere kreative Methoden sein, wie Mindmapping, 6-3-5 oder der morphologische Kasten. Die **Mindmap** als klassisches Tool zur kreativen Ideenfindung strukturiert ein Brainstroming (unstrukturiertes Formulieren und Sammeln von möglichst vielen Ideen). Dabei werden ausgehend von einem zentralen Thema assoziierte Begriffe identifiziert und aufgenommen. Weitere Begriffe werden entweder dem zentralen Thema oder dem neu hinzugefügten Begriff zugeordnet. Das hilft dabei Zusammenhänge zu erkennen und Gedanken zu strukturieren. Die **6-3-5-Methode** benötigt sechs Teilnehmer, die jeweils mit einem Blatt Papier starten und drei Ideen formulieren. Anschließend werden die Zettel weitergereicht und aufbauend auf den drei initialen Ideen des Vorgängers wird der Gedanke in einer zweiten Spalte fortgeführt. Das Blatt wird insgesamt fünf mal weitergereicht, sodass jede Teilnehmer jede Idee gelesen hat und an einer Iterationsstufe beteiligt war. Der **morphologische Kasten** ist eine analytische Kreativitätstechnologie. Dabei wird das Problem in seine Bestandteile zerlegt und jeder Bestandteil in allen seinen möglichen Ausprägungen beschrieben. Auf dieser Basis können verschiedenste Kombinationen identifiziert werden und systematisch neue Ideen generiert werden. (Glück, 2022)

### 3 Datenbasis von Montageanlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit den Grundlagen und dem Stand der Technik des Anlagenentwurfes im Engineering Prozess mit Berücksichtigung der Datenlage. Daten werden entlang des Lebenszyklus erzeugt und gespeichert. Hierbei sollen Normen, Regeln und Referenzarchitekturen untersucht und mit der Umsetzung in der Praxis eines OEM abgeglichen werden.

*FF1: Eignen sich die existierenden Modelle für eine umfassende Abdeckung von datengetriebenen Use Cases in der automobilen Montage?*

*FF1.1: Welche Referenzstrukturen existieren in der Literatur, um Anlagendaten einer Montageanlage zugänglich zu machen?*

*FF1.2: Welche Referenzstrukturen werden in der Praxis angewandt, um Anlagendaten einer Montageanlage zugänglich zu machen?*

*FF1.3: Welche Defizite lassen sich in Literatur und Praxis aktueller Modelle erkennen?*

*FF2: Mit Hilfe welcher Methoden oder Modelle lassen sich die identifizierten Defizite auflösen?*

Für die Betrachtung der aktuellen Vorgehensweise zur Datenstrukturierung und -ablage werden zuerst generische Referenzarchitekturmodelle untersucht und anschließend konkrete Anweisungen in Form von Normen geprüft. Im weiteren Verlauf werden Experteninterviews mit Mitarbeitern der automobilen Montage durchgeführt, die die Bereiche der Zentralplanung, der Werksplanung und der Instandhaltung zu den aktuell genutzten Datenstandards und Datenstrukturen abdecken.

#### 3.1 Wissensmanagement im Unternehmen

Daten, Informationen und Wissen werden im allgemeinen Sprachgebrauch teilweise synonym verwendet. Im Folgenden soll eine Abgrenzung nach (Bodendorf, 2003) und (Lüder, Steininger & Goltz, 2023) erfolgen (siehe Abbildung 10). Werden einzelne *Zeichen* mit definierter Syntax zusammengesetzt wird von *Daten* gesprochen. Werden die Daten mit Semantik und Kontext vernetzt, entstehen *Informationen*. Die Anwendung mit einer dahinterliegenden Motivation reichert Informationen zu *Wissen* an. Mithilfe dieses Wissens, unter der Voraussetzung der Richtigkeit, kann ein *Handeln* erfolgen. Wenn auf Basis von Zeichen über Daten, Informationen und Wissen richtig gehandelt wird, dann wird *Kompetenz* aufgebaut. (Köhler & Oswald, 2009; Lüder et al., 2023)

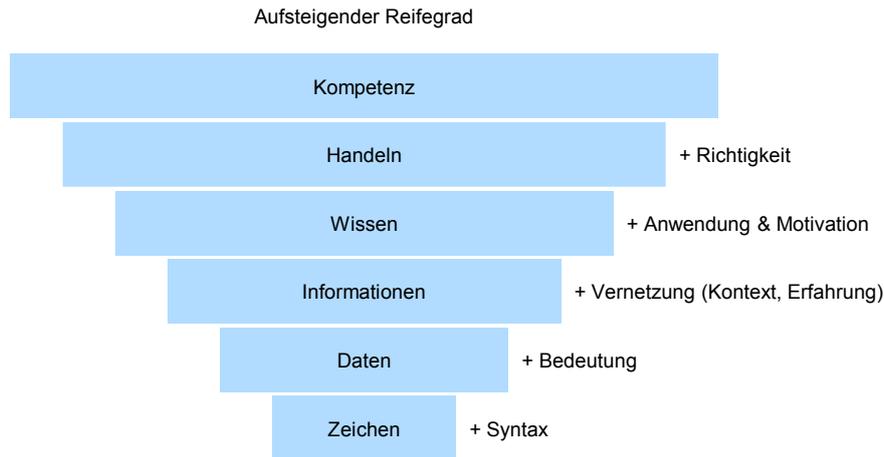


Abbildung 10: Daten, Wissen und Informationen Reifegradmodell (Alternative Darstellung angelehnt an (Lüder et al., 2023))

*„Ein durchgängiges Datenmanagement stellt eine wichtige Grundlage für die Vernetzung der digitalen Modelle, Methoden und Werkzeuge dar. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Datenmodell zu. Es beschreibt zum einen die Struktur der voneinander abgeleiteten Objektklassen mit ihren Eigenschaften (...). Zum anderen werden die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Objekten von Produkt, Prozess und Ressource bestimmt. Im Datenmodell werden der Detaillierungsgrad und der Gehalt der Informationen für das gesamte Fabrikmodell definiert. Hierauf aufbauend ist festzulegen, wo im System (...) die Daten in welcher Form (Datei oder Datenbankeintrag) abzulegen sind.“ (VDI 4499)*

Wie in der VDI-Norm 4499 beschrieben, stellt ein durchgängiges Datenmanagement mit seinen Verbindungen und Verknüpfungen die Grundlage für die weitere Arbeit der Digitalisierung dar. Darauf aufbauend werden Informationen zu Wissen verknüpft. Der Umgang mit Wissen, die Verarbeitung, Weitergabe und Erhalt werden in der Wissenschaft und in Unternehmen unter dem Begriff Wissensmanagement behandelt. Das Wissensmanagement ist zu Beginn (1990-2000) durch Werkzeuge, wie das Dokumentenmanagementsystem, geprägt gewesen. Es fehlte die Verbindung zu dem Innovationsmanagement und dem Lernen eines Unternehmens. Inzwischen ist die Wissensarbeit ein elementarer Bestandteil der Wertschöpfung und Wettbewerbsfaktor von Unternehmen. Das Wissensmanagement teilt sich nach (Probst, Raub & Romhardt, 2006) in die Kernbausteine Wissensidentifikation, Wissenserwerb, Wissensentwicklung, Wissensbewahrung, Wissensverteilung und Wissensnutzung auf. Darüber hinaus werden sie durch Wissensziele und Wissensbewertung ergänzt. Der Zusammenhang ist in Abbildung 11 zu sehen. Der hohe Grad der Vernetzung sowie die zunehmende Menge an Daten, Informationen und Wissen stellt eine zunehmende Herausforderung für das



behandeln.

### 3.2.1 Anforderungen an Literatur der Datenstandards

In diesem Abschnitt sollen Anforderungen aufgestellt werden, mithilfe dessen die Literatur bewertet werden kann. Diese Anforderungen ergeben sich aus der Motivation, der Problemstellung sowie Gesprächen mit Experten. Sie dienen dazu, festzustellen, ob die identifizierte Literatur die, in dieser Arbeit beschriebene, Problemstellung behandelt und eine Lösung bietet:

1. Bezug zur Automobilindustrie: Wie in Kapitel 2.1 beschrieben fokussiert sich diese Arbeit auf die Automobilindustrie. Daraus folgt, dass die untersuchte Literatur einen Bezug zur Automobilindustrie aufweisen soll. Bei Betrachtung anderer Industrien ist zu prüfen, inwieweit sich die Erkenntnisse übertragen lassen. Wie in Kapitel 2.1.2 ausgeführt, besitzt die Fahrzeugproduktion besondere Eigenschaften, die sich stark von anderen Industrien unterscheiden. Ein direkter Bezug zur automobilen Montage wird in dieser Anforderung nicht gefordert, um die Literatur nicht zu stark einzuschränken.
2. Abdeckung des Lebenszyklus einer Anlage: Produktionsanlagen werden in der Automobilindustrie über den Lebenszyklus hinweg betrachtet, das heißt sowohl von Idee, Planung, Konstruktion, Inbetriebnahme über Nutzung bis zur Außerbetriebnahme werden Daten erzeugt (siehe Kapitel 2.1.3). Use Cases mit Datennutzung können ebenso Bezug zur Engineering Phase der Anlage wie auch zur Nutzungsphase der Anlage aufweisen. Für die geforderte Datenstruktur sollen Daten über den gesamten Lebenszyklus hinweg strukturiert, gespeichert und zugänglich gemacht werden.
3. In der Industrie anwendbar: In Kapitel 1.1 wurde dargelegt, dass die Industrie vor realen Anforderungen steht, wie der Umsetzung des digitalen Produktpasses der EU. Dem gegenüber stehen theoretische Modelle, die bei der Umsetzung helfen können, wie der RAMI 4.0 Würfel. Inwiefern diese theoretischen Modelle in der Industrie anwendbar sind, soll in dieser Anforderung geprüft werden. Ein allgemeiner Gestaltungsrahmen reicht in der Industrie nicht aus, um die Daten darauf basierend auszulegen. Es soll ein konkreter Handlungsleitfaden im Umgang mit Daten gegeben werden.
4. Abdeckung verschiedener Use Cases möglich: Im Gespräch mit Beteiligten der Automobilindustrie hat sich gezeigt, dass durch verschiedene Bereiche eine Vielzahl an Anwendungsfällen entstehen, die Daten benötigen. Sowohl Planung, Instandhaltung, Maschinenbediener als auch eine übergeordnete Umweltstelle stellen Anforderungen an Daten für ihre Use Cases. Beispielsweise benötigt die Anlagendokumentation strukturierte statische Daten, während Condition Monitoring Anwendungen zugängliche dynamische Daten benötigen.
5. Maschinenlesbarkeit durch Semantik: Wie in Kapitel 1.1 beschrieben steigt die Datenmenge, die erfasst und genutzt wird, weiter an. Viele Use Cases benötigen

eine große Menge an Daten, um beispielsweise KI-Modelle anzulernen und Auffälligkeiten im Prozess und der Qualität zu detektieren. Diese Daten können nicht von Hand ausgewertet werden, das heißt sie werden von Computern und IT-Systemen verwertet. Für diese Verwertung muss die Datenbasis eine Semantik aufweisen, die die Lesbarkeit durch Maschinen und IT-Systeme sicherstellt.

### 3.2.2 Referenzarchitekturen zu Datenstandards

Um das zuvor geforderte durchgängige Datenmanagement umsetzen zu können, bedarf es Regeln. Diese Regeln werden in Form von Referenzarchitekturen definiert und in Normen oder wissenschaftlichen Schriften festgehalten. Eine Architektur im engeren Sinne nach (DIN SPEC 91345) beschreibt Regeln und Prinzipien, die bei der Erstellung und Entwicklung von Elementen und deren Kombinationen innerhalb eines Modells unterstützen. Im Folgenden werden die Referenzarchitekturen der durchgeführten Literaturrecherche kurz beschrieben und anschließend nach den Kriterien aus Kapitel 3.2.1 bewertet.

Eine Referenzarchitektur, auf die in dieser Arbeit tiefer eingegangen werden soll, lässt sich nach (Reidt, Pfaff & Krcmar, 2018) wie folgt definieren:

*„Eine Referenzarchitektur ist eine abstrakte Architektur, die den Menschen die Entwicklung von Systemen, Lösungen und Applikationen erleichtern soll, indem sie Wissen bereitstellt und einen Rahmen zur Entwicklung vorgibt. Die Beziehung zwischen Referenzarchitektur und konkreter Architektur ist dadurch gekennzeichnet, dass Gegenstand oder Inhalt der Referenzarchitektur bei der Konstruktion der konkreten Architektur des jeweiligen zu entwickelnden Systems (wieder-)verwendet werden. Die Referenzarchitektur besitzt einen technischen Fokus, verbindet diesen jedoch mit dem dazugehörigen Fachwissen der jeweiligen Domäne. Sie bildet durch ihre Ausprägung und ihren Inhalt ein gemeinsames Rahmenwerk, um das detaillierten Diskussionen aller bei der Entwicklung beteiligten Stakeholder geführt werden können.“ (Reidt et al., 2018)*

Definierte Referenzarchitekturen können dabei die Basis für untergeordnete Systemarchitekturen bilden. Das bedingt, dass eine Referenzarchitektur einen hohen Abstraktionsgrad bietet. Ziel und Vorteil bei der Nutzung der Referenzen ist eine Konsistenz in der Entwicklung von einzelnen Systemarchitekturen. Das führt zu einer Standardisierung, die die Entwicklung erleichtert. (Reidt et al., 2018; Unverdorben, 2021)

Für den Anwendungsfall der Datennutzung in der Industrie existieren drei große Referenzarchitekturen sowie eine Vielzahl von Normen, die jeweils spezifischere Anwendungsfälle abdecken. Die drei Referenzarchitekturen sind das

*Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0* mit einem Schwerpunkt in Europa, das *Industrial Internet Reference Architecture* des Industrial Internet Consortiums mit einem Schwerpunkt in Nordamerika und das *Intelligent Manufacturing System Architecture* der Standardization Administration of the P.R.C mit einem Schwerpunkt in Asien. (DIN SPEC 91345; Standardization Council Industrie 4.0, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik in DIN & VDE, 2018; Weber, Wieland & Reimann, 2018)

### Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 wurde aufgestellt von der Plattform Industrie 4.0, mit der Beteiligung von mehr als 6000 Mitgliedsunternehmen (Weber et al., 2018). Eine Darstellung der als *RAMI 4.0 Würfel* bezeichneten Zusammenfassung des Modells ist in Abbildung 12 zu finden.

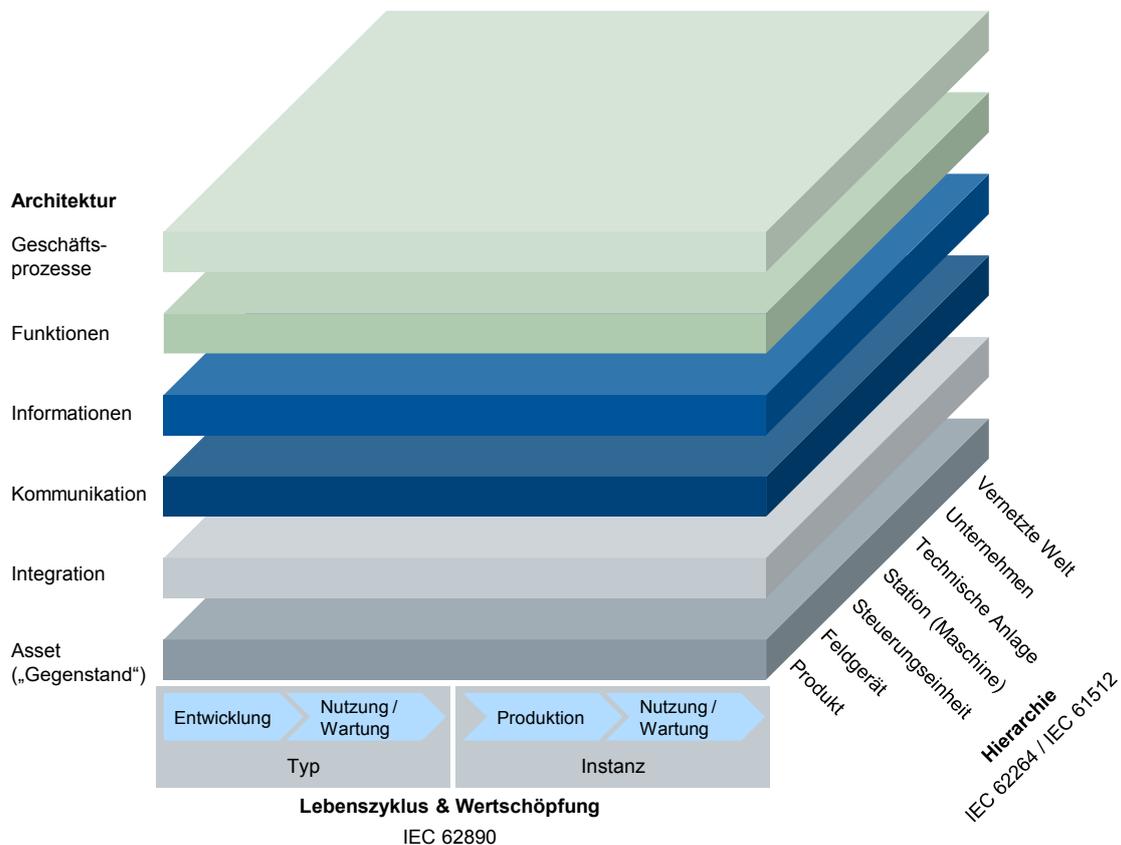


Abbildung 12: RAMI 4.0 Würfel nach (DIN SPEC 91345)

Die Norm DIN 91345 beschreibt zwei Referenzen, sowohl das übergeordnete RAMI 4.0 Modell als auch die I4.0-Komponente als Bestandteil des Modells. Der RAMI-Würfel ist ein drei-achsiges Schichtmodell. Die erste Achse stellt die Architektur-Achse dar. Diese beschreibt sowohl Rollen als auch Funktionen von Gegenständen. Ganz unten steht das Asset. Ein Asset kann jedes „Ding“ von Wert für ein Unternehmen sein. Die aufbauenden Ebenen beschäftigen sich mit der digitalen Repräsentanz des Assets, ihren Kommunikationskanälen, Eigenschaften, Funktionen und unternehmensdefinierten Grundsätzen für das Asset. Auf der Verlauf-Achse wird der Lebenszyklus des Assets

abgebildet. Sowohl die Phase des Typs als auch der Instanz des Assets werden hier nach IEC 62890 dargestellt. Abschließend gibt es die Hierarchie-Achse. In dieser wird das Asset nach (DIN EN 62264) und (DIN EN 61512) vom einzelnen Produkt über die betroffene Station bis hin in die vernetzte Welt eingeordnet. Damit wird der Umfang des betrachteten Gegenstandes beschrieben. (DIN SPEC 91345)

Dem Asset werden in einem weiteren Schritt Eigenschaften zugewiesen. Werden mehrere Assets zusammengefasst, entsteht ein neues Asset als Gesamtheit aus den einzelnen Assets. Ein zuvor eigenständiges Asset kann umgekehrt in einzelne Assets unterteilt werden. Assets können entworfen, erzeugt, genutzt und entsorgt werden. Dabei kann es sich sowohl um einen physischen Gegenstand handeln als auch um eine Idee, eine Software, ein Archiv oder ein Service. Das Asset besitzt einen Lebenslauf und ist eindeutig identifizierbar. Der Typ eines Assets definiert hierbei die Menge aller Merkmale, die die Instanzen charakterisieren können. Er wird in der Entwicklungsphase geschaffen. Die Instanz des Assets ist einem konkreten Asset zugehörig und repräsentiert die Ausprägungen der Merkmale des Typs. (DIN SPEC 91345)

Bekanntheit im Informationssystem (P-Klasse)	Kommunikationsfähigkeit (C-Klasse)			
	nicht	passiv	aktiv	I4.0-konform
als Entität verwaltet	CP 14	CP 24	CP 34	CP 44
individuell bekannt	CP 13	CP 23	CP 33	CP 43
anonym bekannt	CP 12	CP 22	CP 23	CP 24
unbekannt	CP 11	CP 21	CP 31	CP 41

Abbildung 13: CP-Einordnung von Assets nach (DIN SPEC 91345)

In ihrer Kommunikation können Assets vier Ausprägungen besitzen. Das nicht kommunikative Asset ist beispielsweise eine Schraube. Kann passiv mittels RFID (Radio Frequency Identification), Stichcode oder ähnlichem kommuniziert werden, wird von passiver Kommunikation gesprochen. Darüberhinausgehende Kommunikation wird in aktiv kommunikativ und I4.0 konform kommunikativ unterschieden. Hierbei wird von einer Basiskomponente beziehungsweise I4.0-Komponente gesprochen. Eine weitere Einordnung des Assets erfolgt auf Grundlage seiner Bekanntheit im System. Es wird unterschieden zwischen gänzlich unbekannt, anonym bekannt (bspw. Schraube in einer Box), individuell bekannt (Teil mit Typenschild) und als Entität verwaltet (eindeutig bekannt und in Informationswelt verwaltet). In Kombination aus Kommunikationsfähigkeit und Bekanntheit im IT-System ergibt sich ein CP-Wert wie in

Abbildung 13 zu sehen. Das *C* steht dabei für die Kommunikationsfähigkeit des Assets und das *P* steht für die Bekanntheit des Assets im Informationssystem. Eine Industrie 4.0-Komponente benötigt einen CP Wert von 2-4, 3-4 oder 4-4. (DIN SPEC 91345)

In der weiteren Detaillierung beschreibt die RAMI 4.0 Norm die Industrie 4.0-Komponente mit ihren beiden Bestandteilen, dem Asset und der Verwaltungsschale (AAS – Asset Administration Shell (englisch)). In dieser Arbeit wird das Thema in dem gesonderten Kapitel 4.5.2 bearbeitet.

### Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)

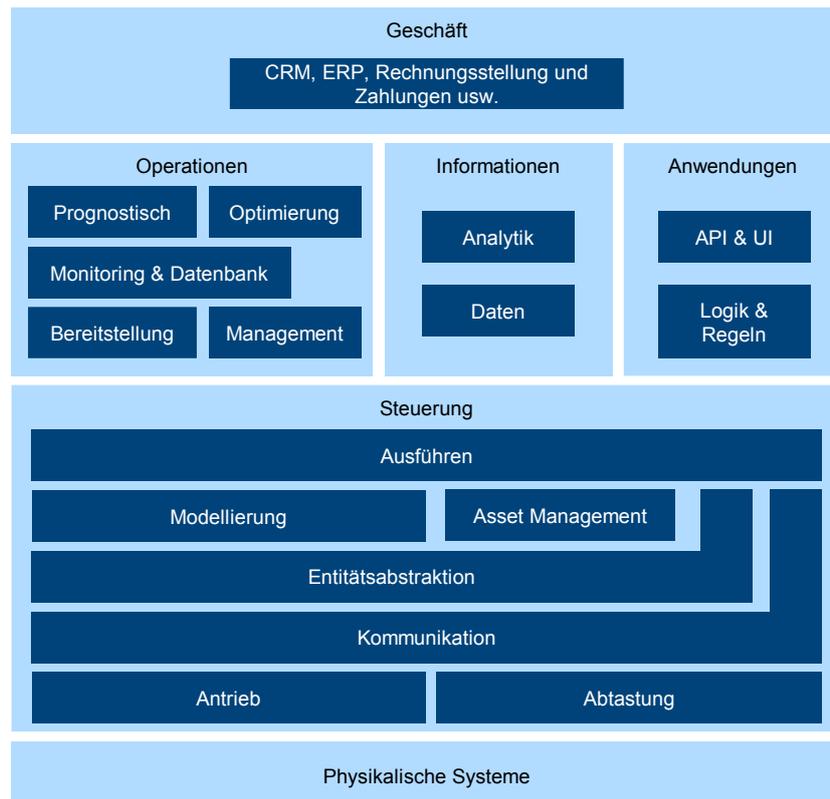


Abbildung 14: IIRA nach (Weber et al., 2018)

Das *Industrial Internet Reference Architecture* ist eine Referenzarchitektur des Industrial Internet Consortiums mit Beteiligung von über 200 Unternehmen. Schwerpunkt der Verbreitung liegt in Amerika. Ziel des Modells ist die Umsetzung des Internets der Dinge in der Industrie und damit der Anbindung industrieller Steuerungen an Online-Dienste. Damit wurde kein grundsätzlich neuer Standard geschaffen, sondern bestehende Standards harmonisiert und zusammengeführt. Wie in Abbildung 14 zu sehen, steht unten in dem Modell das Asset und darüber eine Anbindung beispielsweise per speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). In den beiden oberen Ebenen liegen Informationen und Daten sowie die Steuerung beispielsweise durch ein ERP-System. (Burns, Cosgrove & Doyle, 2019; Weber et al., 2018)

### **Intelligent Manufacturing System Architecture (IMSA)**

Das Modell Intelligent Manufacturing System Architecture der Standardization Administration of the P.R.C. ist ein Framework aus der asiatischen Region. Es liegt eine große Überdeckung mit dem RAMI 4.0 Modell vor. Dieses Referenzarchitekturmodell strukturiert ebenfalls in einem Würfel mit drei Ebenen: Lifecycle, Intelligent Functions und System Hierarchy. Aufgrund der hohen Überdeckung und einer angestrebten Harmonisierung mit dem RAMI 4.0 Modell wird auf dieses Modell nicht weiter eingegangen. (Standardization Council Industrie 4.0 et al., 2018)

Zusammenfassend bieten die großen Ansätze RAMI 4.0, IIRA und IMSA sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. Fokus des IIRA liegt auf der Abbildung eines digitalen Zwillings und der späteren Interoperabilität unter ihnen. Der RAMI 4.0 Ansatz zielt auf die Konformität der Komponenten ab und strebt eine konsequente Umsetzung der I4.0 Standards auf Kommunikationsebenen an. Auch in der Zusammenfassung zeigt sich ein hoher Deckungsgrad der Zielsetzungen sowie ein verhältnismäßig hoher Deckungsgrad in der Vorgehensweise. (Burns et al., 2019)

Zusätzlich zu den betrachteten Ansätzen, die über die Welt verteilt eine hohe Abdeckung erreichen in Bezug auf Standardisierung der Industrie 4.0 Bestrebungen, existieren viele kleinere Modelle und Normen, die sich konkreter mit Daten befassen:

### **Internet of Production als IT-Referenzarchitektur von (Schuh, Zeller & Stich, 2022)**

Das als IT-Referenzarchitektur ausgelegte Internet of Production (siehe Abbildung 15) legt seinen Fokus auf die Zugänglichkeit von Daten. Es soll für eine bessere Datendurchgängigkeit sorgen und einen schnelleren Abruf sämtlicher als relevant eingestufte Informationen ermöglichen. Dabei liegt sowohl die Bereitstellung als auch die Auswertung und die Visualisierung der Daten im Fokus. In der Darstellung wird der Produktlebenszyklus mit drei Stufen dargestellt: Entwicklungszyklus, Produktionszyklus und Anwenderzyklus. Über alle Zyklen hinweg bauen sich die Datenebenen auf. Angefangen mit den Rohdaten folgt die Middleware, die der Datenbereitstellung dient. Darauf aufbauend folgen Analysen und Aufbereitungen zu einem digitalen Schatten. Auf der obersten Ebene liegt der Entscheidungssupport. Auch hier lässt sich die Anlehnung an zwei Achsen aus dem RAMI 4.0 Würfel erkennen. Konkret ausgeschlossen sind in diesem Fall Rückkopplungen. Das heißt die Vorgehensweisen sind jeweils für den Lebenszyklus von links nach rechts und für die Datenebenen von unten nach oben ausgelegt. (Schuh et al., 2022)

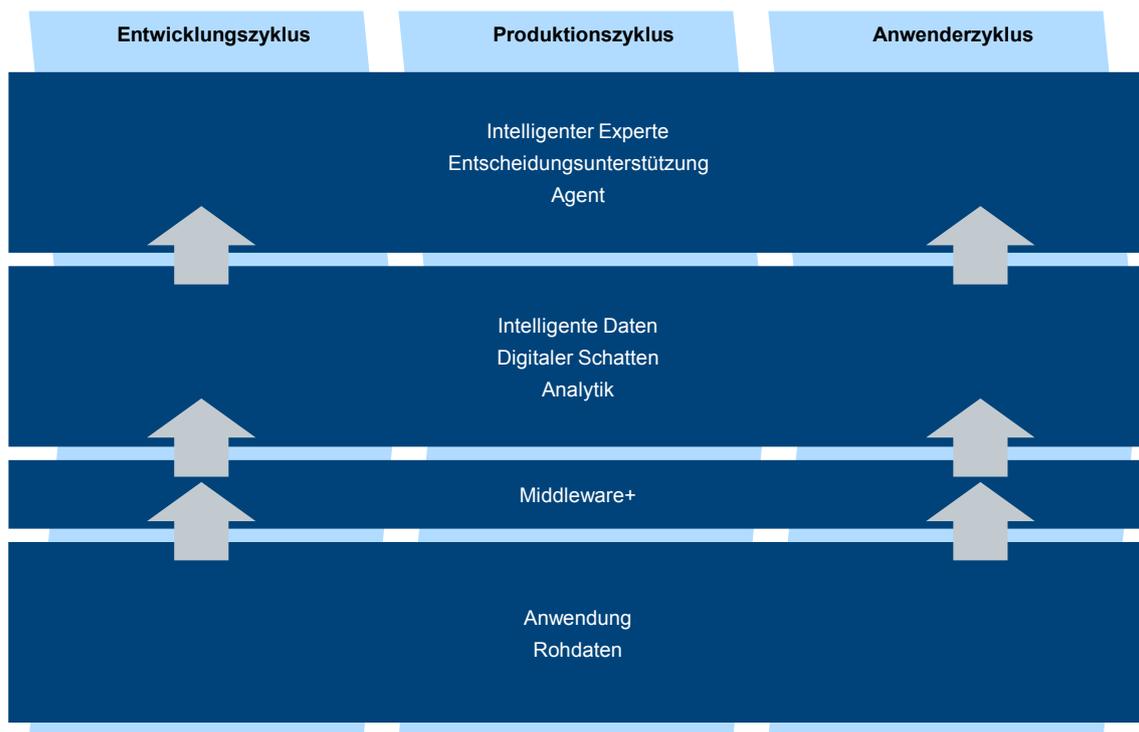


Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung des Internet of Production-Referenzarchitektur nach (Schuh et al., 2022)

### 3.2.3 Normen zu Datenstandards

Die Referenzarchitekturmodelle geben eine Einordnung zur konkreten Modellentwicklung. Darüber hinaus sollen Ansätze der konkreten Datenstruktur betrachtet werden. Insbesondere eignen sich dafür Normen. Die identifizierten Normen spezialisieren sich in vielen Fällen auf bestimmte Industriezweige oder bestimmte Phasen des Lebenszyklus einer Anlage oder einer Komponente. Im Folgenden werden die Normen der durchgeführten Literaturrecherche kurz beschrieben und anschließend nach den Kriterien aus Kapitel 3.2.1 bewertet.

VDI/VDE 3695 Engineering von Anlagen - Evaluieren und Optimieren des Engineerings (VDI/VDE 3695):

Die VDI-Norm 3695 bietet eine Hilfestellung sich im Engineering Bereich technisch und organisatorisch zu verbessern. Schwerpunktthemen in dem fünf Blatt umfassenden Dokument liegen in Prozessen, Methoden, Hilfsmitteln und Aufbauorganisationen. Das Thema der Anlagendaten wird damit nur im Bereich Engineering der Anlage betrachtet. Hierbei bietet Blatt eins einen kurzen Abschnitt zum Thema Wissensmanagement und Blatt fünf zum Thema Dokumentation und Weitergabe von Erfahrungen. Zusammengefasst wird nur ein geringer Teil des Lebenszyklus einer Anlage und in seiner inhaltlichen Tiefe nur oberflächlich betrachtet.

VDI 2770 Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen - Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie (VDI 2770):

Tabelle 1: Kategorien der Dokumente nach (VDI 2770)

Gruppe	Kategorie	Dokument
Identifikation	Identifikation	Elektrisches Typenschild, Foto Hauptdokument
Technische Beschaffenheit	Technische Spezifikation	Techn. Blatt, NE 100, Pflicht- /Lastenheft, Risikobeurteilung, Regelwerke
	Zeichnungen, Pläne	Schnitt- und Explosionszeichnungen, 3D Modelle, Wirkschaltplan
	Bauteile	Stückliste
	Zeugnisse, Zertifikate, Bescheinigungen	ATEX-Zertifikat, EU-Konformitätserklärung, Werkstoffzeugnis
Tätigkeitsbezogene Dokumente	Allgemeine Sicherheit	Allgemeine Sicherheitshinweise
	Bedienung	Nutzungshinweise, Gebrauchsanleitung, IBN-Anleitung
	Montage, Demontage	Montage-, Demontageanleitung, Aufstellungsplan, Fundamentplan
	Inspektion, Wartung, Prüfung	Inspektions-, Wartungs- und Prüfplan und –anleitung, Kalibrieranleitung
	Instandsetzung	Reparaturanleitung
	Ersatzteile	Ersatzteilliste, Verbrauchsmaterialien
Auftragsunterlagen	Vertragsunterlagen	Lieferschein, Rechnung, Garantiebestimmungen

Für die Prozessindustrie bietet die VDI 2770 Norm einen konkreten detaillierten Plan für die Struktur von Anlagendokumentationen. Vorgeschrieben wird, dass alle Dokumente digital übergeben werden müssen. Optional können sie zusätzlich schriftlich oder per CD oder per USB-Stick zugänglich gemacht werden. Darüber hinaus erfolgt eine Klassifizierung der Daten. Wie in Tabelle 1 zu sehen werden vier Gruppen (Identifikation, technische Beschaffenheit, tätigkeitsbezogene Dokumente, Vertragsunterlagen) und insgesamt zwölf Kategorien unterschieden.

Die auf diese Weise zusammengestellten Informationen werden in einem Hauptdokument zusammengefasst. Um die Datenstruktur zu standardisieren, folgt die Logik einer Metadatenstruktur. Diese muss die Lesbarkeit durch Maschinen sicherstellen. Die Metadatenstruktur wird durch eine XML (Extensible Markup Language) Datei abgebildet und folgt der DIN EN 82045-2. Die der Metadatenstruktur folgenden Dateiformate ermöglichen eine Langzeitarchivierung sowie eine Suchfunktion. Dafür werden sogenannte „digitale Container“ erstellt. Diese beinhalten sämtliche Dateiformate zu einem Dokument und werden mittels Metadatenstruktur beschrieben. Der Aufbau von komplexen Produktionsanlagen wird durch die Verschachtelung der begleitenden Dokumentationen einzelner Komponenten ermöglicht (siehe Abbildung 16).

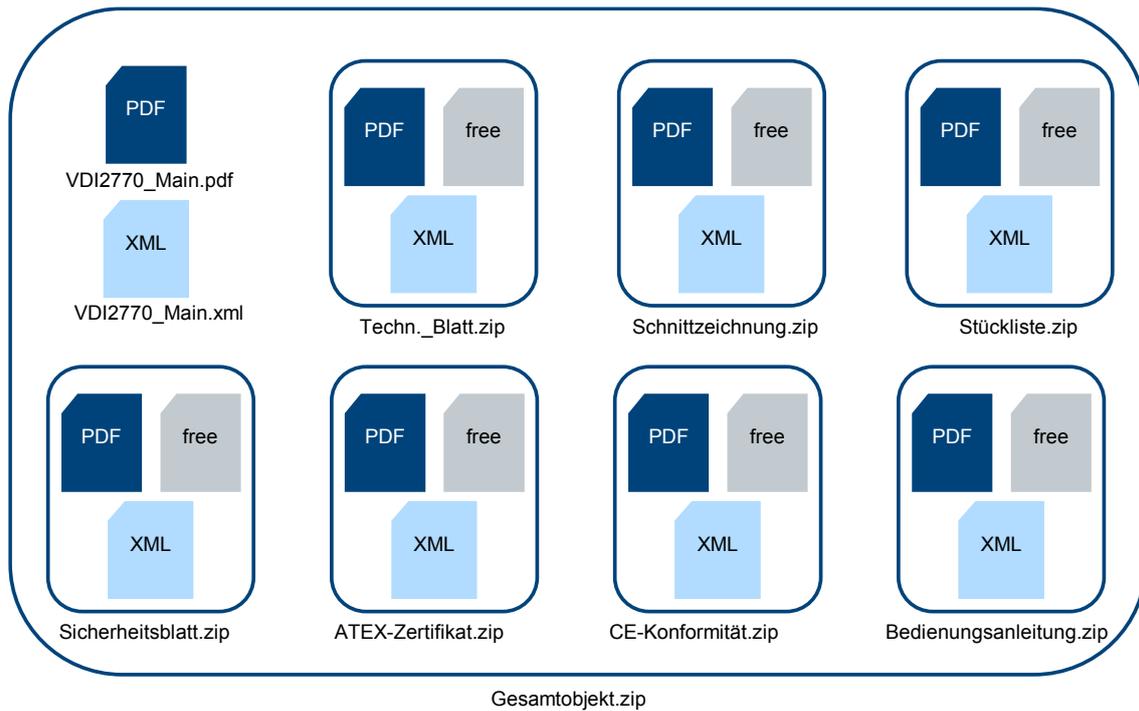


Abbildung 16: Dateistruktur nach (VDI 2770)

ISO 15926 Industrielle Automatisierungssysteme und Integration - Integration von Lebens-Zyklusdaten für Prozessanlagen einschließlich der Öl- und Gasproduktion (ISO 15926):

Diese Norm ist ein internationaler Standard für die einheitliche Modellierung von Daten in der Anlagenplanung und im -betrieb. Fokus liegt auf der Prozessindustrie. Es soll der gesamte Lebenszyklus abgebildet werden und eine Einbindung in Verwaltungsschalen ist denkbar (Kim et al., 2022). Aufgeteilt auf 14 Blätter führt der Standard durch ein Datenmodell und durch Referenzdaten für Geometrie und Topologie. Außerdem beinhaltet er einen Leitfaden zum Umgang mit Referenzdaten, eine Bibliothek und Informationen zur Lebenszyklusintegration.

ISO 22400 Automatisierungssysteme und Integration - Leistungskennzahlen (KPI) für das Fertigungsmanagement (ISO 22400):

Die ISO 22400 ist ein internationaler Standard zur Erfassung, Verarbeitung und Speicherung von Daten in der Produktion. Der Standard gliedert die Produktion in verschiedene Bereiche und legt fest, welche Daten in jedem Bereich erfasst werden sollten. Fokus liegt in der Definition von Key Performance Indicators (KPI). Bestandteile des Standards sind das Definieren der richtigen KPIs sowie das Erfassen des Anlagentrackings. Diese Norm kann dabei helfen, Daten nach KPI zu strukturieren und die Erfassung von Daten auf die benötigten zu reduzieren.

DIN EN ISO 14224 Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie - Sammlung und Austausch von Zuverlässigkeits- und Wartungsdaten für Ausrüstungen (DIN EN ISO 14224):

Ein weiter internationaler Standard zur Datenstrukturierung und -management für die Instandhaltung von Anlagen ist die Norm DIN EN ISO 14224. Er definiert einheitliche Klassifikationen, Codes und Datenstrukturen für die Instandhaltung und ermöglicht somit eine standardisierte Erfassung und Analyse von Instandhaltungsdaten. Fokus liegt hierbei stark auf der Prozessindustrie sowie dem Thema der Instandhaltung. Dabei werden Praktiken zur Qualitätssicherung von Daten beschrieben. Des Weiteren werden Anforderungen an Datensysteme in Bezug auf die Menge und Formate der zu sammelnden Daten gestellt.

DIN EN 61512 Chargenorientierte Fahrweise (DIN EN 61512):

Dieser Standard der International Society of Automation definiert einheitliche Modelle für die Automatisierung von Prozessen in der Anlagenproduktion. Fokus liegt hierbei auf der Chargenproduktion. Im internationalen Kontext wird die Norm unter der ISA-88 verwendet und mit der ISA-95 um die Integration von Enterprise- und Produktionssystemen erweitert. Er definiert die Schnittstellen und Datenmodelle zwischen verschiedenen Systemen und Komponenten in der Produktion.

DIN EN 62264 Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen (DIN EN 62264):

Die Norm DIN EN 62264 ist ein Standard zur Modellierung und Integration von Produktions- und Enterprisesystemen. Der Standard definiert die Datenmodelle und Schnittstellen für die Integration von Systemen und Komponenten in der Produktion. Für fertigungsnahe Unternehmen hat die Norm eine große Bedeutung in der Vereinheitlichung ihrer Enterprise Resource Planning (ERP) Systeme. Wesentliche Konzepte dabei sind die Modellierungssprachen und Datenformate Unified Modeling Language (UML) und XML. Mit Blick auf produzierende Unternehmen wird Wert gelegt auf die Schnittstellen zwischen klassischen ERP-Systemen und Manufacturing Execution Systems (MES).

DIN EN 62714 Datenaustauschformat für Planungsdaten industrieller Automatisierungssysteme - Automation markup language (DIN EN 62714):

AutomationML (AML) ist ein Standard zur Beschreibung von Produktionsanlagen und -prozessen. Er bietet eine einheitliche Modellierungssprache, um Informationen und Daten in der Produktion zu strukturieren und auszutauschen. Fokus liegt etwas stärker auf der Engineeringphase. Eine Abdeckung des Lebenszyklus ist aber möglich. (Ausführlichere Informationen zu AutomationML in Kapitel 4.5.4.)

## DIN EN 62541 OPC Unified Architecture (DIN EN 62541):

Das OPC UA-Protokoll (Open Platform Communications Unified Architecture) ist ein standardisiertes Protokoll zur Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen in der Automatisierungstechnik. OPC UA kann auch zur Strukturierung von Daten in einer Montageanlage verwendet werden. Fokus liegt stark auf der Kommunikation mit Anlagen während der Nutzungsphase. Es handelt sich um kein Framework zur Datenablage. (Ausführlichere Informationen zur OPC UA in Kapitel 4.5.4.)

## DIN EN IEC 63278 Verwaltungsschale für industrielle Anwendungen (DIN EN IEC 63278-1):

Das theoretische Konzept des RAMI 4.0 Würfels definiert die Verwaltungsschale als Umsetzung des digitalen Zwillings und des Konzeptes der DIN 91345. Sie ist hersteller- und industrieübergreifend und soll mittels definierter Semantik ein Metadatenmodell schaffen, um sämtliche Daten bezüglich eines Assets maschinenlesbar zu beschreiben. (Ausführlichere Informationen zur Verwaltungsschale in Kapitel 4.5.)

Bei Untersuchung der identifizierten Literatur lässt sich feststellen, dass keine der identifizierten Quellen die aufgestellten Anforderungen an eine umfassende Beschreibung der Datenerfassung, -strukturierung und -ablage von Montageanlagen eines Automobilbauers vollständig erfüllt. Aufgrund ihrer großen Überdeckung, wird stellvertretend für die drei großen Industrie 4.0 Ansätze das RAMI 4.0 Modell bewertet. Es deckt den Lebenszyklus ab und bietet eine hohe Abdeckung verschiedener Use Cases, aber die Anwendbarkeit in der Industrie ist aufgrund des hohen Abstraktionslevels gering. Das Referenzmodell Internet of Production fehlt ebenfalls die konkrete Vorgehensmethodik im Umgang mit Anlagendaten. Eine Norm, die positiv auffällt, ist die ISO 15926, ein internationaler Standard für die einheitliche Modellierung von Daten in der Anlagenplanung und im -betrieb in der Prozessindustrie. Hierbei ist jedoch der Bezug zur automobilen Montage nicht gegeben und eine Übertragbarkeit nur sehr schwer zu realisieren. Eine weitere hervorzuhebende Einzelnorm ist die VDI 2770, die für den Bereich der Anlagendokumentation eine sehr konkrete Struktur anbietet. Andere Normen wie die ISO 22400 sind zu spezialisiert auf Teilgebiete, sodass sie für eine allgemeine Abdeckung der Datenstruktur von Montageanlagen nicht in Frage kommen. Insbesondere geeignet scheinen die Normen für AML, OPC UA und Verwaltungsschale. OPC UA ermöglicht eine direkte Anwendung in der Industrie, die bereits jetzt in der Nutzungsphase der Anlage bereits häufig verwendet wird. AML verwendet eine Semantik, die die Maschinenlesbarkeit ermöglicht und Daten mit Metadaten versieht. Fokus liegt hier auf der Konstruktionsphase. Die Verwaltungsschale deckt den gesamten Lebenszyklus ab und erreicht damit eine volle Abdeckung aller Use Cases sowie die Integration einer konkreten Semantik. Einzig die Anwendbarkeit in der Industrie und insbesondere in der Automobilindustrie muss noch weiter untersucht

werden. Eine Zusammenfassung der Bewertung ist in Tabelle 2 zu finden.

Tabelle 2: Bewertung bestehender Literatur zur Datenablage

Norm	Bezug zur Automobilindustrie	Abdeckung des Lebenszyklus einer Anlage	In der Industrie anwendbar	Abdeckung verschiedener Use Cases möglich	Maschinenlesbarkeit durch Semantik
RAMI 4.0	◐	●	◐	●	◐
Internet of Production	◐	●	◐	●	○
VDI/VDE 3695	●	◐	◐	◐	◐
VDI 2770	○	◐	●	◐	●
ISO 15926	○	●	●	◐	●
ISO 22400	◐	○	●	◐	◐
ISO 14224	○	◐	●	◐	●
DIN EN 61512	●	◐	●	◐	●
DIN EN 62264	●	◐	●	◐	◐
DIN EN 62714	●	◐	●	◐	●
DIN EN 62541	●	◐	●	◐	●
DIN EN IEC 63278	●	●	●	●	●

Zusammenfassend lässt sich die Hypothese aufstellen, dass eine Kombination aus mehreren Normen in einem entsprechenden Gesamtmodell die Anlagendatenstruktur von Montageanlagen in der Automobilindustrie abbilden könnte. Führend kann hier die Verwaltungsschale sein, die in Kombination mit AML und OPC UA weitere Normen wie VDI 2770 für das Gesamtmodell als Standards übernehmen.

### 3.3 Datenlage im Anlagenengineering der Montage eines OEM

Um FF1.2 zu beantworten, soll im folgenden Kapitel die Betrachtung der Datenstrukturierung und Datenzugänglichkeit in der Praxis untersucht werden. Die Analyse soll aufzeigen, inwieweit eine Umsetzung bestehender Standards, Referenzarchitekturen und Normen stattfindet und wie der Umgang mit statischen Daten und Laufzeitdaten in der automobilen Montage erfolgt. Dabei werden ebenfalls bestehende datengetriebene Use Cases aufgezeigt und aktuelle Problemstellungen aufgrund des aktuellen Umgangs mit Daten dokumentiert.

## Leitfragen der Interviews:

*Welche Daten werden in welcher Phase des Lebenszyklus erzeugt?*

- *Wie werden diese Daten ausgetauscht und gespeichert?*
- *Welche Potentiale lassen sich erkennen?*

Um die aktuelle Datenlage einer Produktionsanlage in der Montage eines OEM beurteilen zu können, sollen leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt werden. Bei dieser Art der Interviews erfolgt die Durchführung während des Gesprächs auf Basis eines vorbereiteten Leitfadens. Experteninterviews sind charakterisiert durch die Auswahl an Gesprächspartnern. Als Experten bezeichnet werden Personen, „[...] *die sich – ausgehend von einem spezifischen Praxis- oder Erfahrungswissen, das sich auf einen klar begrenzbaren Problembereich bezieht – die Möglichkeit geschaffen haben, mit ihren Deutungen das konkrete Handlungsfeld sinnhaft und handlungsleitend für Andere zu strukturieren.*“ (Bogner, Littig & Menz, 2014). Diese Art von Interview zählt zu den qualitativen Forschungsmethoden. Es werden bewusst subjektive Ergebnisse generiert, die im Anschluss an die Interviews analysiert und ausgewertet werden. Bei der Durchführung der Interviews wurde sich an dem Vorgehen nach (Kaiser, 2021) orientiert und das in Abbildung 17 visualisierte Vorgehen durchgeführt. (Helfferich, 2011)

### **Die zehn Schritte der Planung, Durchführung und Analyse von Experteninterviews**

1. Entwicklung des Interviewleitfadens
2. Pre-Test des Interviewleitfadens
3. Auswahl und Kontaktierung der Interviewpartner
4. Durchführung des Experteninterviews
5. Protokollierung der Interviewsituation
6. Sicherung der Ergebnisse (Protokoll oder Transkription)
7. Kodierung des Textmaterials
8. Identifikation der Kernaussagen
9. Erweiterung der Datenbasis
10. Theoriegeleitete Generalisierung und Interpretation

Abbildung 17: Zehn Schritte eines Experteninterviews nach (Kaiser, 2021)

Experteninterviews zählen zu den am häufigsten verwendeten Forschungsmethoden, insbesondere in den Sozialwissenschaften. Die methodischen Grundlagen hingegen sind nicht umfassend beschrieben. (Bogner et al., 2014)

Der Leitfaden, der in Vorbereitung auf die Gespräche erstellt wird, soll ausgewogen eine offene Gesprächskultur fördern, aber dabei auch in einem gewissen Maß steuern. Nach (Helfferich, 2011) folgt daraus, „so offen wie möglich, so strukturierend wie nötig“.

Strukturiert werden die Fragen nach Reichweite, das bedeutet nach allgemeinen Fragen folgen spezifische Fragen. (Klemm & Liebold, 2017)

Der entwickelte Leitfaden für die durchgeführten Interviews ist in Anhang A zu finden. Vorangestellt wurde eine Einverständniserklärung für die Aufnahme und anonymisierte Verarbeitung der erzeugten Informationen. Der Leitfaden ist in zwei Bereiche gegliedert in Anlehnung an die beiden Themenkomplexe dieser Arbeit. Der Hauptteil befasst sich mit dem Thema Daten einer Produktionsanlage. Der Betrachtungsraum wurde festgelegt als Zeitraum von der Konstruktionsphase, der Übergabe und der Inbetriebnahme über die Nutzungsphase bis zum End-of Production der Anlage. Hier werden entlang des Lebenszyklus jeweils die erhaltenen Daten vom Lieferanten sowie die erzeugten Daten vom Automobilbauer abgefragt. In einem zweiten Teil wird in die Technologie der Verwaltungsschale eingeführt und die Experten nach Ihrer Einschätzung zu Chancen, Risiken, Problemen und Hürden befragt. Der Leitfaden wurde in zwei Iterationsschleifen kontrolliert und optimiert.

Anschließend erfolgte die Zusammenstellung der zu befragenden Experten. Um der Befragung entlang des Lebenszyklus der Anlage gerecht zu werden, wurden Vertreter der zentralen Montageplanung, der Serienplanung der Werke sowie der Instandhaltung befragt. Aufgrund der Heterogenität der Montageanlagen werden die Vertreter der jeweiligen Planungen und Instandhaltungen so ausgewählt, dass ein breites Spektrum an pneumatischen und elektrischen Anlagen abgedeckt wird. Da der Umgang mit Daten ein standortspezifisches Thema ist, wurden neben den zentralen Montageplanern, die ein Wissen von verschiedenen Standorten miteinbringen, die Serienplanungen von mehreren Standorten befragt. Darüber hinaus wurde darauf geachtet, dass die befragten Experten bereits mehrjährige Erfahrung in ihrem Bereich mitbringen. Um sowohl hinsichtlich des Fachwissens als auch der Hierarchien breit aufgestellt zu sein, wurden mehrere Hierarchieebenen befragt.

Anschließend wurden die Interviews durchgeführt. Die insgesamt sieben Interviews erfolgten im Februar 2023 per Videotelefonie. Der Zeitrahmen jedes Gesprächs lag zwischen 45 und 90 Minuten. Im Anschluss wurden die Interviews transkribiert und ausgewertet.

Bei der Auswahl der geeigneten Auswertungsmethode steht die zentrale Frage nach dem Zweck der Interviews. Zu unterscheiden ist die Auswertung zu Informationszwecken und die Auswertung zur Theoriengenerierung. In dem hier vorliegenden Fall wird das Wissen der Experten als Menge von Informationen konzeptualisiert. (Bogner et al., 2014)

Basierend auf (Gläser & Laudel, 2004) beschreiben (Bogner et al., 2014) in ihrem Buch ein fünfteiliges Vorgehen zur Auswertung der Interviews mit dem Ziel der Informationsgewinnung: (Bogner et al., 2014; Gläser & Laudel, 2004)

- Fragestellung und Materialauswahl

- Aufbau eines Kategoriensystems
- Extraktion
- Aufbereitung der Daten
- Auswertung

Die *Fragestellung und Materialauswahl* erfolgt bereits bei Erstellung des Leitfadens. Durch Definition der Leitfrage sowie der konkreten Forschungsfragen im Interview werden die Inhalte festgelegt, die später generiert und ausgewertet werden sollen. Das Festhalten des Gesagten bestimmt in einem ersten Schritt die Materialauswahl. Alle niedergeschriebenen Texte auf Basis des Interviews bestimmen das Basismaterial. In dem hier vorliegenden Fall ist die Fragestellung und der daraus entstandene Interviewleitfaden in Anhang A zu finden.

In einem zweiten Schritt erfolgt der *Aufbau eines Kategoriensystems*, in welchem die einzelnen Kategorien und ihre Beziehungen zueinander definiert werden. Hierbei wird in der Literatur klassischerweise ein deduktives Modell beschrieben in der Auslegung der Kategorien. Die verschiedenen Kategorien sind in diesem Experteninterview die Lebenszyklusphasen sowie Konstruktionsphase, Übergabe und Inbetriebnahme, Nutzungsphase und End-of-Life. Dazu kommen die Kategorien Chancen und Risiken einer Industrie 4.0 Technologie zur Datenstrukturierung.

Die *Extraktion* dient der detaillierten Untersuchung der Texte hinsichtlich beinhaltenen Informationen. Die identifizierten Informationen werden aus den Ursprungstexten extrahiert und den aufgestellten Kategorien zugeordnet. Dieser zentrale Schritt bedarf der Interpretation der Texte. Daraus resultiert, ob Informationen relevant oder irrelevant sind und welcher Kategorie sie im Zweifel zugeordnet werden, falls eine mehrfache Deutung möglich ist. Hier können aufgestellte *Extraktionsregeln* im Einzelfall helfen, die korrekte Zuordnung zu ermöglichen. Die Extraktion der Ergebnisse ist insbesondere in der Abbildung 18 zu finden.

Im vierten Schritt, der *Aufbereitung der Daten*, wird die Qualität der bestehenden Datenbasis verbessert. Zusammenhängende Informationen aus verschiedenen Interviews oder Fragestellungen werden zusammengefasst und redundante Informationen reduziert. Offensichtliche Fehler der Interviewpartner oder des Interviewers können hier eliminiert werden.

Zuletzt erfolgt die *Auswertung*, mithilfe der generierten und aufbereiteten Daten sollen die zentralen Fragestellungen konsolidiert beantwortet werden. Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte gemeinsam und führte insbesondere zu den Potentialen in Abbildung 19.

In diesem Kapitel sollte folgende Leitfrage beantwortet werden:

*Welche Daten werden in welcher Phase des Lebenszyklus erzeugt?*

- *Wie werden diese Daten ausgetauscht und gespeichert?*

	OEM	Lieferant
Konstruktionsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Besprechungsprotokolle (Excel)</li> <li>▪ Layout Ist-Stand (DWG, DGN, PDF)</li> <li>▪ Dokumentengesamtlste</li> <li>▪ Zeichnungs-, Betriebsmittelnummer (System: ZBM)               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Link zu System: KVS</li> </ul> </li> <li>▪ Produktdaten (CAD-Format)</li> <li>▪ Strukturdaten (CAD-Format)</li> <li>▪ Simulationsdaten (CAD-Format)</li> <li>▪ Daten aus Erprobungen (Email o.Ä.)</li> <li>▪ Freigabelisten (Excel oder PDF)</li> <li>▪ Projektunterlagen (PDF, Excel, Word)</li> <li>▪ PDM-Blätter (Excel oder PDF)</li> <li>▪ Fotos (JPEG)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Konstruktionsdaten (CAD-Format)</li> <li>▪ Layout (DWG, DGN, PDF)</li> <li>▪ Prozessablauf/Prozessbeschreibung (PDF oder Word)</li> <li>▪ Prozesszeitendiagramm (Excel)</li> <li>▪ Elektronik Pläne (PDF)</li> <li>▪ Pneumatik Pläne (PDF)</li> <li>▪ FMEA (PDF oder Excel)</li> <li>▪ Anlagenbilder (Power Point)</li> <li>▪ Stückliste (Excel)</li> <li>▪ Hardwareliste (Excel)</li> <li>▪ Medien Anschlussdaten (Excel)</li> </ul>
Übergabe und Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lessons learned (PDF, Power Point)</li> <li>▪ Abnahmeprotokolle (PDF)</li> <li>▪ Mängelliste (Excel, PDF)</li> <li>▪ Berichtswesen (Excel, PDF)</li> <li>▪ Sicherheitstechnische Freigabe (PDF)</li> <li>▪ Vorabnahme inklusive Protokolle (Excel)</li> <li>▪ Endabnahme inklusive Protokolle (Excel)</li> <li>▪ Aufnahme der Anlage in standortspezifischen Systemen mit den zugehörigen Anlagedaten (Systemdaten)               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Instandhaltungssystem</li> <li>▪ Prozessleitreehner</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Betriebsanleitung (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ Zeichnungen (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ Elektronik Pläne (PDF)</li> <li>▪ Pneumatik Pläne (PDF)</li> <li>▪ Sicherheitslayout (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ SPS-Programm (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ CAD-Daten (CAD-Format)</li> <li>▪ Gefährdungsbeurteilung(Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ CE-Erklärung (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ Ersatzteillisten (Excel, PDF)</li> <li>▪ Wartungspläne (Excel, PDF)</li> <li>▪ Prüfprotokolle (Word, PDF)</li> <li>▪ Datenblätter zu Kaufteilen (PDF)</li> <li>▪ FMEA (Excel)</li> <li>▪ Ishikawa (PDF)</li> <li>▪ Schulungsunterlagen (Word, PDF)</li> </ul>
Nutzungsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anlagenfehlerverwaltung für Stördaten (Systemdaten)</li> <li>▪ Qualitätsdatenerfassung(Systemdaten)</li> <li>▪ Schichtbücher (Papierform)               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitale Ablage (Systemdaten)</li> </ul> </li> <li>▪ Condition Monitoring (Systemdaten)               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Je nach Verfügbarkeit</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewährleistungsthemen (Email)</li> <li>▪ Neue Dokumentationen bei Anpassungen (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ Nachträge bei Änderungen (Word, PDF, Power Point)</li> <li>▪ Firmware Updates (Systemdaten)</li> <li>▪ Infos von Komponentenlieferanten (Email)</li> </ul>
End-of Life	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bei konkret geplanten flexiblen BEMIs wird die Wiederverwendung konkret als Teil der Anlage geplant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informationen zu Demontage und Entsorgung (Word, PDF, Power Point)</li> </ul>

Abbildung 18: Generierte Daten aus den Experteninterviews

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass über den gesamten begleiteten Lebenszyklus der Anlage statische Daten sowie Laufzeitdaten erzeugt und empfangen werden. Die Gesamtaufstellung ist in Abbildung 18 zu sehen. Beginnend in der Konstruktionsphase werden permanent temporäre Daten ausgetauscht. Hierbei handelt es sich teilweise um Arbeitsstände von Daten der späteren Anlagendokumentation (Konstruktionsdaten, Layoutpläne, Elektropläne, Pneumatik-Pläne, Stücklisten, etc.) und um restriktive Daten seitens des Auftraggebers (Freigaben, Fotos, Produktdaten, etc.). Diese Daten werden temporär gespeichert und werden für eine spätere Nutzung nicht weiter zugänglich gemacht. Die Übergabe der Daten erfolgt in diesem Stadium über E-Mail-Verkehr sowie Systemschnittstellen zwischen Lieferant und OEM. Eine dauerhafte Speicherung findet nicht statt.

Mit der Übergabe der Anlage erhält der OEM die Anlagendokumentation vom Lieferanten. Alle die Anlage betreffenden statischen Daten, die für die Übergabe, Inbetriebnahme, Wartung, Nutzung, etc. benötigten Informationen, sind hier enthalten. Finale Stände der Dokumente aus der Konstruktionsphase, ebenso wie CE-Kennzeichnungen, Bedienungsanleitungen, etc. werden ebenfalls mit der Anlagendokumentation übergeben. Diese Daten werden sowohl in Papierform übergeben, sowie digital per USB-Stick oder CD oder über Systemschnittstellen geteilt. Die Art der Übergabe hängt teilweise von den Anforderungen im Lastenheft aber auch von den Befähigungen des Lieferanten ab. Die eingesetzten Formate beschränken sich hauptsächlich auf MS Office Dateien, PDFs und CAD spezifische Formate. Die Ablage dieser Daten ist abhängig von dem betreibenden Werk der Anlage. Eine physische Ablage der Papierdokumentation vor Ort kann stattfinden. Darüber hinaus werden die digitalen Versionen auf VW internen Laufwerken gespeichert und/oder in IT Systemen mit Datenbanken, die sowohl bei externen Partnern, dem betreibenden Werk als auch der Markenzentrale liegen können. Zusätzlich zu erzeugten Daten seitens der Lieferanten erzeugt der OEM Abnahmelisten, Mängellisten, etc. bei Übergabe und Inbetriebnahme der Anlage. Hierbei handelt es sich wieder um temporäre Daten, die lokal abgelegt werden und nicht für eine spätere Nutzung allgemein zugänglich gemacht werden.

In der Nutzungsphase erhält der OEM in der Regel keine Daten mehr vom Lieferanten. Ausnahmen können Anpassungen an der Anlage sein, Nachträge, Änderungen an der Dokumentation, Firmware Updates oder Informationen von Herstellern verbauter Komponenten. Diese Informationen werden teilweise in die Dokumentation eingepflegt, aber nicht konsistent in allen Ablagestrukturen der Dokumentation. Der OEM erzeugt abhängig von der Anlage während der Laufzeit Stördaten, Prozessdaten, Condition Monitoring Daten, Qualitätsdaten, Schichtdaten, etc. Die Ablage dieser Daten ist abhängig vom betreibenden Werk und der genutzten Software. Die Daten werden aufwändig aus der Steuerung der Roboter und Anlagenhersteller herausgefiltert und in dafür definierte Auswertetools integriert. In der Regel findet die Ablage der Daten in der gewählten extern oder intern entwickelten Software statt und ist somit nur für Nutzer

dieser Software zugänglich. Aufgrund des Aufwandes der Generierung der Daten wird in vielen Fällen auf die Erhebung von Condition Monitoring Daten verzichtet. Ein Datenstandard für SPS-Zugriffe wird in Form eines Konzern Standards (VASS – VolkswagenAudiSeatSkoda) geschaffen. Dieser ist nicht einheitlich auf allen Anlagen etabliert, wird aber bei Neuanlagen vom Lieferanten eingefordert. Darüber hinaus wird der OPC UA Standard über das Lastenheft eingefordert. Da aber keine differenzierte Betrachtung der benötigten Daten in entsprechenden Formaten erfolgt, liegt es teilweise im Ermessen der Lieferanten welche Umfänge mit dem OPC UA Standard übermittelt werden und welche nicht. Daraus folgt eine lückenhafte Abdeckung der Anlagendaten durch den Datenstandard. Eine weitere Möglichkeit für das Anfallen von Daten sind Umbaumaßnahmen an der Anlage. Werden während der Nutzung Bauteile ausgetauscht, ergänzt oder entfernt, liegen neue Daten zu den zusätzlichen Komponenten vor. Die Pflege dieser neuen Daten, sowie die Anpassung bestehender Pläne aus der Anlagendokumentation erfolgt nicht durchgängig in allen Medien.

Daten zum End-of-Production werden nur eingeschränkt eingefordert, abgelegt oder betrachtet. Über einen Standardpassus des Lastenhefts werden Informationen über die Demontage und Entsorgung eingefordert und über die Anlagendokumentation abgelegt.

Über den gesamten Lebenszyklus innerhalb des OEM-Betrachtungsrahmens gibt es mehrere Identifikatoren (IDs). Die sogenannte Betriebsmittelnummer ist eine für den OEM eindeutige Nummer der Anlage. Über diese Nummer kann in bestimmten Systemen eindeutig auf die Anlage referenziert werden und Daten können zu der entsprechenden Anlage eindeutig abgelegt werden. Eine weitere Nummer ist die VASS-Nummer. Die über den Konzernstandard etablierte Nummer identifiziert die Anlage ebenfalls eindeutig. Die dritte eindeutige Nummer in anderen Systemen ist die ZBM-Nummer. Diese ID Struktur ist auf viele verschiedene Systeme und Ablagestrukturen im Konzern zurückzuführen.

*Welche Daten werden in welcher Phase des Lebenszyklus erzeugt?*

- *Welche Potentiale lassen sich erkennen?*

Eine Zusammenfassung der Potentiale ist in Abbildung 19 zu finden. Das erste Potential der Datenstruktur eines OEM liegt in einem SPOT-Ansatz (Single Point of Truth). Die Mehrfachablage von Daten, insbesondere der Anlagendokumentation, führt zu mehreren Ausprägungen der Verschwendung, unter anderem Wartezeiten und Suchzeiten sowie die Gefahr von Inkonsistenzen und Fehlern in den Daten. Über die direkten Auswirkungen der Verschwendung hinaus erschweren die Themen eine konsequente Weiternutzung der Daten für Folgeprojekte. Temporäre Daten werden für eine spätere Nutzung gar nicht zentral abgelegt, da sie für Folgeprojekte als irrelevant eingestuft werden. Durch eine entsprechende Struktur und einem damit verbundenen Wissensaufbau lassen sich temporäre Daten wie Mängellisten jedoch für Folgeprojekte

nutzbar machen. Weiteres Potential bieten Laufzeitdaten für Themen wie Condition Monitoring und Predictive Maintenance. Die Bestrebung zur Nutzung dieser Daten ist nach den Experten vorhanden, die Umsetzung wird aufgrund der großen Zugangsbarrieren zu den Daten jedoch erschwert. Vereinfachte Datenzugänge zu den Anlagen würden hier das Potential für eine umfassendere Laufzeitdatenanalyse bieten. Abschließend ist die Datenlage nicht zukunftsfähig ausgelegt. Zunehmende Regularien fordern beispielsweise eine konkrete Ausweisung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes oder einen Energieausweis von Produkten. Hierfür besteht keine Struktur, die eine einfache Erhebung dieser Daten in einem kurzen Zeitraum ermöglicht, sobald dies notwendig wird. Aufgrund der Größe des Unternehmens und der engen Zusammenarbeit mit den Lieferanten wurde im Konzern ein eigener Standard entwickelt, der die Bezeichnung und Anbindung von Anlagen, Komponenten und SPS in unternehmensinterne Systeme definiert. Dieser Standard (VASS) wird aktuell weiterentwickelt und umfassender eingesetzt, um den Umgang mit der großen Anzahl an Assets im Unternehmen zu vereinfachen. Eine Kommunikation mit Lieferanten und Partnerfirmen sowie der Austausch von Daten ist jedoch nicht Ziel des Standards.

<b>Konstruktionsphase</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wissensmanagement der Planungsphase</li> <li>➤ Alle Daten bis zur Übergabe liegen lokal bei einem Anlagenplaner ab</li> <li>➤ Wissen über Änderungen während der Planungsphase geht verloren</li> </ul>
<b>Übergabe und Inbetriebnahme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anlagendokumentation an mehreren Ablageorten</li> <li>➤ Fehlende Datendurchgängigkeit</li> <li>➤ Änderungen gehen verloren</li> </ul>
<b>Nutzungsphase</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energie Monitoring und Carbon Footprint</li> <li>➤ Fehlende Datenbasis</li> <li>▪ Condition Monitoring und predictive Maintenance</li> <li>➤ Fehlende Datenbasis</li> <li>▪ Einbindung Werker in die Industrie 4.0</li> <li>➤ Berücksichtigung der manuellen Tätigkeiten der Montage im Hinblick auf I4.0 mangelhaft</li> </ul>
<b>End-of Life</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Keine konkretisierte Problemstellung, da die Thematik nicht weiter berücksichtigt wird</li> </ul>

Abbildung 19: Ergebnisse zusammengefasst aus den Experteninterviews

Abschließend wurde die neue Industrie 4.0 Technologie der Verwaltungsschale kurz vorgestellt und ein möglicher Nutzen für die Datenstrukturierung und -ablage bei einem Automobilbauer aufgezeigt. Die Experten wurden daraufhin bezüglich Chancen und

Risiken befragt.<sup>1</sup>

Die in Anhang K komplett einzusehende Auswertung der Chancen und Risiken lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Chancen wurden insbesondere bei einer Verbesserung der Datenverfügbarkeit, im neutralen Anlagenvergleich sowie der Verbesserung der Störungsauswertung inklusive Predictive Maintenance gesehen, hier lagen mehrfache Nennungen vor. Weitere Themen die als mögliche Chancen gesehen wurden:

- Vereinfachte Inbetriebnahme durch eine Standardisierung
- Verringerung der Suchaufwände nach Daten
- Vereinfachte Ablage der Daten
- Kostenvorteile durch verringerte Aufwände der Anlagendokumentation beim Lieferanten
- Vereinfachung einer Anlagenwiederverwendung
- Vereinfachung der Instandhaltungsarbeit

Bei den Risiken wurde ein erhöhter Pflegeaufwand als größtes Risiko eingeschätzt, gefolgt von der Hürde einer Standardisierung im Hinblick auf die heterogenen Werksstrukturen eines Automobilbauers. Ebenso häufig wurden Mehrkosten für Volkswagen und Lieferanten genannt, sowie die Gefahr einer scheiternden Umsetzung, wenn nicht alle Lieferanten (insbesondere kleinere Lieferanten) den Standard umsetzen können. Weitere Themen, die als mögliche Risiken gesehen wurden:

- Erschwerter Zugriff auf Daten
- Mangelnde Flexibilität durch die Standardisierung
- Verlust von Alleinstellungsmerkmalen
- Bauteile ohne Industrie 4.0 Konnektivität müssen manuell gepflegt werden
- Große Menge an produzierten und damit zu speichernden Daten
- Sicherheit der erzeugten Daten kann nicht in ausreichendem Maße sichergestellt werden

Es ist festzustellen, dass abhängig vom interviewten Partner Chancen gesehen werden,

---

<sup>1</sup> An dieser Stelle der Arbeit und in der Zusammenfassung der Ergebnisse der Experteninterviews kann diese Technologie stellvertretend für mehrere mögliche Umsetzung der Industrie 4.0 Bemühungen verstanden werden. Aufgrund der oberflächlichen Behandlung in den Experteninterviews und der generischen Fragestellung können die Antworten ebenfalls auf Technologien wie das AML-Komponentenmodell oder andere übertragen werden. Es geht in der Fragestellung der Interviews darum, einen Standard der Industrie 4.0 Bemühungen, der über aktuelle Normen und Standards hinausgeht, auf Chancen und Risiken zu prüfen. Eine ausführliche Beschreibung der angesprochenen Technologien erfolgt ab Kapitel 4.

in denen andere Interviewpartner starke Risiken sehen. Besonders auffällig ist dies in Bezug auf Kosteneinsparung beziehungsweise Mehrkosten durch die Standardisierung, sowie Vereinfachung und Verringerung des Aufwandes im Gegensatz zu erhöhtem Pflegeaufwand. Das verdeutlicht die Hürden in der Einführung einer Industrie 4.0 Technologie, die einen generalistischen Ansatz verfolgt. Die einzelnen Bereiche und Akteure im Unternehmen fokussieren ihre Use Cases und Problemstellungen, aufgrund der Heterogenität können dabei die Meinungen zu einer neuen Technologie unterschiedlich ausfallen. Das heißt, ein unternehmensweiter Einsatz der Technologie muss zentral koordiniert werden. Damit beispielsweise Bereiche, die einen höheren Aufwand als Nutzen im Umgang mit der neuen Industrie 4.0 Technologie haben, die Datenpflege für den späteren Gebrauch und Nutzen für das Gesamtunternehmen verfolgen.

Abschließend legen die Daten der Experteninterviews nahe, dass wenig branchen- oder industrieweite Standards verwendet werden, um den Datenzugang zu standardisieren. Neben einem Konzernstandard werden vereinzelt Schnittstellen wie beispielsweise OPC UA verwendet. Ein Standard, der flexibel eine Datenbasis zur Verfügung stellt und unterschiedliche und bei Bedarf neue Use Cases bedient, wird aber noch benötigt.

### **3.4 Forschungsbedarf**

In diesem Kapitel wurden die aufgestellten Forschungsfragen FF1.1 - FF1.3 bearbeitet. Im Folgenden wird eine Zusammenfassung über die offene Forschungslücke zu Datenstandards gegeben und FF2 als neue leitende Forschungsfrage konkretisiert.

#### **3.4.1 Offene Forschungslücke zu anwendbaren Datenreferenzstrukturen einer Montageanlage**

Zur Beantwortung der FF1.1 wurden Referenzstrukturen und Normen zu Datenstandards in der Literatur identifiziert und beschrieben (Kapitel 3.2). Zur Beantwortung der FF1.2 wurden Interviews in der automobilen Montage durchgeführt, wie aktuell mit Anlagendaten umgegangen wird (Kapitel 3.3). Dabei wurden jeweils die Defizite in Theorie und Praxis aufgezeigt und damit FF1.3 beantwortet.

*„Trotz verfügbarer Systeme zur elektronischen Datenverarbeitung sind die Übernahme, Zuordnung, Weiterverarbeitung und Nutzung dieser Herstellerinformationen mit einem hohen Aufwand verbunden. Aufgrund fehlender Regelungen zu Struktur und Klassifizierung der Herstellerinformationen können diese Systeme noch keine ausreichende Unterstützung bieten.“ (VDI 2770)*

Aus allen betrachteten Grundlagen, dem Stand der Technik bei Datenstandards im

Bereich automobile Montage sowie den Experteninterviews im Bereich Automobilmontage, ist zu erkennen, dass ein neuer Ansatz in der Industrie für einen Datenstandard von Produktionsanlagen benötigt wird. Resultierend aus den identifizierten Defiziten soll FF2 die Frage beantworten, wie diese Defizite aufzulösen sind.

### 3.4.2 Weiterführende Forschungsfrage

Der Ansatz der Industrie 4.0 ist bestrebt diese Forschungslücke zu schließen, da basierend auf dem I4.0 Gedanken neue Problemstellungen auftreten, wie die Frage der Cybersicherheit aufgrund von Interoperabilität oder dem Datenaustausch zwischen Fertigungsebene und Geschäftsplanungsebene, sowie zwischen Lieferant und OEM. Um den Herausforderungen des neuen Industrie 4.0 Gedanken gerecht zu werden, wurde die Verwaltungsschale als *Umsetzung des digitalen Zwillings* entwickelt, die im Folgenden als mögliche Lösung für die Problemstellung dieser Arbeit betrachtet werden soll. Wie in Kapitel 3.2.3 untersucht, ist der Industriestandard ein vielversprechender Ansatz, der die in dieser Arbeit aufgestellten Anforderungen an Datenstandards zu einem großen Teil erfüllt. (Plattform Industrie 4.0, 2020b; Quadrini et al., 2023)

Die Verwaltungsschale ist ein möglicher Umgang mit dem Standardisierungsgedanken der Industrie 4.0. Darüber hinaus können weitere Ansätze wie AutomationML-Komponente, OPC UA oder proprietäre IT-Systeme wie Siemens Teamcenter umfassend Anlagendaten beschreiben und zugänglich machen. In dieser Arbeit soll die Verwaltungsschale als neuer Ansatz für den Lösungsraum betrachtet werden. Wie Kapitel 3.2.3 gezeigt hat, bietet dieser Ansatz die höchste Abdeckung mit den beschriebenen Anforderungen. Es ist zu prüfen, ob der Ansatz die bestehenden Probleme lösen und insbesondere, wie der aktuell sehr theoretische Ansatz in die industrielle Montage übertragen werden kann. Insbesondere die Standardisierungsgremien Deutsches Institut für Normung (DIN) und Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) im Zusammenschluss der Standardization Council Industrie 4.0 haben die Verwaltungsschale in einem Fortschrittsbericht 2022 unterstützt und empfehlen die Thematik zu verfolgen und weiterzuentwickeln.

*„Zur Unterstützung der oben dargelegten Prozesse wie Maintenance-Funktionen und Ablage von Wissen in einer Lebenslaufakte müssen die Assets über genormte Schnittstellen mit genormter Semantik Daten mit Produktionssystemen und Anlagenbetreibern austauschen können. Dies wird über das Verwaltungsschalenskonzept erreicht, wenn die Verwaltungsschalen bzw. deren generische Teilmodelle sowie deren Kommunikation zwischen Industrie-4.0-Komponenten in Normen festgelegt sind [...]. Es wird empfohlen, die Aktivitäten [...] „Asset administration shell for industrial applications [...]“ zu unterstützen und voranzutreiben.“ (Brumby et al., 2022)*

Aus dem Grund wird an dieser Stelle die Verwaltungsschalenlogik als mögliche Lösung der aufgezeigten Defizite in Praxis und Theorie betrachtet. Daraus abgeleitet lässt sich FF2 folgendermaßen konkretisieren und als weiterführende leitende Forschungsfrage bearbeiten:

*FF2\*: Nach welcher Methodik kann eine automobiler Montageplanung das Konzept der Verwaltungsschalen Use Case orientiert als Lösung des Problemraums Datenzugänglichkeit in der Praxis umsetzen?*

In einer ersten Untersuchung müssen aktuelle wissenschaftliche Ansätze identifiziert werden, um die Verwaltungsschale in einem Industrieunternehmen umsetzen zu können. Dabei werden aktuelle Beiträge betrachtet, die eine Umsetzung der Standardisierungsansätze der Verwaltungsschale fokussieren. Dies ist unter der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

*FF2.1: Welche Methodiken existieren aktuell in der Literatur?*

Die identifizierten Ansätze sollen auf Kriterien hin untersucht werden, die sich aus den vorangegangenen Abschnitten der Arbeit ergeben. Dies ist unter der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

*FF2.2: Inwieweit erfüllen die Methodiken zuvor definierte Kriterien zur Umsetzung der Forschungsfrage?*

Auf Basis der identifizierten Defizite in den Implementierungsstrategien bestehender wissenschaftlicher Ansätze soll eine neue Methodik entwickelt werden. Dies ist unter der folgenden Forschungsfrage zusammengefasst:

*FF2.3: Wie kann eine neue Methodik gestaltet sein, die alle aufgeführten Kriterien erfüllt?*

## 4 Grundlagen und Stand der Technik der Verwaltungsschale

Kapitel 4 befasst sich mit dem Themenkomplex Verwaltungsschale. Die Verwaltungsschale wurde nach der initialen Idee 2015 erstmals 2016 vorgestellt als Umsetzung des digitalen Zwillings (Kuhn, Schnicke & Antonino, 2020). Sie ist ein grundlegendes Element des Reference Architektur Model für Industrie 4.0 (Abdel-Aty, Negri & Galparoli, 2022). Zu Beginn werden die Grundlagen beschrieben, hierbei werden die Themen Industrie 4.0, cyber-physische Produktionssysteme, digitaler Zwilling und Informationsmodellierung definiert und beschrieben. Anschließend folgt die detaillierte Betrachtung der Verwaltungsschale. Dafür werden die Entwicklungen des Standards untersucht, anschließend die Industrie 4.0-Komponente vorgestellt und abschließend der Aufbau der Verwaltungsschale beschrieben. Daraufhin folgt eine Abgrenzung zu weiteren aktuellen Standardisierungslösungen wie AutomationML und OPC UA. Der Stand der Technik wird auf Basis aktueller wissenschaftlicher Arbeiten untersucht, hierbei wird die Umsetzung und Implementierung der Verwaltungsschale in der Praxis betrachtet. Ausgehend von der Untersuchung wird die leitende Forschungsfrage beantwortet und eine mögliche Forschungslücke aufgezeigt.

### 4.1 Industrie 4.0

Als industrielle Revolutionen werden besondere technologische Fortschritte in der Industrie bezeichnet. Die erste industrielle Revolution ist geprägt durch die Weiterentwicklung der Dampfmaschine um 1769 und die damit verbundene Produktionssteigerung. Die zweite industrielle Revolution um 1900 verbindet die Entdeckung der Elektrizität, die flächendeckende Nutzung der Eisenbahn, Dampfschiffe und Telegrafen sowie die Fließbandfertigung in der Automobilindustrie. Durch die Erfindung des Computers für die Industrie und darauffolgend für den Heimgebrauch startet die dritte industrielle Revolution ab 1970, die ebenfalls die Erfindung des Internets beinhaltet. Als vierte industrielle Revolution wird die Vernetzung der realen mit der digitalen Welt bezeichnet und ist unter dem Begriff Industrie 4.0 bekannt. (Miebach, 2023)

Erste Ansätze einer Industrie 4.0 existieren in der Computer Technologie seit 1988. Die Bezeichnung wurde erstmalig 2011 auf der Hannover-Messe verwendet. Damit wurde durch die deutsche Bundesregierung ein Projekt der Zukunft beschrieben, in dem die Informationskultur der deutschen Fertigung gefördert werden soll. Das Ziel soll ein revolutionärer Ansatz im Umgang mit Daten des produzierenden Gewerbes sein. Der Kern der Industrie 4.0 ist die Zusammenarbeit von technischen Gegenständen und deren digitaler Repräsentanz untereinander. (DIN SPEC 91345; Roth et al., 2016; Wollert, 2018)

Dabei ist die Entwicklung der Industrie 4.0 Technologie kein ausschließlich deutsches Thema. Weltweit beschäftigen sich Unternehmen und Staaten mit der Optimierung der

globalen Wertschöpfungskette auf Basis der Digitalisierung. (Wollert, 2018)

Die Bestrebungen und Projekte der Bundesregierung, die I4.0 weiterzuentwickeln, werden unter der Plattform Industrie 4.0 zusammengefasst. Diese hat 2019 ein Leitbild für die Industrie 4.0 für 2030 veröffentlicht (siehe Abbildung 20). (Plattform Industrie 4.0, 2019)

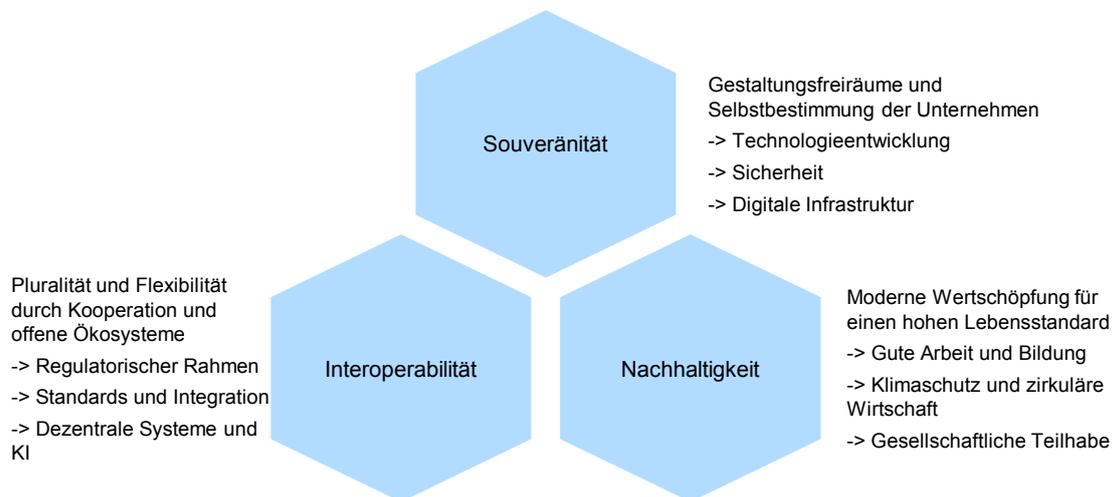


Abbildung 20: Leitbild 2030 für Industrie 4.0 nach (Plattform Industrie 4.0, 2019)

Industrie 4.0 besitzt verschiedene Facetten und Bestandteile. Ein allgemeiner Punkt ist die Wandlungsfähigkeit. Produktionssysteme sollen aus einer starren Struktur in modulare, veränderbare und damit reaktionsfreudigere Systeme überführt werden. Die Digitalisierung ist ein weiterer Punkt in Verbindung mit der Vernetzung der Fertigung. Durch digitale Abbilder und den digitalen Zugang zu Produktionsanlagen werden neue Planungsmöglichkeiten geschaffen und Auswertungen an den Maschinen erleichtert. Ein durchgängiges Engineering soll Bestandteil der Industrie 4.0 Bestrebungen sein. Eine Anlagenplanung besteht aus mehreren Bausteinen. Sowohl aus verschiedenen Fachrichtungen wie Mechanik und Elektrik als auch aus verschiedenen Beteiligten verschiedener Firmen. Die Planung untereinander soll eine Durchgängigkeit aufweisen, die den Austausch von Informationen erleichtert. Des Weiteren sind generative Fertigungsverfahren wie der 3D Druck Bestandteil der Industrie 4.0. Um die zuvor aufgeführten Bestandteile zu erreichen, wird an verschiedenen Handlungsfeldern gearbeitet. Ein Handlungsfeld ist der Arbeitsplatz und wie dieser in Zukunft aussehen kann und sich aufgrund der Digitalisierung verändern wird. Die Frage nach der Akzeptanz durch die Mitarbeiter wird bearbeitet. Ein weiteres Feld ist die Sicherheit, Datensicherheit und Informationssicherheit bei steigendem Datenaufkommen und erhöhter Vernetzung. Normen und Standards sind ein zusätzliches wichtiges Handlungsfeld. Die aktuell noch große Heterogenität bei neuen Digitalisierungslösungen führt zu einer zunehmenden Anzahl an Spezialisierungslösungen und daraus resultierenden Problemen der Konnektivität. Ein weiteres Handlungsfeld sind rechtliche Rahmenbedingungen. Veränderungen in den Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen und neu entstehende Geschäftsfelder durch die Veränderungen der

Industrie 4.0 können durch die Politik reglementiert werden. Ein Ansatz dieser Reglementierung ist eine Normungsroadmap (Standardization Council Industrie 4.0, 2023). Diese hat das Ziel einen Überblick über das jeweilige Technologiethema zu geben, die Entwicklung zu stärken und die Kommunikation zwischen den Beteiligten zu fördern.<sup>2</sup> Ein letztes zu nennendes Handlungsfeld ist die Forschung und Innovation. Dieses Feld ist die Voraussetzung für neue Normen und Standards. (Wollert, 2018)

## 4.2 Cyber-physische Produktionssysteme

Hauptbestandteil der Industrie 4.0 sind cyber-physische Systeme (CPS). Diese sollen die Infrastruktur für das Zusammenspiel von physischer und virtueller Repräsentanz von Produktionssystemen bieten. Der nicht-physische Teil des CPS, die virtuelle Repräsentanz, wird als digitaler Zwilling bezeichnet (siehe Kapitel 4.3). Die Umsetzung des theoretischen Gerüsts des digitalen Zwillings soll die Verwaltungsschale bieten (Kuhn et al., 2020). In diesem Kapitel soll vertiefend auf die oben eingeführten Fachtermini eingegangen werden. (Abdel-Aty et al., 2022)

Mögliche Einsätze und Use Cases sind nach (Plattform Industrie 4.0, 2017a) folgende:

*Tabelle 3: Use Cases von cyber-physischen Systemen*

Use Case	Beschreibung
Automatisierung der Automatisierung	Selbstständige Interaktion von Automatisierungskomponenten
Diagnose	Automatisierte Diagnosen anlagen- und komponentenübergreifend
Handlungsanweisungen	Automatisierte Handlungsanweisung an den Benutzer, zur verbesserten Bedienung
Augmented Reality	AR-Anwendungen benötigten Industrie 4.0 als Grundlage
Inbetriebnahme	Vereinfachtes Verständnis der komplexen Anlage während der Inbetriebnahme
Produktionsausführung	Optimierung des PPR-Ansatzes
Wartung/Fehlersuche	Unterstützung des Mitarbeiters durch das bedarfsgerechte Stellen von Informationen
Optimierung/"Big Data"	Datenbasis für entsprechende Optimierungen
Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)	Informationsbereitstellung über Prozesse und Ressourcen für eine flexible Produktionssteuerung
Wandlungsfähige Fabrik (WFF)	Befähigung zur Modularisierung der Produktionskapazitäten
Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL)	Bereitstellung standardisierter Informationen für die Planung der Intralogistik
Value Based Services (VBS)	Daten als neues Unternehmensfeld

<sup>2</sup> <https://www.dke.de/resource/blob/2244320/7954fb1eaf7265134b94f58e9fc919ff/deutsche-normungs-roadmap-industrie-4-0-version-5-data.pdf> [Zugriff am 07.08.2024]

Der Begriff der cyber-physischen Systeme (CPS) ist branchen- und anwendungsunspezifisch. Er findet sich sowohl in der Produktion, als auch in Kraftwerken, Energieübertragungssystemen, Flugzeugen und Zugsystemen (Lüder, 2020). Ein CPS ist das Zusammenspiel von physischen Systemen mit Computern und einer entsprechenden Kommunikation (siehe Abbildung 21). Zweck eines CPS ist in der Regel Steuerung, Überwachung und Manipulation von Objekten und Prozessen (Sheikh et al., 2022). Mit anderen Worten repräsentiert ein cyber-physisches System „...die angestrebte Einheit von Realität und digitalem Abbild und ist die Weiterentwicklung der Mechatronik zu einem symbiotischen Systemansatz auf Basis der informationstechnischen Vernetzung aller Komponenten...“ (Drossel et al., 2018).

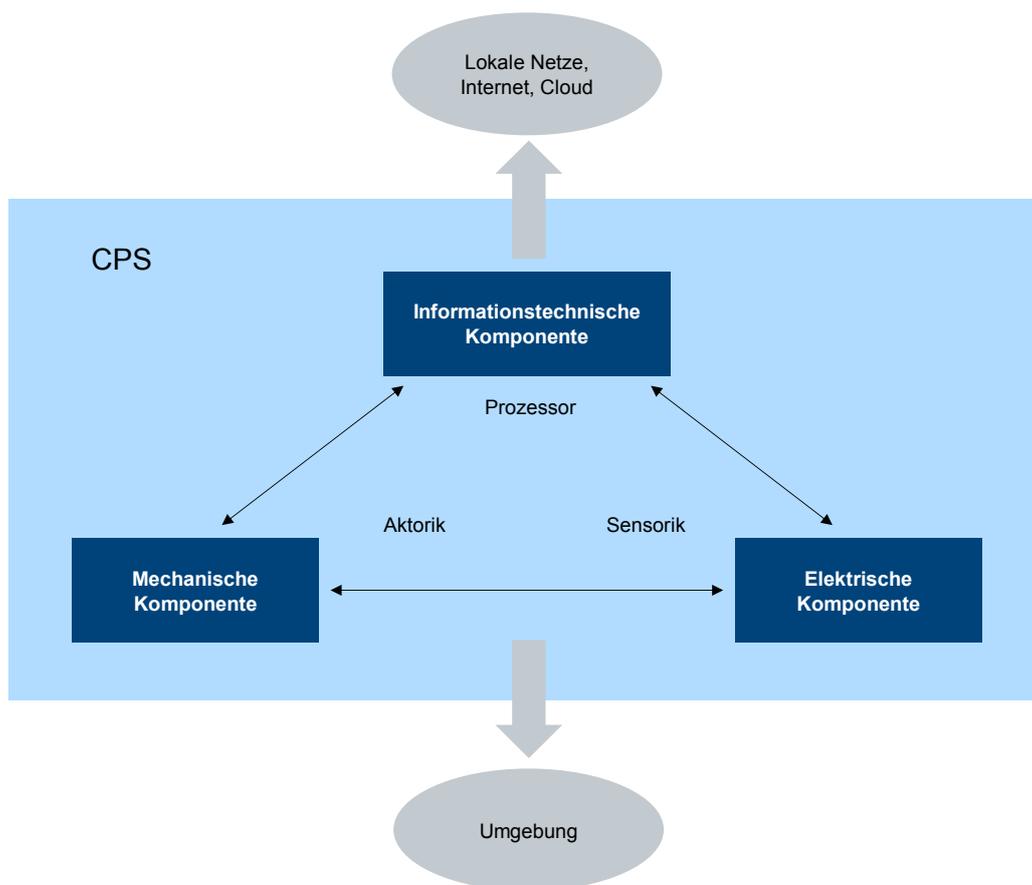


Abbildung 21: CPS in Anlehnung an (Pistorius, 2020)

Eine Spezifizierung der CPS im Bereich der Produktion bieten cyber-physische Produktionssysteme (CPPS). Hierbei stellt die Produktionswelt den physischen Teil des CPS dar. Ziel ist die Abdeckung des gesamten Lebenszyklus eines wandelbaren und flexiblen Produktionssystems. (Lüder, 2017)

Wie in Abbildung 22 zu sehen, sind sie zusammengesetzt aus dem physikalischen Teil der Produktionswelt und dem virtuellen Teil des Internets und entsprechender Informationstechnologien (Lüder, 2017). Der physische Teil bezeichnet die Hardware, das Bauteil, die Anlage, etc. Der andere Teil bezeichnet Daten, virtuelle Abbilder, Software, etc. zugehörig zu dem jeweiligen physischen Teil. (Pistorius, 2020)

Wichtige Charakteristika der CPPS sind nach (Broy, 2010; Pflaum & Klötzer, 2019):

- Direkte Verbindung zwischen physikalischer Welt und digitaler Welt
- Neuartige Systemfunktionen durch Informations-, Daten- und Funktionsintegration
- Funktionsintegration: Multifunktionalität
- Zugriff über Netze überregional, ortsungebunden
- Weiche bis harte Zeitanforderungen
- Umfangreiche Interaktion
- Netze von Sensoren/Aktuatoren
- Vernetzung innerhalb der Systeme und nach außen
- Dedizierte Nutzerschnittstellen: Starke Integration in Handlungsabläufe
- Einsatz unter oft schwierigen physikalischen Randbedingungen
- Langzeitbetrieb
- Automatisierung, Adaptivität, Autonomie
- Hohe Anforderungen an:
  - Funktionale Sicherheit
  - Zugriffssicherheit und Datenschutz
  - Zuverlässigkeit
  - Kostendisziplin

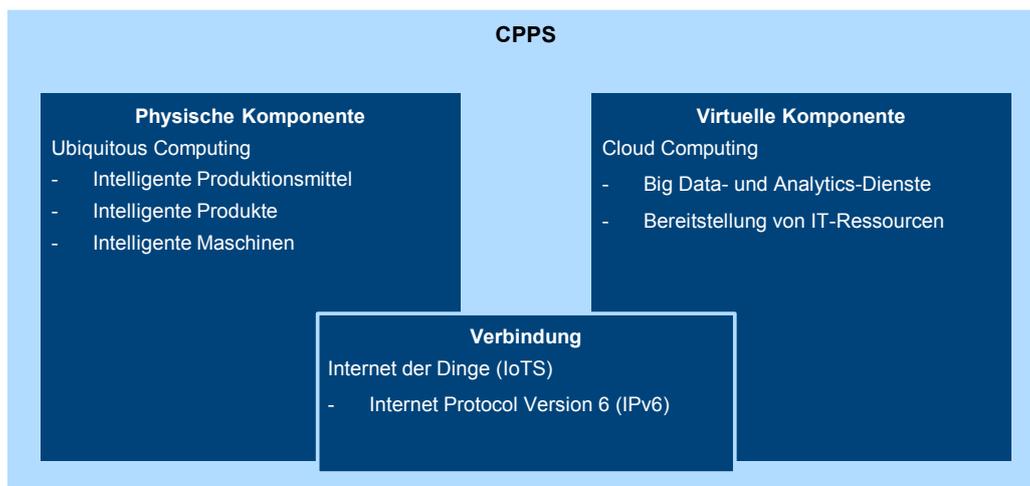


Abbildung 22: CPPS in Anlehnung an (Roth et al., 2016)

### 4.3 Digitaler Zwilling

Wie zuvor beschrieben besteht ein cyber-physisches Produktionssystem aus einem physischen Asset und seiner digitalen Repräsentanz. Dieses digitale Äquivalent wird als digitaler Zwilling bezeichnet. Das Konzept stammt aus der Raumfahrt der 1960er Jahre, um 2005 wurde es von Grieves erstmals in der Literatur formuliert als Basis für den modernen digitalen Zwilling. (Gehlhoff et al., 2022; Grieves, 2005)

Für den Begriff des digitalen Zwillings existieren viele Definitionen, die sich je nach Quelle leicht voneinander unterscheiden. Eine allgemeine Definition nach (Hribernik et

al., 2021) besagt, dass der digitale Zwilling eine digitale Abbildung eines Produktes, Systems oder einer Ressource darstellt. Dabei kann der digitale Zwilling in Abgrenzung zum digitalen Schatten nicht nur einen aktuellen Stand der gesamten Datenlage und visuellen Abbildungen bieten, sondern liefert darüber hinaus eine Darstellung des Verhaltens inklusive der Möglichkeit zur Simulation und Vorhersage. Wie die allgemeine Definition des digitalen Zwillings zeigt, hängt es stark vom ausgewählten Use Case ab, was die digitale Repräsentanz tatsächlich für die ausgewählte Anlage oder das ausgewählte Produkt beinhaltet.

#### 4.4 Informationsmodellierung

Daten, Informationen und Wissen werden im unternehmerischen Kontext zunehmend als Gegenstände von Wert betrachtet und ebenfalls als Assets bezeichnet. Angelehnt an die Wissenstreppe (siehe Kapitel 3.1) müssen Daten verknüpft werden und mit Metadaten hinterlegt werden, um einen Mehrwert für das Unternehmen zu generieren. (Weber, 2021)

Der aktuelle Stand der Praxis besteht aus Datenbanken sowie der Nutzung eines Datenbankmanagementsystems. Innerhalb dieses Systems soll die Ablage und spätere Nutzung erfolgen und funktionieren. Aus dem Grund bedarf es eines gleichen Verständnisses der Daten bei Ersteller und Nutzer. Dieses Verständnis ergibt sich nicht aus den Daten und Informationen selbst, sondern muss definiert werden. Insbesondere bei großen Datenmengen stößt diese Vorgehensweise auf Probleme in der Definition der Sprache. (Weber, 2021)

*Sprache* bezeichnet dabei eine Menge an Entitäten und Regeln, die dazu dienen, innerhalb eines Rahmens die Verständigung mehrerer Parteien zu vereinfachen. Innerhalb der Sprache definiert die *Grammatik* Regeln mit Hilfe derer Nachrichten erzeugt werden dürfen. Sie ist die Gesetzmäßigkeit für die Sprache. Um die Verständigung auf beiden Seiten einer Interaktion sicherstellen zu können, bedarf es der *Interaktionssemantik*, die beschreibt welche Bedeutung ausgetauschte Daten haben. Die *Ontologie* nutzt die Sprache, um Beziehungen zwischen Begriffen zu formulieren. (Plattform Industrie 4.0, 2016a)

Der in den 1970er Jahren daraus entstandene Zweig der Informatik nennt sich Informationsmodellierung. Im Folgenden soll auf die grundlegenden Modelle der Informationsmodellierung eingegangen werden. Gestartet mit den Entity-Relationship-Modellen (ERM) hat sich die Modellierung der Informationen entwickelt zur Unified Modeling Language.

Informationsmodelle werden auch als *Ordnungsschemata* bezeichnet, sie planen die Breitstellung und spätere Nutzung von Daten und Informationen, dafür muss neben den Informationen auch die Beziehung zwischen den Informationen abgelegt sein. In der industriellen Praxis führt das zu mehreren Problemfällen. Die Integration von Bestandsdaten in neue Strukturen ist ein häufig vertretener Anwendungsfall in der

Informationsmodellierung. Darüber hinaus kann eine Heterogenität in den bestehenden Strukturen der zu integrierenden Daten vorliegen. Sowohl persistente Daten als auch transiente Daten, die jeweils sowohl produkt- oder prozessbezogen sein können, sollen in einem Informationsmodell hinterlegt werden. Bei einem Informationsmodell das einheitlich für ein ganzes Unternehmen gelten soll, wird von einem Enterprise Information Model gesprochen. (Weber, 2021)

Das zu Beginn entstandene **Entity-Relationship-Modell** wurde 1976 von Herrn Peter Pin-Shan Chen entwickelt. Trotz neu entstandener Systeme besitzt das ERM weiterhin eine große Popularität in der Modellierung. Es beinhaltet die Konstrukte der Aggregation, Generalisierung, Rekursion und weitere Bestandteile. Unterschieden wird in dem Modell zwischen Entities und Relationships. Entities bezeichnen in dem Kontext Gegenstände mit ihren zugehörigen Eigenschaften und Relationships die Zuordnung der Gegenstände. Die Eigenschaften der Entities können mithilfe von Attributen beschrieben werden. Auf der Basis des grundlegenden Modells basieren mehr als eine Variante, mit denen gearbeitet wird (Loos & Fettke, 2007). Das ERM ist ebenfalls Basis für das aktuell am häufigsten genutzte Modell Unified Modeling Language (Becker, Probandt & Vering, 2012).

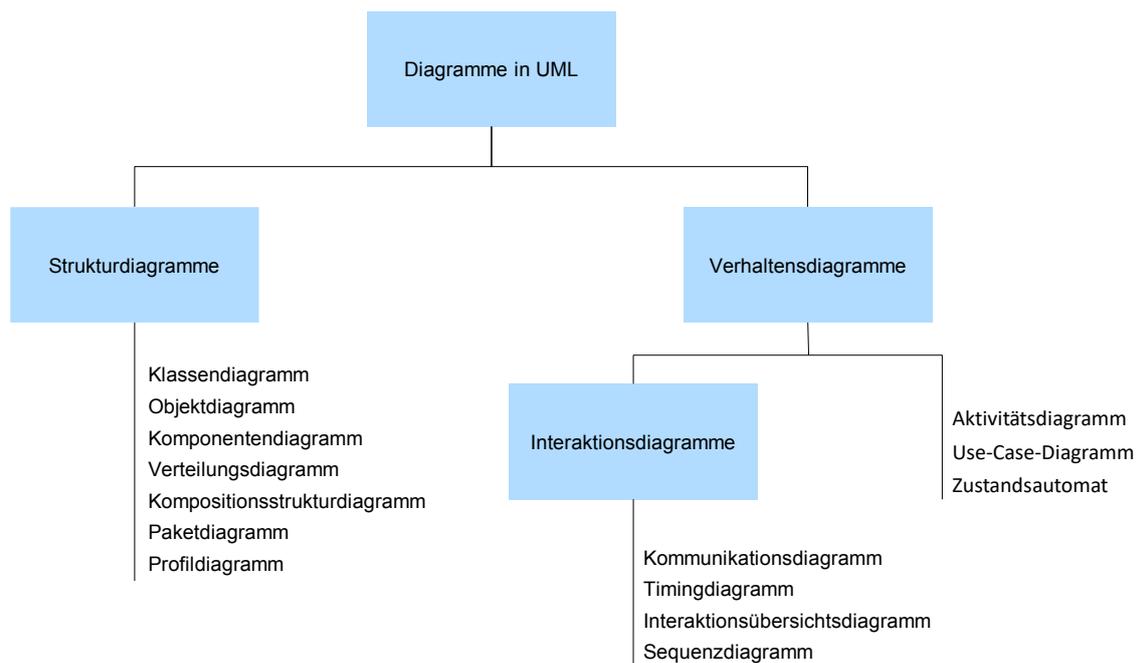


Abbildung 23: Diagramme der Unified Modeling Language nach (Alpar et al., 2023)

Für die Modellierung, Spezifikation und Visualisierung komplexer Systeme wird aktuell meistens die **Unified Modeling Language** verwendet. 1997 wurde das Modell von der Object management group sowie der Internationalen Organisation für Normung (ISO) standardisiert (Becker et al., 2012). Bestandteil der UML sind ca. 150 Notationselemente für die Modellierung. Wie in Abbildung 23 zu sehen, ist die gesamte UML in zwei grundlegende Diagrammtypen, Strukturdiagramme und Verhaltensdiagramme unterteilt (Müller & Weichert, 2023). Während Strukturdiagramme statische Modelle sind und die

Sicht auf die Struktur wiedergeben, sind Verhaltensdiagramme dynamisch und geben das Verhalten des Systems wieder. Der Kern vieler Modellierungen sind Klassendiagramme (Beispiel siehe Abbildung 24) als Unterkategorie der Strukturdiagramme. Damit werden beispielsweise Beziehungen zwischen Produkten und ihren Komponenten dargestellt. (Alpar et al., 2023)

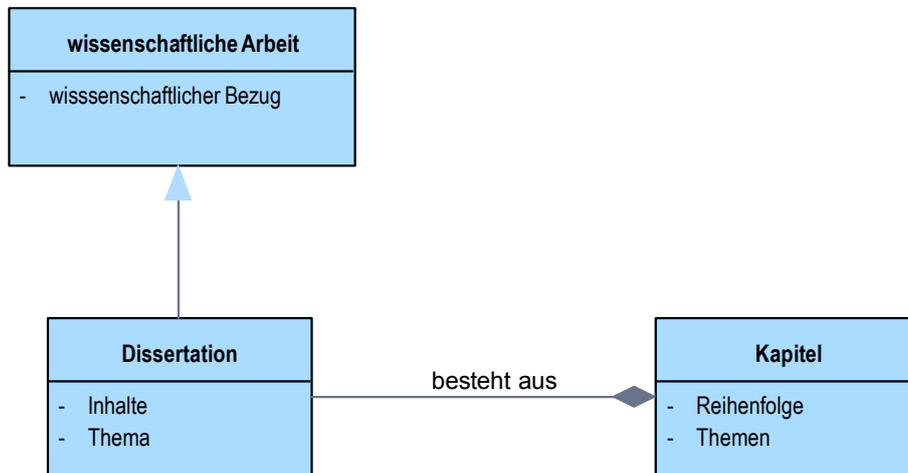


Abbildung 24: Klassendiagramm nach UML-Standard<sup>3</sup>

Die UML-Modelle werden laufend weiterentwickelt, um Forderungen nach stärkerer Prozessorientierung und der Betrachtung von Geschäftsprozessen gerecht zu werden. Dabei entstehen eine Vielzahl neuer unternehmensinterner Modelle, die die Komplexität der UML weiter steigern. Das führt zu sowohl quantitativen als auch qualitativen Problemen. Eines der Probleme ist das *YAMA-Syndrom* (Yet Another Modelling Approach – Syndrom), welches die Entwicklung neuer Modelle ohne konkreten Nutzen oder Beitrag über bestehende Modelle hinaus bezeichnet (Loos & Fettke, 2007). Das verdeutlicht die Bedeutung einer vorangegangenen Bewertung und eines Vergleichs bestehender UML-Modelle, bevor ein neues Modell eingeführt wird. (Maicher & Scheruhn, 1998)

Bestandteil des Standardisierungsansatzes Verwaltungsschale ist die Semantik. Die Bedeutungslehre weist Zeichen und Symbolen eine konkrete Bedeutung zu. Eine Möglichkeit dies zu erreichen verfolgt **ECLASS**. Der ECLASS e.V. ist eine Standardisierungsorganisation, die seit 2000 mit ca. 150 Mitgliedern Bibliotheken erstellt, die Zeichen eine konkrete Bedeutung zuweisen. Zentrales Alleinstellungsmerkmal ist dabei Produkte und Dienstleistungen sprachneutral, maschinenlesbar und branchenunabhängig zu beschreiben. (Bondza et al., 2018)

Es handelt sich um ein formal semantisches Wörterbuch in dem die Produkte und Dienstleistungen beschrieben und klassifiziert sind. Jedes Strukturelement besitzt dabei einen ECLASS Standard International Registration Data Identifier (IRDI). Dieser ist global eindeutig und einzigartig im System. Der Identifier basiert auf den Normen ISO

<sup>3</sup> UML Diagramme werden in dieser Arbeit mit SPARXSYSTEMS Enterprise Architect erstellt: <https://www.sparxsystems.de/enterprise-architect/> [Zugriff am 07.08.2024]

11179-6. ISO 29002 und ISO 6532. Erzeugt wird der Identifier mittels des International Code Designator 0173. Nicht nur für das einzelne Produkt wird ein Identifier festgelegt, sondern auch für alle dazugehörigen Klassifikationsklassen, Applikationsklassen, Attribute, Maßeinheiten, Eigenschaftswerte, Wertelisten, Aspekte, Blöcke und Vorlagen. Mit der IRDI wird jedes der aufgezählten Strukturelemente maschinenlesbar und eindeutig identifizierbar, zusätzlich wird eine für den Menschen lesbare Terminologie hinterlegt. (Belyaev et al., 2021)

## 4.5 Verwaltungsschale

Im Folgenden wird die Verwaltungsschale im Detail erklärt. Dafür erfolgt eine Betrachtung der Entstehung und Entwicklung der Verwaltungsschalenidee. Die Industrie 4.0-Komponente wird beschrieben und auf den konkreten Aufbau einer Verwaltungsschale wird eingegangen. Die Verwaltungsschale lässt sich wie folgt in die Ebenen des RAMI 4.0 Würfels integrieren:

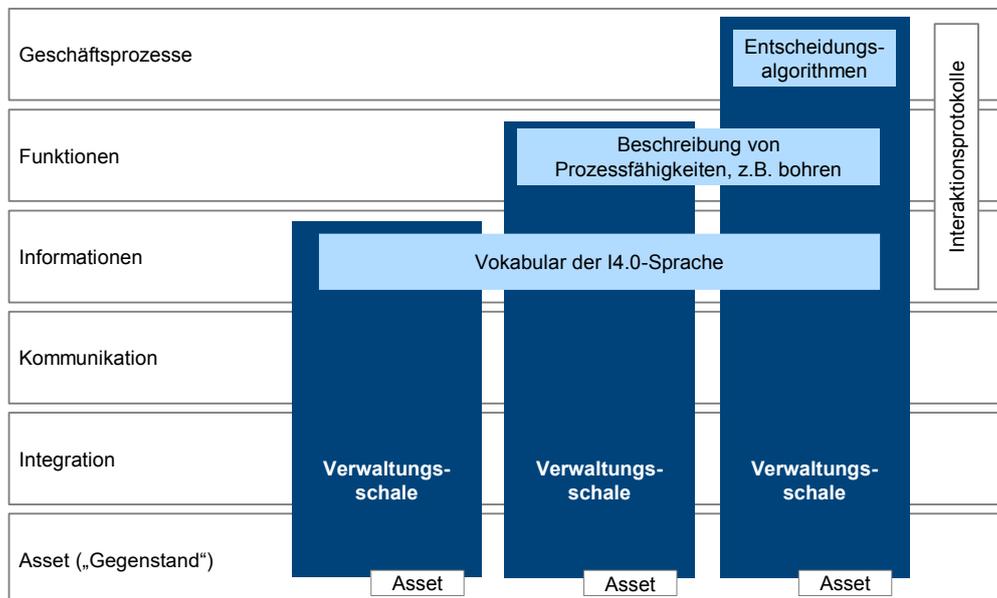


Abbildung 25: Einordnung in den RAMI 4.0 Würfel nach (Plattform Industrie 4.0, 2017a)

### 4.5.1 Entwicklung

Ziel einer von der Bundesregierung ins Leben gerufenen Initiative ist die konkrete Umsetzung des Industrie 4.0-Gedanken in die Praxis. Dabei soll über den Lebenszyklus hinweg, von der Entwicklung beim Lieferanten bis hin zur Nutzung und dem Recycling beim Anwender, eine Produktion in der Steuerung und Organisation unterstützt werden. Auf Basis des RAMI 4.0 Würfels wurden zwei konkrete Anforderungen an die Praxisumsetzung gestellt. Daten müssen über den gesamten Lebenszyklus hinweg gepflegt werden und zur Verfügung stehen, außerdem muss eine Verbindung zwischen *Typen* und *Instanzen* erhalten bleiben. (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

Aus den Anforderungen heraus ist 2015 das White Paper *Umsetzungsstrategie Industrie*

4.0 entstanden. In diesem Paper wird die Industrie 4.0-Komponente und damit die Verwaltungsschale eingeführt. Mit der Einführung der Verwaltungsschale sind direkte Anforderungen verbunden. (Plattform Industrie 4.0, 2015)

- Eine Verwaltungsschale soll identifizierbar mittels ID im Netzwerk sein
- Es soll eine Industrie 4.0 konforme Kommunikation festgelegt werden, inklusive I4.0 Semantik, wie beispielsweise OPC UA
- Es sollen Industrie 4.0 konforme Dienste und Zustände bedient werden. Sowohl Shopfloor Anwendungen als auch Office Anwendungen müssen auf die Verwaltungsschale zugreifen können
- Es soll eine virtuelle Beschreibung inklusive dynamischem Verhalten mit der Verwaltungsschale abgebildet werden
- Das gesamte Themenfeld Sicherheit muss berücksichtigt werden
- Quality of Services (QoS) muss sichergestellt werden. Das bedeutet Echtzeitfähigkeit, Ausfallsicherheit, Uhrensynchronisation, etc. müssen abgebildet werden
- Die Verwaltungsschale soll jederzeit Informationen über ihren Zustand abgeben können
- Die Verwaltungsschale soll schachtelbar sein, das heißt, jede Verwaltungsschale kann aus weiteren Verwaltungsschalen zusammengesetzt sein, so wie eine Anlage aus mehreren Komponenten bestehen kann

In weiten Teilen bedienen sich die Verwaltungsschale und die Industrie 4.0-Komponente bestehender Normen und Sprachen. Vorlage für die gesamte Struktur der Verwaltungsschalen bietet die Norm der digitalen Fabrik (DIN EN IEC 62832). Hier sind Assets als Bestandteile automatisierter Systeme definiert. Darüber hinaus werden sowohl strukturelle Beziehungen als auch Verhaltensbeziehungen beschrieben. Das Management von Eigenschaften und Merkmalen wird ebenso definiert wie hierarchische Beziehungen. Ebenfalls werden technische Aspekte in der Norm definiert. Diese aufgezeigten Strukturen von Assets und ihren Beziehungen zueinander werden als Grundlage für die Definition der Verwaltungsschalenstrukturen herangezogen. (DIN EN IEC 62832; Plattform Industrie 4.0, 2016b)

Detaillierter auf Merkmale und ihre Attribute geht die Norm DIN EN 61360 ein. Diese wird hinzugezogen, um die Merkmale in den Verwaltungsschalen weiter zu spezifizieren. Hierarchien, Klassen und Eigenschaften werden daraus übernommen. Attribute wie beispielsweise SI-Einheiten werden aus dieser Norm integriert, zur Definition der Industrie 4.0 Sprache. In der aktuellen Entwicklung einzelner Submodelle wird ebenfalls auf bestehende Normen Bezug genommen und bereits geleistete Standardisierungsarbeit übernommen. (DIN EN 61360; Plattform Industrie 4.0, 2016b)

#### 4.5.2 Industrie 4.0-Komponente

Moderne Produktionssysteme müssen befähigt werden, mit häufig wechselnden Kundenanforderungen und den damit verbundenen Produktänderungen umzugehen. Dafür lassen sich einige Anforderungen an moderne Anlagen eines Systems ableiten. Die eigenständige Integration einer Produktionsanlage in das Produktionssystem sowie die Bereitstellung der Informationen über Wartung und Instandhaltung sind die ersten Anforderungen. Darüber hinaus ist das Zurverfügungstellen der eigenen Leistung im Sinne der Anlagenfähigkeiten innerhalb des Produktionssystems zu nennen. Ein weiterer Punkt ist die Verfügbarkeit einer Schnittstelle, um anderen Ressourcen die Möglichkeit zu geben, mit der Produktionsanlage zu interagieren. Darüber hinaus müssen die Produkte des angesprochenen Systems befähigt werden, das Wissen über die eigenen Produktionsparameter zu halten und mit den Produktionsanlagen zu interagieren. (Lüder, 2020)

Eine Lösung für ein CPPS nach den zuvor beschriebenen Anforderungen bietet eine Industrie 4.0-Komponente. Die I4.0-Komponente besteht aus zwei Bestandteilen (siehe Abbildung 26). Der erste Bestandteil ist ein Asset (beispielsweise ein Bauteil). Ergänzend dazu besitzt jede I4.0-Komponente zwingend eine Verwaltungsschale, einen interoperablen digitalen Zwilling. Diese integriert Gegenstände in die Informationswelt. Mit der Idee einer Verwaltungsschale ist die Plattform Industrie 4.0 ca. 2015 gestartet und arbeitet seitdem an der Standardisierung und Nutzbarkeit der open source Plattform. (Diedrich & Riedl, 2017; Lüder, 2020; Plattform Industrie 4.0, 2020b)



Abbildung 26: Visualisierung einer I4.0-Komponente

Basierend auf der Idee der cyber-physischen Systeme wird von einem physischen Asset (Maschine, Anlage, Komponente) gesprochen, das um die zugehörigen Informationen erweitert wird. Das durch die Industrie 4.0-Komponente erweiterte Asset kann darüber hinaus konzeptioneller Natur sein. Das bedeutet, jedes „Ding“ von Wert für das Unternehmen kann ein Asset sein. Neben Bauteilen und anderen physischen Gegenständen zählen hierzu 3D Modelle, Softwarebausteine, Aufträge, Tools, etc.

Das Asset wird beschrieben durch konkrete Angaben wie Länge, Breite, Höhe, Drehzahl,

Typnummer etc. Die I4.0-Komponente zu diesem Asset wird mittels Verwaltungsschale beschrieben durch ID Länge, ID Breite, ID Höhe, ID Drehzahl, ID Typnummer etc. und wird mittels *Typ* und *Instanz* spezifiziert (Plattform Industrie 4.0, 2017a). *Typen* sind Merkmale, die nach ISO 13584-42 identifiziert werden können. Der zugehörige spezifische Wert für das Asset liegt in der *Instanz*.

Durch diese Art der strukturierten Beschreibung werden alle Assets auf die gleiche Art und Weise digital beschrieben und damit vergleichbar und kombinierbar in folgenden Analysen und Datennutzungen. Werden mehrere physische Assets und damit auch mehrere Verwaltungsschalen zusammengefasst, so entsteht eine neue I4.0-Komponente, bspw. eine Baugruppe. (Plattform Industrie 4.0, 2017a; DIN SPEC 91345; Reich, Zentarra & Langer, 2021)

Eine wichtige Eigenschaft der I4.0-Komponenten und damit der Verwaltungsschale ist die Kommunikationsfähigkeit. Informationen müssen gesendet und empfangen werden können. Dabei ist insbesondere die Informationsverfügbarkeit, -güte und -aktualität von Bedeutung. Die Kommunikation soll über den gesamten Lebenszyklus von der Entwurfsphase bis zum End-of-Life sichergestellt werden. (Hell, 2018)

#### 4.5.3 Aufbau Verwaltungsschale

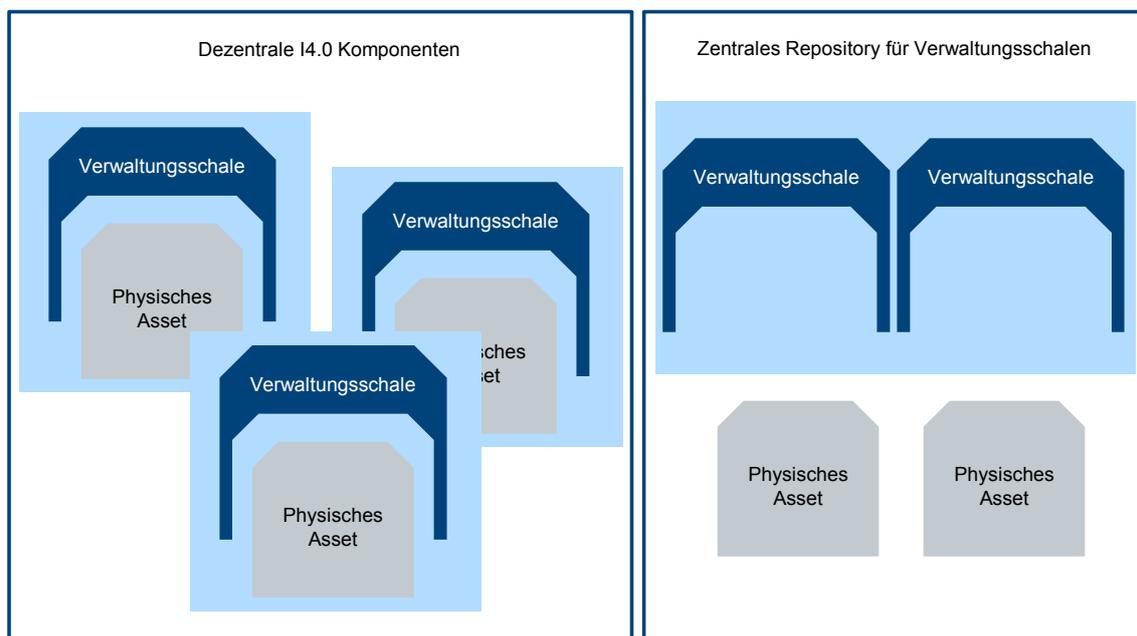


Abbildung 27: Mögliche Varianten der Organisation von Verwaltungsschalen

Die Verwaltungsschale stellt nach RAMI 4.0 Norm (DIN SPEC 91345) die digitale und aktive Repräsentanz eines Assets im I4.0 System dar und ist der digitale Part einer I4.0-Komponente. Die Struktur der Verwaltungsschale ist übergeordnet in zwei Bereiche aufgeteilt und nach (DIN EN IEC 63278-1) sowie (DIN EN IEC 62832) spezifiziert. Der erste Bereich ist der *Header*, er enthält das Manifest des Assets, also alle Informationen, die zur Identifikation, Bezeichnung und Verwendung des Assets benötigt werden. Dieses

Manifest ist standardisiert nach (DIN EN 61360), um als Teil eines I4.0 System identifiziert werden zu können. Dafür besitzt jedes Asset und jede Verwaltungsschale eine eindeutige ID. Im zweiten Bereich, dem *Body*, werden sämtliche Informationen des Assets, in Submodellen organisiert, gehalten. Die Anzahl der Submodelle im Body ist beliebig und abhängig von den abgedeckten Use Cases. Gehalten werden die Bodys und alle Teilmodelle mit ihren Informationen im Komponentenmanager, dieser kann zentral als Repository (Cloud) ausgelegt sein oder eine dezentrale Datenhaltung aufweisen, solange es sich um entsprechend intelligente Produkte handelt (siehe Abbildung 27). Jedes Teilmodell enthält hierarchisch organisierte Merkmale, die auf individuelle Daten und Funktionen referenzieren. (DIN SPEC 91345)

Die Struktur der Verwaltungsschale und das konkret hinterlegte Datenmodell wird mittels UML-Standard beschrieben. Festgelegt werden die Daten Elemente Typen, die Submodel Elemente Typen und die allgemeine Struktur der Verwaltungsschale. (Plattform Industrie 4.0, 2020b)

Es werden verschiedene **Merkmalsklassen** innerhalb der Verwaltungsschale unterschieden. Die Basismerkmale beschreiben verpflichtende und standardisierte I4.0 konforme Merkmale für die gesamte Verwaltungsschale. Die Pflichtmerkmale beschreiben die verpflichtenden und standardisierten I4.0 konformen Merkmale für alle enthaltenden Submodelle. Optionale Merkmale sind nicht verpflichtende, aber standardisierte I4.0 konforme Merkmale für die Teilmodelle. Freie Merkmale hingegen sind nicht verpflichtend und nicht standardisiert, sondern häufig herstellerspezifisch. (DIN SPEC 91345)

Alle Merkmale besitzen verpflichtende Eigenschaften. Sie müssen in Typ und Instanz unterschieden werden können. Darüber hinaus müssen sie hierarchisch und abzählbar strukturiert sein. Eine Referenz in andere Verwaltungsschalen muss möglich sein. Ein weiterer Punkt ist die Informationssicherheit, die alle Merkmale erfüllen müssen. (DIN SPEC 91345)

Die Verwaltungsschale begleitet das zugehörige Asset über den Lebenszyklus hinweg. Das bedeutet, dass auch bei Eigentumsübergang des Assets die Verwaltungsschale mit übergeben werden kann. (Plattform Industrie 4.0, 2016b, Plattform Industrie 4.0, 2020b)

Die in diesem Kapitel beschriebene Struktur der Verwaltungsschale, auch Metamodell genannt, ist in Abbildung 28 zu sehen<sup>4</sup>. Je nach Anwendungsfall kann das Metamodell unterschiedlich komplex sein und die verschiedenen Submodelle und Submodell-Elemente enthalten. Auch die auszufüllenden Attribute in den verschiedenen Klassen des Metamodells hängen vom jeweiligen Anwendungsfall ab.

---

<sup>4</sup> Das Metamodell im Detail mit allen Attributen und weiteren Informationen ist hier zu finden: [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details\\_of\\_the\\_Asset\\_Administration\\_Shell\\_Part1\\_V2.html](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part1_V2.html) [Zugriff am 07.08.2024]

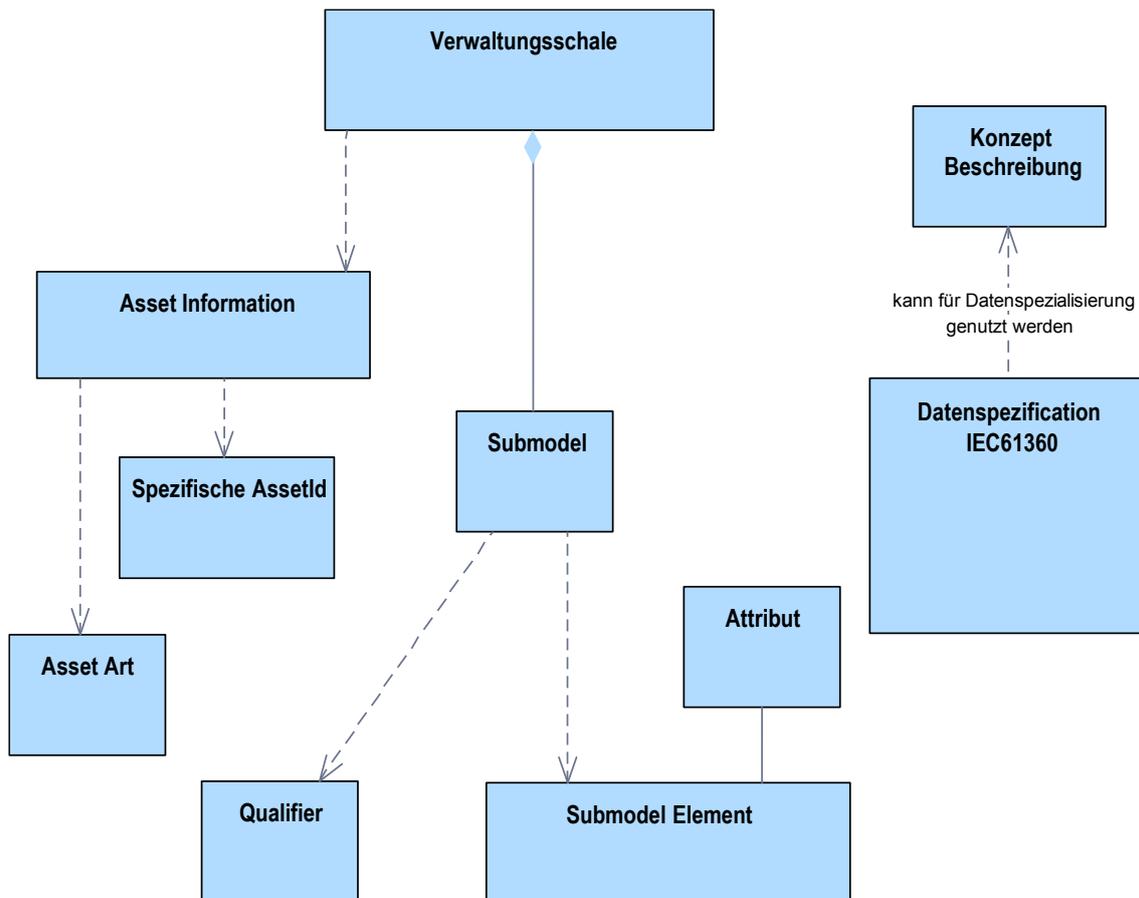


Abbildung 28: Abstrahiertes Metamodell der Verwaltungsschale nach (Plattform Industrie 4.0, 2020a)

In der **Kommunikation** wird zwischen drei Arten von Verwaltungsschalen unterschieden (siehe Abbildung 29). Die passive Schale hängt an dem Asset und dient dem Datenaustausch zwischen Beteiligten des Produktlebenszyklus. Eine reaktive Verwaltungsschale kann kommunizieren. Hierbei besteht eine Kommunikation mittels Application Programming Interface (API) zwischen der Schale und einem Repository / einer Cloud. Darüber hinaus kommuniziert die dritte Form, die proaktive Verwaltungsschale, auch untereinander, also zwischen verschiedenen Verwaltungsschalen (peer-to-peer interaction). Der aktuelle Stand der Forschung hat insbesondere die passive und die reaktive Verwaltungsschalenkommunikation beschrieben. Gegenwärtige Forschung arbeitet insbesondere an der Erweiterung der Kommunikation um den proaktiven Teil. Diese Bestrebung basiert auf der Annahme, dass zukünftige Systeme eine stark zunehmende Komplexität aufweisen. Ein möglicher Umgang mit komplexeren Systemen ist die Gestaltung eines dezentralen Ansatzes, welcher durch proaktive Verwaltungsschalen realisiert werden soll. (Plattform Industrie 4.0, 2020b; Sakurada, Leitao & La Prieta, 2022)

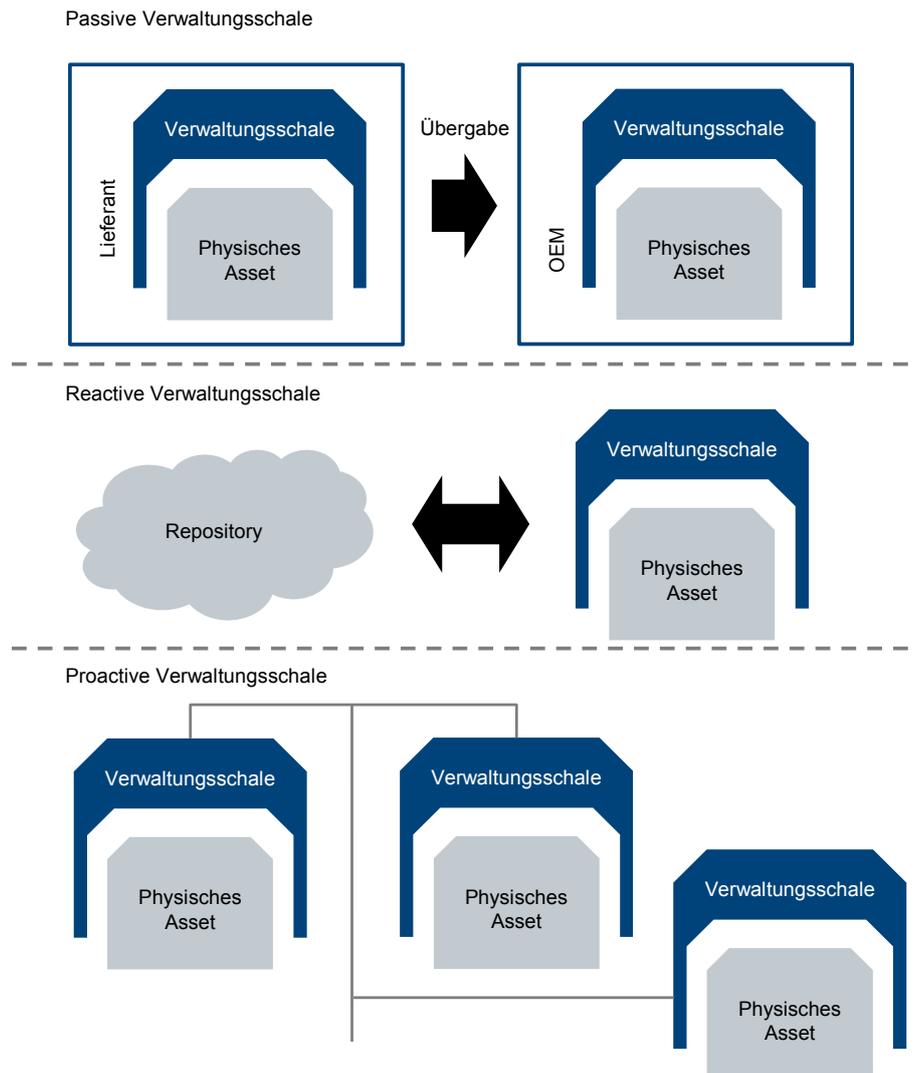


Abbildung 29: Drei Varianten der Kommunikation von Verwaltungsschalen nach (Plattform Industrie 4.0, 2020b)

Bei der Auswahl von **Teilmodellen** kann sowohl auf bestehende definierte Teilmodelle zurückgegriffen oder es können neue Teilmodelle erstellt werden. Hierbei gilt es zu beachten, standardisierte Bezeichnungen und Schnittstellen zu nutzen, um im I4.0 System als Teilmodell funktionieren zu können. Submodelle werden von verschiedenen Standardisierungsorganisationen wie der Industrial Digital Twin Association e.V.<sup>5</sup> (IDTA) oder Interopera<sup>6</sup> erarbeitet und veröffentlicht. Eine Auswahl an aktuell veröffentlichten Teilmodellen ist: Digital Nameplate, Contact Information, Handover Documentation, Time Series Data, Maintenance, Carbon Footprint, 3D CAD, etc. Hierbei sollen ausdrücklich keine neuen Standards geschaffen werden, solange bereits Standards und Normen existieren, die in der Verwaltungsschale verwendet werden können. Wie in Abbildung 30 zu sehen, basieren eine Vielzahl von Submodellen auf Normen, die die konkreten Anwendungsfelder der Submodelle zuvor bereits definiert haben. Das hilft

<sup>5</sup> <https://industrialdigitaltwin.org/content-hub/teilmodelle> [Zugriff am 07.08.2024]

<sup>6</sup> <https://interopera.de/teilmodellprojekte/> [Zugriff am 07.08.2024]

einerseits, den Aufwand bei der Erstellung neuer Modelle zu minimieren und erhöht andererseits die Akzeptanz einer neuen Technologie bei den Anwendern. (Plattform Industrie 4.0, 2016b, Plattform Industrie 4.0, 2020b)

		Normen
Verwaltungsschale allgemein		IEC TR 62794 IEC 62832 Digitale Fabrik
Submodelle	Identifikation	ISO 29008 URI einzigartige ID
	Kommunikation	IEC 61784 Fieldbus Profile, Kapitel 2
	Engineering	IEC 61360 / ISO 13584 Standard Datenelemente & IEC 61987 Datenstrukturen & ecl@ss
	Konfiguration	IEC 61804 EDDL & IEC 62453 FDT
	Interne Sicherheit	EN ISO 13849 & EN/IEC 61508 & EN/IEC 61511 & EN/IEC 62061
	Sicherheit vor externen Einflüssen	IEC 62443 Netzwerk- und Systemsicherheit
	Lebenszyklusstatus	IEC 62890 Lebenszyklus
	Energieeffizienz	ISO/IEC 20140-5
	Laufzeitdatenerfassung	VDMA 24582 Laufzeitdatenerfassung

Abbildung 30: Submodelle basierend auf bestehenden Normen nach (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

Eine wichtige Eigenschaft der Verwaltungsschale ist die Abbildung des **Lebenszyklus**. Daten können zwischen Lieferanten, Entwicklungspartnern, Systemintegratoren, Betreibern und Servicepartnern geteilt werden. Dabei erfolgt eine Anreicherung der Daten über den Lebenszyklus. In der Entwicklung neuer Anlagen wird ein neuer Typ einer Verwaltungsschale erzeugt. Diese Verwaltungsschale enthält wichtige Eigenschaften der neuen Anlage wie beispielsweise Drehzahl, max. Temperatur, etc. Bei Bestellung und Produktion einer Anlage dieses Typs wird eine Verwaltungsschale für die Instanz erzeugt. In dieser sind alle Eigenschaften der Verwaltungsschale des Typs plus Eigenschaften, die nur diese Instanz besitzt, wie die spezifische Seriennummer oder Daten aus dem Produktionsprozess. Zusätzlich werden in der Verwaltungsschale relevante Daten aus zugekauften Komponenten ergänzt, bzw. deren Verwaltungsschalen integriert. Mit Übergabe der Anlage vom Lieferanten an den OEM wird auch die Verwaltungsschale ausgetauscht. In der Nutzungsphase der Anlage wird diese dann mit Daten über die Laufzeit, Wartungen und Änderungen angereichert. (Plattform Industrie 4.0, 2020b)

Daten sollen mittels Verwaltungsschale über den Lebenszyklus und über Systeme hinweg zur Verfügung stehen. Dabei ist nicht jedes Merkmal für jedes System oder jeden Anwender beziehungsweise Nutzer der Daten relevant. Aus dem Grund wird zwischen verschiedenen **Sichten** unterschieden (Plattform Industrie 4.0, 2016b). Durch die Zuordnung von Sichten zu den einzelnen Merkmalen kann ein Abgleich stattfinden. In

diesem gleicht ein System oder eine Lebenszyklusphase ihre Erwartung an die gelieferte Informationsmenge mit den durch ihre Sicht beschriebenen Merkmalen ab. Die geschäftliche Sicht hat den Fokus auf Daten, die in erster Linie für Vertrieb und Marketing relevant sind, wie Preise, Lieferbedingungen oder Bestellcodes. In der konstruktiven Sicht werden Merkmale fokussiert wie Strukturdaten, physische Dimensionen, Eingangsgrößen oder Ausgangsgrößen des Bauteils oder der Anlage. Leistungsmerkmale oder Verhaltensmerkmale, die beispielsweise für eine virtuelle Inbetriebnahme (vIBN) verwendet werden können, liegen in der Leistungssicht. Die funktionelle Sicht betrachtet Merkmale der Skills, Inbetriebnahmefunktionen oder Diagnosefunktionen. Örtliche Zusammenhänge von Teilen und Komponenten innerhalb einer Anlage werden mit der örtlichen Sicht abgedeckt. Eine Kennzeichnung von sicherheitsrelevanten Merkmalen erfolgt mit der Security-Sicht. Bei dem Thema Vernetzung im elektrischen, fluiden oder logistischen Zusammenhang wird die Netzwerksicht verwendet. Wartungsprotokolle oder andere Daten zur historischen Verwendung sowie dem aktuellen Zustand des Assets werden in der Lebenszyklussicht betrachtet. Abschließend befasst sich die Sicht Mensch mit der Betrachtung der Verständlichkeit aller Merkmale für den Menschen. Wie in Abbildung 31 zu sehen ergibt sich daraus eine Matrix mit den Sichten auf der x-Achse und den Merkmalen auf der y-Achse. Unterschiedliche Merkmale können für unterschiedliche Sichten relevant sein. Wichtig ist hierbei das bewusste Auseinandersetzen mit der eigenen Sicht und den eigenen Anforderungen. (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

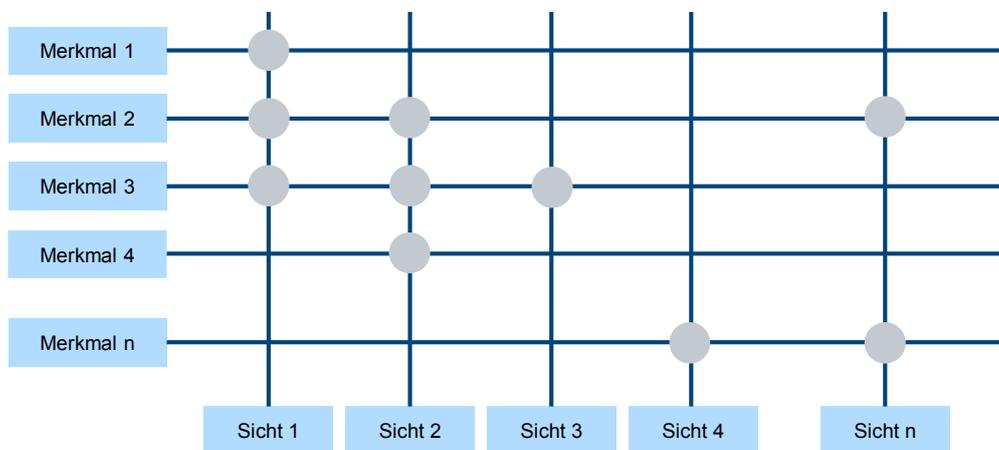


Abbildung 31: Sichten und Merkmale einer Verwaltungsschale nach (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

Da das Konzept der Verwaltungsschale und der Industrie 4.0-Komponente einen sowohl länderübergreifenden als auch branchenübergreifenden Anspruch hat, ist die Identifikation von Assets in einem großen internationalen Netzwerk von entsprechend großer Bedeutung. Hierfür werden **Identifikatoren** verwendet. Mit Hilfe dieser sollen alle Assets, Verwaltungsschalen, Teilmodelle, Merkmale, Hersteller, Lieferanten und Verantwortliche eindeutig identifizierbar werden. In der Verwaltungsschale ist der Identifier in *identification* und *idShort* zu finden. Zur externen Verwendung haben sich insbesondere zwei Identifikatoren qualifiziert (siehe Abbildung 32). Der Uniform

Resource Identifier (URI) des World Wide Web Consortiums und die ISO 29002-5 *Industrielle Automatisierungssysteme und Integration - Austausch von Merkmaldaten - Teil 5: Identifikationsschema*. Die ISO-Norm empfiehlt sich insbesondere für die Benennung von Normen, Standards, Merkmalen und Klassen. (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

Als interner Identifier wird der Globally Unique Identifier (GUID), bspw.: 936DA01F-9ABD-4D9D-80C7-02AF85C822A8 vorgeschlagen. Dieser ist nicht für die externe Weitergabe gedacht, kann aber helfen, interne Datenelemente eindeutig zu identifizieren. Die technische Umsetzung der hinterlegten Identifier kann über verschiedene Wege erfolgen. Verbreitete Träger von diesen Codes sind der Barcode, RFID-Chips, QR-Codes oder Data Matrix. (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

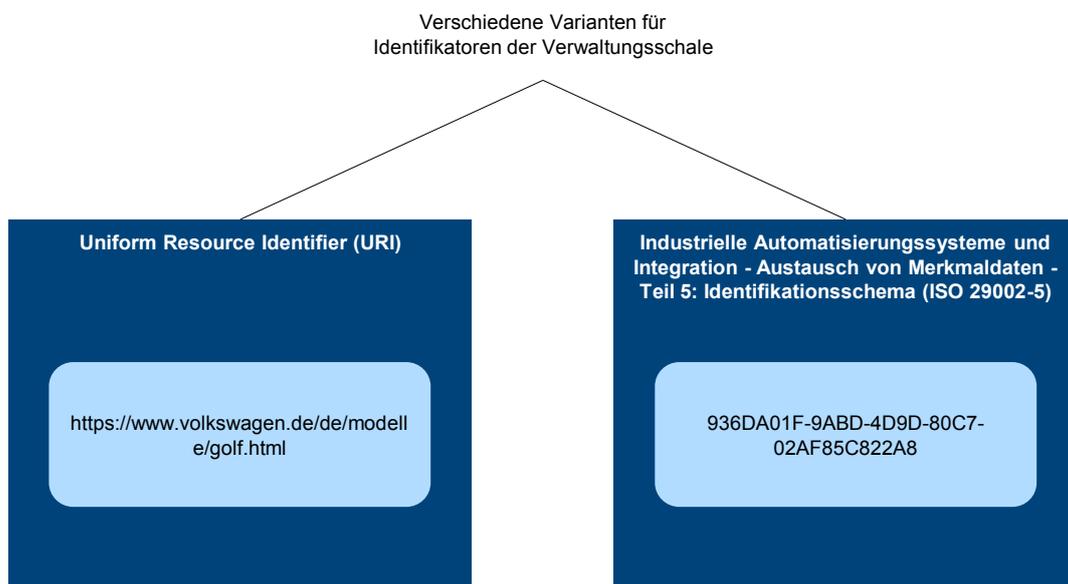


Abbildung 32: Mögliche Identifikatoren für Verwaltungsschalen (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

Wichtiger als die reine Identifikation eines Objektes ist die Identifikation der Bedeutung hinter dem Asset, der Daten oder der Merkmale. Wenn ein Merkmal mit der Identifikation Temperatur bezeichnet ist, kann ein Mensch sich vorstellen, was das bedeutet. Steht eine Einheit bei dem Wert, so ist der Wert für den Menschen eindeutig. Das muss aber nicht zwangsweise maschinenlesbar sein. Industrie 4.0 strebt ein Verständnis bei Menschen und bei Maschinen an, ohne weitere Nachfragen. Dafür wird die Identifikation des Objektes ergänzt durch eine **Semantik** unter dem Kürzel *semanticId*. Mittels International Registration Data Identifier (IDRI) oder ebenfalls URI wird auf ein Dokument oder eine Unterlage oder eine Website verwiesen, die die Bedeutung des Merkmals eindeutig beschreibt. Das hinterlegte Dokument kann beispielsweise eine Norm, wie IEC 61360, sein oder auf die ECLASS Bibliothek verweisen. In Kombination aus dem eindeutigen Merkmalsnamen mit dem Wissen zu dem Merkmal aus einer Norm kann eine Maschine den Wert interpretieren. Die Temperatur kann direkt mit Grenzwerten oder Umrechnungsgrößen versehen werden und ist anschließend von jedem System,

das auf die Verwaltungsschale zugreift, eindeutig als entsprechende Temperatur erkennbar. (Plattform Industrie 4.0, 2016b)

In der zukünftigen Verwendung von Verwaltungsschalen soll die bekannte *Toolchain* (Software, die im Unternehmen bereits im Einsatz ist) weiter angewendet werden können. Die Softwares greifen auf die in der Verwaltungsschale hinterlegten Daten zu, während der Nutzer keine Veränderung zum Nutzen von stationären Laufwerkdaten oder ähnlichem bemerkt. Aufgrund des aktuellen Entwicklungsstandes ist dieser Zielzustand noch nicht erreicht. Automobilbauer bekommen auch noch keine Komponenten oder gesamte Anlagen mit entsprechender Verwaltungsschale geliefert. In der aktuellen Phase müssen Verwaltungsschalen nachträglich in entsprechenden **Tools** und Systemsprachen erstellt werden. Dafür kann beispielsweise der Asset Administration Shell Package Explorer genutzt werden. In diesem Tool können Assets hinzugefügt werden, Verwaltungsschalen und Submodelle zugewiesen werden, Attribute gefüllt werden und Identifier vergeben werden. (Abdel-Aty et al., 2022)

Die Verwaltungsschale kann eine Datei sein, ein Server mit einem Interface oder eine Applikation, die die Daten über einen Partner verteilt. (Ye et al., 2021)

Das Dateiformat des Asset Administration Shell Package Explorer Tools (siehe Abbildung 33) ist das .aasx Datei Format. In dem Tool können Dateien, die in der Verwaltungsschale liegen geöffnet werden. Darüber hinaus sind alle Beziehungen und Bedeutungen der Daten enthalten. Mithilfe dieser Daten können Systeme und Maschinen die Verwaltungsschale lesen. Menschen können die Datei wie eine .zip-Datei lesen. Dort liegen alle abgelegten Dateien als PDF, JPEG, etc. sowie XML-Dateien, die die Bedeutungen und Beziehungen der Daten abgespeichert haben.

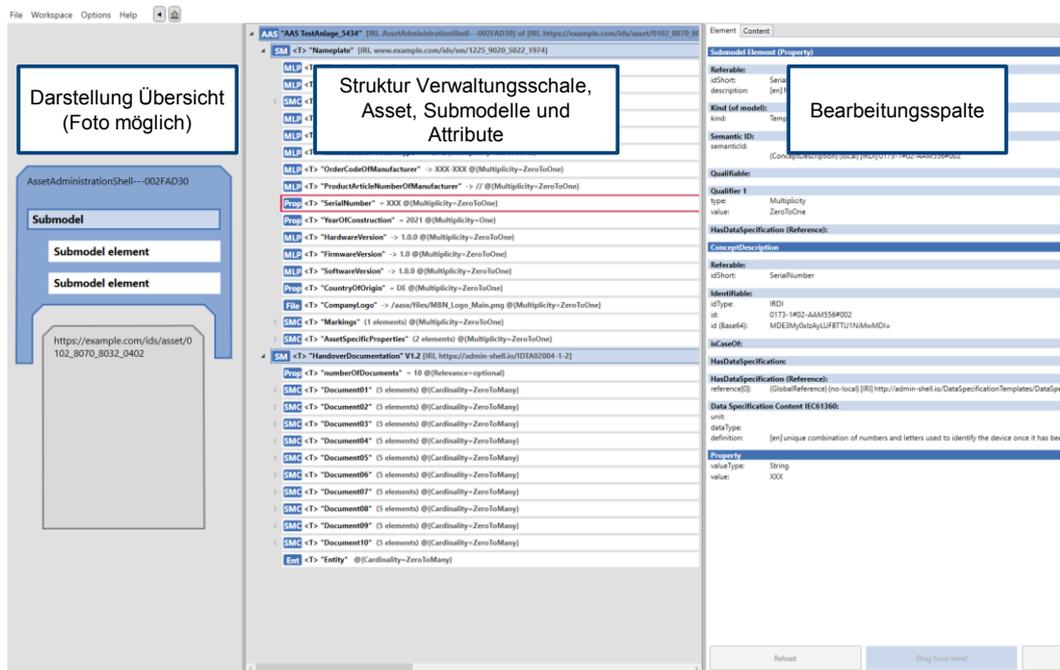


Abbildung 33: Oberfläche zur Erstellung von Verwaltungsschalen im AASX Package Explorer

Auf der linken Seite ist ein Schaubild zu finden, welches die Verwaltungsschale symbolisiert und durch ein Foto des Assets ergänzt werden kann. In der Mitte ist die Struktur zu sehen. Auf der rechten Seite sind alle zu bearbeitenden Informationen und Attribute angezeigt. Hier können beispielsweise neue Submodelle der Schale hinzugefügt und mit Daten befüllt werden. Für die Integration von Submodellen können diese entweder als Template hochgeladen und anschließend befüllt werden oder in dem Tool von Grund auf neu erstellt werden.

Nach der experimentellen Phase soll die Verwaltungsschale in die Nutzungsphase übergehen, dafür müssen Sprachen und Systeme genutzt werden, die die Komponentenlieferanten sowie Systemintegratoren unterstützen, ihre Produkte mit Verwaltungsschalen zu versehen. Dafür sind bereits mehrere Unternehmen und Sprachen in der Entwicklung: BaSyx, Pyl40AAS, SAP AAS Service, NOVAAS, RACAS Wizard oder Java Dataformat Library. (Zezulka et al., 2022)

Ein wichtiger Aspekt der neuen Technologie ist die **Sicherheit** der Daten. Bisher wurden Daten, wie beispielsweise die Computer-Aided Engineering Data (CAE), auf Datenträgern gespeichert und geteilt oder als Download bereitgestellt. Davon abgrenzend werden die Daten in einer Verwaltungsschalen-Struktur auf Anfrage eines Nutzers abgerufen oder direkt mittels Tools integriert oder bei Bedarf mittels Tools abgerufen. Das führt dazu, dass die Kommunikationsprotokolle einen Sicherheitsstandard erfüllen müssen. Die Authentifizierung muss automatisch ablaufen und darf kein Hindernis darstellen, darüber hinaus müssen die Daten im Transfer vor Manipulation geschützt sein. Die drei beteiligten Stakeholder Komponentenlieferant, Systemintegrator und Softwareprovider haben hier jeweils differenzierte Anforderungen an die Sicherheit der Kommunikation. Der Komponentenlieferant als CAE-Provider möchte das geistige Eigentum der Firma schützen. Mit einer Verwaltungsschale werden sowohl öffentlich zugängliche Informationen als auch Informationen bei Kauf einer Komponente mit dem Kunden geteilt. Diese sensiblen Daten müssen entsprechend geschützt werden. Darüber hinaus werden die Produktinformationen beim Systemintegrator mit vollständiger Richtigkeit benötigt. Dafür dürfen Daten zwischen Komponentenlieferanten und Systemintegrator nicht manipuliert werden. Der Systemintegrator als CAE-user ist bestrebt, private Informationen zu schützen und gleichzeitig valide CAE-Daten für den Engineering Prozess zu besitzen. Der Softwareprovider ist daran interessiert, dass durch manipulierte Daten keine Schäden am CAE IT Tool hervorgerufen werden. Dieser Sicherheitsgedanke muss mit der benötigten Flexibilität von Unternehmen und ihren neuen Geschäftsbereichen abgestimmt werden. (Plattform Industrie 4.0, 2017b; University 4 Industry, 2022)

Ein Grundgedanke der Industrie 4.0 und damit auch der I4.0-Komponente sind sogenannte **Interaktionsmodelle**. Diese beschreiben den direkten Kontakt zwischen I4.0-Komponenten. Voraussetzungen hierfür sind I4.0 fähige Geräte und Anlagen. Wie in Abbildung 34 zu sehen, steht die Verwaltungsschale in dreifacher Verbindung. Die erste Verbindung ist die dargestellte zum realen Asset, die zweite Verbindung ist die

Schnittstelle zum Menschen und die dritte Verbindung liegt zwischen zwei I4.0-Komponenten vor. Die Semantik, Syntax und Ontologie hinter dem Nachrichtenaustausch zwischen zwei I4.0-Komponenten kann in der Verwaltungsschale hinterlegt sein. (Plattform Industrie 4.0, 2016c)

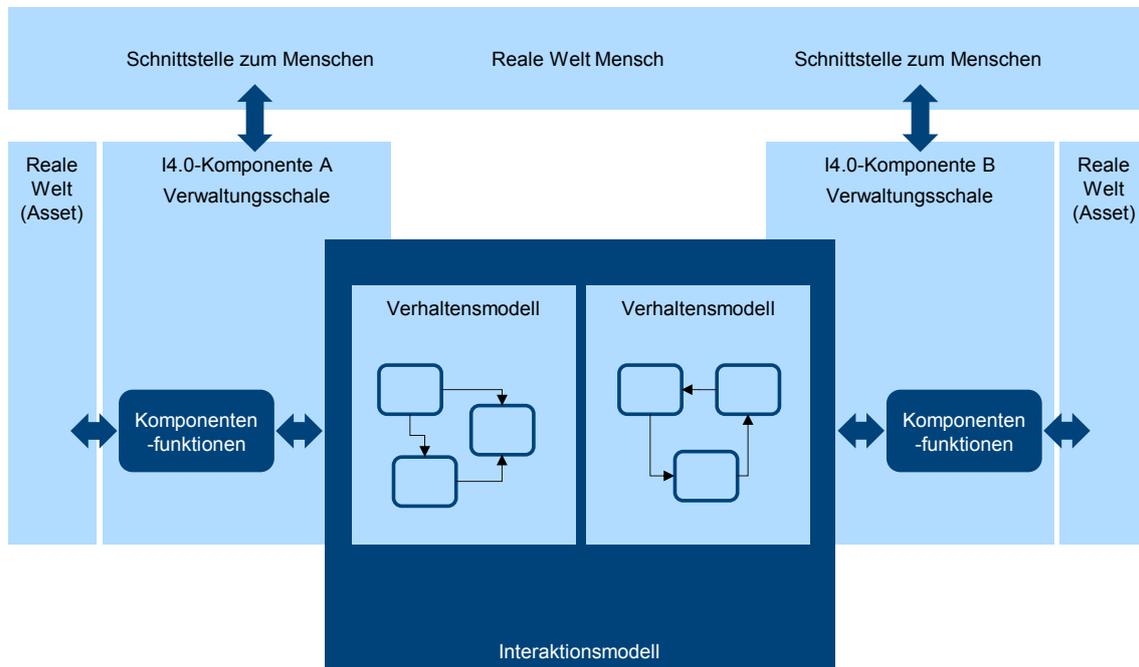


Abbildung 34: Interaktionsmodell zwischen Verwaltungsschalen nach (Plattform Industrie 4.0, 2016c)

#### 4.5.4 Abgrenzung zu AutomationML und OPC UA

Wie in Kapitel 3.2.3 bereits betrachtet, wird neben der Verwaltungsschale an weiteren Standards mit dem Ziel der Standardisierung und Strukturierung von Daten gearbeitet, die unabhängig von Industrien, Herstellern, Branchen oder dem Asset-Zustand im Lebenszyklus sein sollen. Ein Ansatz bietet das AML-Komponentenmodell des AutomationML e.V. Eine weitere Lösung bietet der Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) der OPC Foundation. Beide Ansätze haben eine spezifischere Ausrichtung als die Verwaltungsschale. Während AML einen Schwerpunkt auf Engineering-Daten legt, richtet sich OPC UA an die Standardisierung der Laufzeitdaten von Anlagen. Eine weitere Möglichkeit der Standardisierung und Strukturierung von Daten sind proprietäre IT-Systeme großer IT-Firmen wie beispielsweise Siemens Teamcenter<sup>7</sup>. In dieser Arbeit wird der Fokus auf herstellerunabhängige Standards gelegt und diese Lösungen werden aus dem Grund nicht weiter betrachtet.

Im Folgenden werden die beiden Ansätze des AutomationML-Komponentenmodells und der OPC UA kurz beschrieben und hinsichtlich ihres Zusammenhanges mit der Verwaltungsschale untersucht. Abschließend soll die Fragestellung einer Integration oder Abgrenzung der verschiedenen Standards diskutiert werden.

<sup>7</sup> <https://plm.sw.siemens.com/de-DE/teamcenter/> [Zugriff am 07.08.2024]

Die Standardisierung AutomationML hat zum Ziel, relevante Informationen zum Engineering zusammenzufassen und in einer Automatisierungskomponente zu bündeln. Aktuell finden die verschiedenen Bestandteile einer Anlagenplanung separiert voneinander statt und Planungen, zum Beispiel in den Bereichen Mechanik und Elektrik, müssen manuell zusammengetragen werden. Inhalte der AutomationML Standardisierung sollen unter anderem die Komponentenbeschreibung in einem CAX Format sein, Gerätebeschreibungen für Feldgeräte, Materialwirtschaft und Lagerhaltung, Simulation (vIBN), Wartung und Dokumentation, Model-Based Systems Engineering und Simultaneous Engineering. Dabei liegen alle Daten im Austauschformat AutomationML *AMLX* vor. Der sogenannte AMLX- Container kann dann mit allen Inhalten zwischen Beteiligten ausgetauscht und bearbeitet werden. Beinhaltet sind hierbei vier Arten von Informationen. Allgemeine Informationen beinhalten beispielsweise Daten zur Identifikation, zu Seriennummern oder Versionsnummern. Die externen Informationen können Dokumentationen, Symbole oder Bilder sein. Mit Modellinformationen werden Funktionsdaten, Simulationsdaten und 2D- sowie 3D-Modelle beschrieben. Abschließend können die Konnektoren Informationen und Daten zu Schnittstellen der Komponenten enthalten. Damit legt die AutomationML-Komponente den Hauptfokus auf die Engineering Phase und nicht die spätere Nutzungsphase. In Abgrenzung zu der Verwaltungsschale wird hierbei kein Repository vorgehsehen, sondern es liegt eine dezentrale Datenhaltung vor mit einem Austausch von Datencontainern. (Hundt et al.; Lüder et al., 2021; Plattform Industrie 4.0, 2017a)

Zu den wichtigsten Eigenschaften der AutomationML-Komponente zählen ein globaler Identifier zur Identifikation der einzelnen Assets und Informationen, die Möglichkeit auf externen Dokumenten zu Referenzieren und die Interoperabilität zwischen verschiedenen Engineering Tools. Darüber hinaus wird hierbei ebenfalls eine Semantik festgelegt, die sich an ECLASS orientiert. Basierend auf etablierten Technologien, wie XML versucht die AutomationML-Komponente die Einstiegshürde gering zu halten. Festgehalten werden alle Standardisierungen in der IEC 62714. (Drath et al., 2023)

Verschiedene Anwendungsfälle können von einer Nutzung der AutomationML-Komponente profitieren: (Hundt et al., 2022)

- Die Beschreibung von Anlagenkomponenten für CAX Anwendungen
- Lagerhaltung
- Simulation und virtuelle Inbetriebnahme
- Wartung und Dokumentation

In der Wissenschaft wird überprüft, wie die AutomationML-Komponente und der Ansatz der Verwaltungsschale koexistieren und dabei keine Doppelbebauung schaffen, sondern sich ergänzen können. Zwei Möglichkeiten zur Integration des AutomationML-Ansatzes in eine Verwaltungsschale wurden 2022 in einem Diskussionspapier bearbeitet (siehe Abbildung 35 (Hundt et al., 2022)). Die erste Möglichkeit sieht eine Übersetzung der

AML-Teile in die Verwaltungsschale vor, während die zweite Möglichkeit eine komplette Integration des AML Modells als Submodell in die Verwaltungsschale vorsieht.

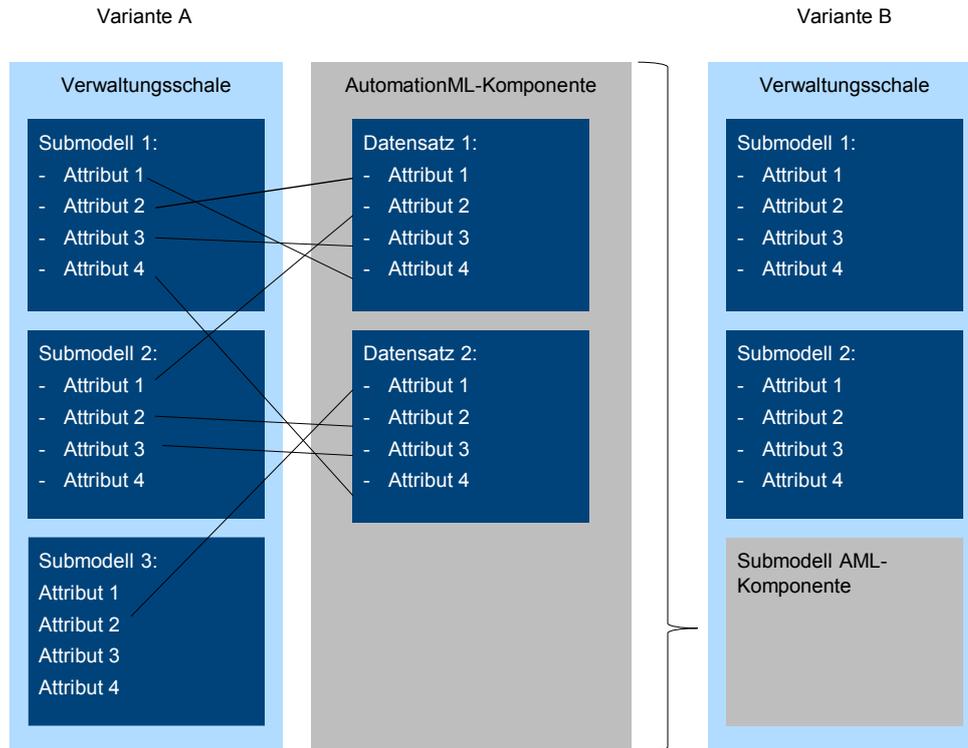


Abbildung 35: Integration von AML in die Verwaltungsschale nach (Hundt et al., 2022)

Das AutomationML-Konsortium hat 2024 entschieden eine Variante festzulegen, die beide Ansätze verfolgt. Bei der Integration eines AML-Projektes wird ein neues Submodell in der Verwaltungsschale angelegt. Dieses AML-Submodell innerhalb der Verwaltungsschale enthält die Datei des AML-Projektes sowie die Attribute und die Referenzen. Bei einem bereits existierenden Submodell mit bestehenden Attributen innerhalb der Verwaltungsschale wird eine Referenzierung zu den entsprechenden Attributen in dem AML-Projekt genutzt. (AutomationML consortium, 2024).

Der OPC UA Standard ist bereits in modernen Anlagen etabliert und wird bei der Neubeschaffung von Anlagen in der Automobilindustrie gefordert. Es handelt sich um ein modulares Framework, mit dem Ziel unabhängig von Herstellern und Plattformen zu sein. Es werden zwei Schnittstellen ausgelegt, die Onlineschnittstelle dient dem Zugriff im Betrieb auf Daten des Assets. Die Offlineschnittstelle dient der Speicherung und Suche von abgelegten Informationen. Etablierte Kommunikationsprotokolle wie TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) oder MQTT (MQ Telemetry Transport) werden im OPC UA Standard eingebunden. In der Norm IEC 62541 ist der Standard definiert. Anders als die AutomationML-Komponente legt der OPC UA Standard seinen Schwerpunkt auf die Nutzungsphase und damit auf Laufzeitdaten einer Anlage. Moderne Anlagen, die OPC UA fähig sind, erleichtern somit den Zugriff auf die Daten, die die Anlage während des Betriebes erzeugt. (Drath et al., 2023)

Die Verwaltungsschale konsolidiert Daten aus den beiden bestehenden Interoperabilitätslösungen AutomationML und OPC UA (siehe Abbildung 36). Alle drei Standards streben eine Interoperabilität und Standardisierung an. Damit im Zusammenspiel keine Doppelbebauung mehrerer Standardisierungslösungen auftritt, haben sich die drei Organisationen dazu positioniert, wie sie ergänzend zueinander agieren und existieren können. AutomationML ist hierbei die Interoperabilitätslösung für Engineering Daten. Das heißt in der Typ-Phase eines Produktes werden Daten bevorzugt über AutomationML ausgetauscht. In der Instanz-Phase, also Produktion und Nutzung eines konkreten Produktes, soll OPC UA bevorzugt für die Standardisierung eingesetzt werden. Die Verwaltungsschale bildet den Rahmen der lebenszyklusübergreifend Austausch von Daten ermöglicht. Hierbei ist insbesondere das Referenzieren anstelle von doppelter Datenhaltung zu bestehenden Lösungen wie AutomationML und OPC UA anzustreben. (Drath et al., 2023)

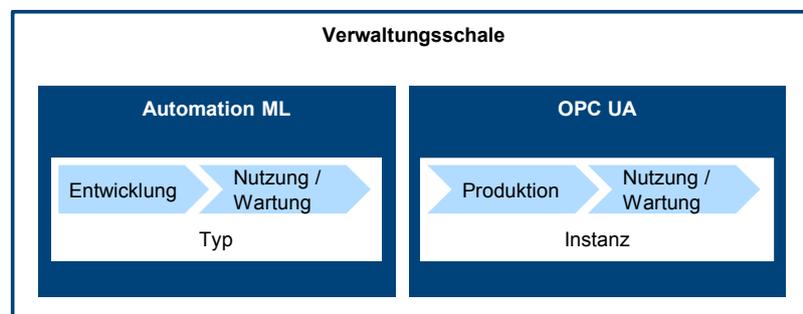


Abbildung 36: Darstellung Kombination Verwaltungsschale, AML und OPC UA nach (Drath, 2021)

In der IT-Umsetzung der drei Technologien kommt es auf den Fokus an, der auf die Daten gelegt wird (siehe Abbildung 37). Dabei wird neben der Auslegung welcher Use Case mit welcher Technologie bedient wird, die Infrastruktur festgelegt. Je nach Fokus werden die Bestandteile von AutomationML, Verwaltungsschale und OPC UA auf verschiedenen Servern gehalten. Ein operativ technologischer Fokus legt einen Schwerpunkt den OPC UA Server, sodass AutomationML und OPC UA dort laufen und die Verwaltungsschale auf einem Verwaltungsschalen-Server. Ein informationstechnologischer Fokus verschiebt den AutomationML-Bestandteil in den Verwaltungsschalen-Server. Ein dritter Ansatz ist eine komplette Integration der drei Technologien auf Servern der Verwaltungsschale und von OPC UA. (Lüder, Schleipen et al., 2024)

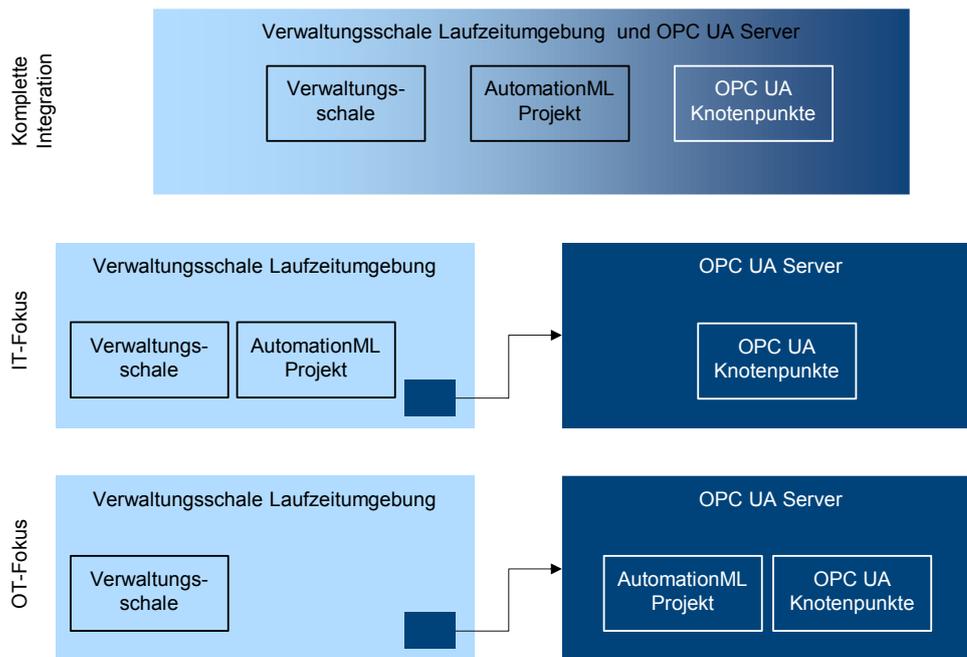


Abbildung 37: Integration AutomationML, OPC UA und Verwaltungsschale nach (Lüder, Schleipen et al., 2024)

#### 4.6 Stand der Technik - Implementierung Verwaltungsschale

Im folgenden Kapitel sollen Modelle und Methodiken identifiziert werden, wie das Konzept der Verwaltungsschale angewandt werden kann. Die identifizierten Modelle sollen auf die Eignung geprüft werden, in der automobilen Montage die Thematik der Anlagendaten abzudecken. Aus dem Grund werden Anforderungen aufgestellt, um die bestehenden Ansätze zu bewerten:

1. Fokus automobiler Montage: Wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben, legt diese Arbeit den Fokus auf die automobiler Montage. Diese zweite Literaturrecherche hat spezifischere Ansätze, bereits mit Fokus auf die Verwaltungsschale, identifiziert. Aus dem Grund wird, anders als in Kapitel 3.2.1, der Fokus auf das automobiler Montage geprüft. Eine zu identifizierende Methodik muss mit den spezifischen Gegebenheiten der Montage umgehen können.
2. Fokus auf eine Use Case getriebene Umsetzung: Unter Berücksichtigung der Anforderungen aus 3.2.1 und nach Durchführung der Experteninterviews ist der Fokus auf Use Cases und die darauf aufbauende Umsetzung der Verwaltungsschale eine Anforderung. Das heißt abhängig von den Use Cases sollen die weiteren Schritte der Methodik bearbeitet werden.
3. Hoher Detailgrad der Methodik / des Modells: In den Experteninterviews hat sich eine große Unsicherheit und Unwissenheit in Bezug auf Industrie 4.0 Technologien gezeigt. Das bedeutet theoretische Rahmenwerke helfen der Industrie nicht in der Umsetzung von Datenstandards. Es soll ein Ansatz gefunden werden, der dem Anwender einen konkreten Handlungsleitfaden empfiehlt.

4. Direkte Umsetzung: Kapitel 4.5.3 hat gezeigt, dass durch eine breitflächige Umsetzung der Verwaltungsschale in der Industrie der Aufwand zur Erstellung verstärkt bei den Komponentenlieferanten und Systemintegratoren liegt. In der aktuellen Entwicklungsstufe, in der nicht alle Komponenten und Anlagen mit Verwaltungsschale an den OEM ausgeliefert werden, liegt die Umsetzungsverantwortung beim Automobilhersteller. Aus dem Grund soll die Methodik oder das Modell eine Möglichkeit schaffen, die direkte Umsetzung der Verwaltungsschale in der Produktion zu ermöglichen, ohne eine Vielzahl an Voraussetzungen an die IT-Landschaft und Datenlandschaft.
5. Abdeckung vieler Use Cases: Wie bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben soll ein breites Anwendungsspektrum bedient werden. Das heißt der Ansatz soll so generisch sein, dass so viele unterschiedliche Use Cases wie möglich mit der Handlungsempfehlung in die Verwaltungsschalen-Struktur umgesetzt werden können.
6. Reproduzierbare Methodik / Modell: Die Experteninterviews haben gezeigt, dass eine große Heterogenität von Daten innerhalb des Unternehmens existiert. Eine Methodik zur Umsetzung der Verwaltungsschale soll aus dem Grund auch bei angepassten Bedingungen reproduzierbar sein. Es soll keine Einzelfallbetrachtung sein, die sich nur in einem Werk wiederholen kann. Sondern es soll eine reproduzierbare Methodik, ein Modell oder eine Handlungsempfehlung gefunden werden, wie eine Verwaltungsschale für die Montage in unterschiedlichen Werken mit anderen Datenbasen zu implementieren ist.

Durch Abdel-Aty et al. wurde 2022 eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um die implementierten Verwaltungsschalen-Modelle zu untersuchen und die modellierten Informationen zu analysieren. Ziel war die Untersuchung der Beziehung zwischen Verwaltungsschale und digitalem Zwilling sowie die Unterstützung bei der industriellen Implementierung der Verwaltungsschalen-Technologie. Zusammengefasst wurde in den 29 Veröffentlichungen festgestellt, dass aktuell ein hohes individuelles IT-Wissen benötigt wird, um eine Verwaltungsschale zu implementieren. Fokus in vielen wissenschaftlichen Arbeiten liegt in der Informationsmodellierung. Das führt Abdel-Aty auf den frühen Entwicklungsstatus der Verwaltungsschalen-Technologie zurück und schlussfolgert, dass weitere Forschung benötigt wird. Zusammenfassend lässt sich die große Heterogenität in den ausgewählten Use Cases und der Vorgehensweise bei der Erstellung der Verwaltungsschalen erkennen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass noch kein verbreitetes Modell vorliegt, nach dessen Schema eine Verwaltungsschale neu aufgesetzt werden kann. Im Folgenden werden zusätzliche Ansätze, die größtenteils nach der Arbeit von Abdel-Aty entstanden sind, kurz beschrieben und anschließend bewertet. (Abdel-Aty et al., 2022)

Modell nach (Siewert et al., 2023):

Das vorliegende Modell nach Siewert et al. präsentiert eine Vorgehensweise zur Erstellung einer Verwaltungsschale zu einem bestehenden Asset. Wie in Abbildung 38 zu sehen werden zunächst alle Informationen das Asset betreffend gesammelt. Im Anschluss werden Use Cases identifiziert, die das Asset betreffen. Darauf aufbauend werden Submodelle (wenn möglich aus dem Portfolio der IDTA) identifiziert, die die Use Cases abbilden. Die Informationen werden kategorisiert und mit der Modellierungssprache UML den Submodellen zugeordnet. Abschließend erhält jede Verwaltungsschale eine ID und es erfolgt eine Konzeptsdokumentation. Nach Ansicht von Siewert ist eine Unterteilung einer Anlage in Komponenten und damit verbundene Submodelle nur selten lohnenswert.

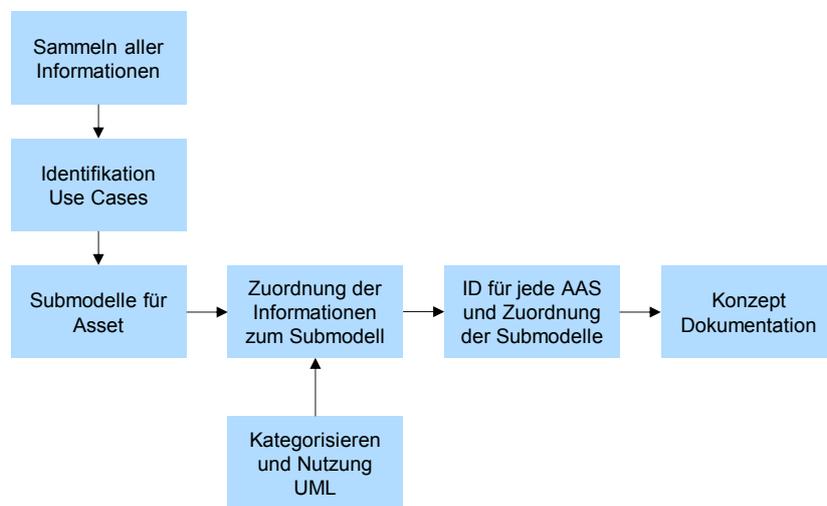


Abbildung 38: Modell zur Erstellung von Verwaltungsschalen nach (Siewert et al., 2023)

Modell nach (Ewert et al., 2021):

Ewert et al. präsentieren einen Beitrag aus der Forschungsfabrik ARENA2036. Nach Auffassung der Autoren fehlen in allen untersuchten Veröffentlichungen zur Verwaltungsschale eine detaillierte Beschreibung oder Implementierungsdetails. In der weiteren Arbeit wird der Fokus auf eine vereinfachte Betrachtung dieser Thematik gelegt. Darunter werden vier Grundprinzipien verstanden. Es sollen einfache und weit verbreitete Standards zur Beschreibung und Kommunikation verwendet werden: MQTT und JSON (JavaScript Object Notation). Es soll bevorzugt eine Teilimplementierung anstatt keiner Implementierung erfolgen, das heißt es sollen geringe Eintrittsschwellen geschaffen werden. Es soll keine proprietäre Software genutzt werden. Mit Hilfe von Bibliotheken und bestehenden Softwares soll die Verwaltungsschale umgesetzt werden. Abschließend wird das strikte KISS-Prinzip empfohlen („keep it simple, stupid“ – „halte es einfach, dumm“). Das heißt, dass das Basis Konzept eingehalten werden soll. Werden weitere Umfänge benötigt, soll es ohne neue Komplexität zu schaffen auf dem

Basis-Konzept aufsetzen.

Modell nach (van Erp et al., 2023):

Van Erp et al. haben ein Konzeptmodell zum Austausch von Laufzeitdaten innerhalb der Verwaltungsschalenlogik vorgestellt. Anschließend folgt ein Proof-of-Concept des Modells zum Austausch digitaler Services.

Anwendung durch Plattform I4.0 (Plattform Industrie 4.0):

Die Entwickler und Treiber der Verwaltungsschale der Plattform I4.0 haben in einer exemplarischen Modellierung mit dem AASX Package Explorer eine Verwaltungsschale für eine Pick and Place Station aufgebaut. Hierbei liegt der Fokus stark auf der Modellierung und exemplarischen Umsetzung, unabhängig von dem industriellen Nutzen. Es sollten grundlegende Begriffe und Teile der Verwaltungsschale getestet und implementiert werden, um mögliche Fragestellungen bei der Umsetzung aufzuzeigen.

Modell nach (Grunau et al., 2022):

Nach Grunau et al. existieren noch keine Modelle zur Implementierung von proaktiven Verwaltungsschalen. Aus dem Grund werden zwei Verfahren, inklusive Anforderungen, vorgeschlagen, um mit proaktiven Verwaltungsschalen umzugehen. Im ersten Verfahren liegt der proaktive Part der Verwaltungsschale auf einem Server, der die Funktionalität der proaktiven Verwaltungsschale herstellen muss, ähnlich einem OPC UA Server. In der zweiten Variante liegt die Funktionalität der proaktiven Verwaltungsschale nicht auf dem AAS-Server, sondern in einem zentralen Repository, das bei Bedarf auf den Server zugreift. Im Folgenden wird der Aufbau einer Infrastruktur von Verwaltungsschalen in einer auftragsgesteuerten Produktion detailliert.

Modell nach (Quadrini et al., 2023):

Es wurde ein Pilotprojekt in einer Laborumgebung geschaffen, um eine Verwaltungsschale für eine Produktionsanlage umzusetzen. Als Programmierungstool wurde Pyl40AAS mit seinen Bibliotheken gewählt. Zur Visualisierung wurde der AASX Package Explorer genutzt. Es wurden verschachtelte Verwaltungsschalen für Produkte, Stationen, Gesamtanlagen, etc. aufgebaut. Fokus wurde auf die Datenarchitektur, die Kommunikationssprachen wie OPC UA und MQTT und die Infrastruktur um die Verwaltungsschale herum gelegt.

Modell nach (Rauh et al., 2022):

Rauh et al. haben eine spezifische Verwaltungsschale für künstliche Intelligenz aufgebaut AI AAS. Damit soll ein Meta Datenmodell für Anwendungen der künstlichen Intelligenz geschaffen werden. Die Vorteile des offenen und

modularen Aufbaus von Verwaltungsschalen wurden genutzt, um die komplexe Datenstruktur hinter künstlicher Intelligenzen abzubilden. Dafür wurden Schnittstellen und Kommunikationskanäle für den konkreten Anwendungsfall definiert. Abschließend wurde die Integration der AI AAS in bestehende Verwaltungsschalenstrukturen getestet.

Modell nach (Seif, Toro & Akhtar, 2019):

Nach Seif et al. sind zukünftige Fabriken keine großen geschlossenen Einheiten, sondern sind aus vielen kleinen kontrollierbaren *Mini-Fabriken* zusammengesetzt. Diese sollen zwei Kernkompetenzen moderner Produktion erfüllen, Massenproduktion und Personalisierung. Nach Seif et al. existieren keine replizierbaren und anwendbaren Implementierungsmethodiken der Verwaltungsschale. Aus dem Grund wird ein eigene Methodik für Mini-Fabriken vorgeschlagen. In dem dreistufigen Modell (siehe Abbildung 39) startet Stufe eins mit der Verwaltungsschalen-Variablen-Definition, basierend auf den CSV-Daten (Comma-separated values). Dafür werden die relevanten Variablen mit Experten abgestimmt. Darauf aufbauend wird in Stufe zwei modelliert. Die vorhandenen Informationen werden mit Hilfe vorhandener Templates in die Verwaltungsschalenstruktur modelliert. Abschließend wird die Verbindung und Kommunikation zwischen Verwaltungsschale und realem Asset hergestellt.

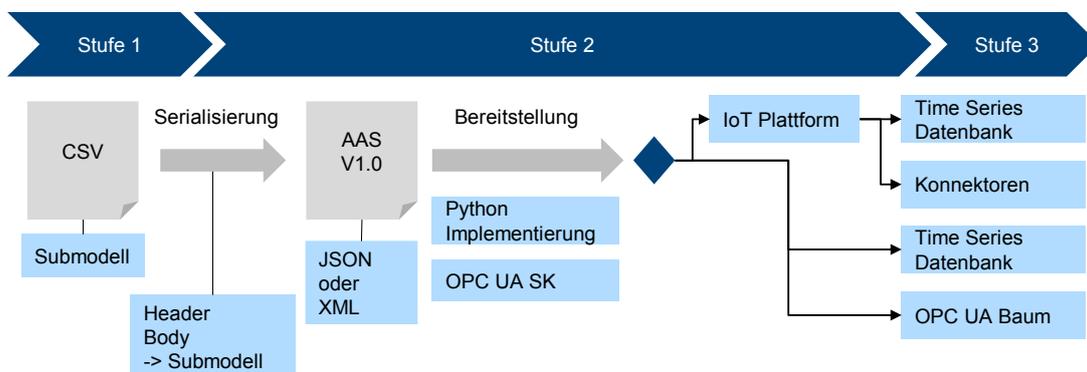


Abbildung 39: Abbildung zum dreistufigen Vorgehen nach (Seif et al., 2019)

Info nach (Tantik & Anderl, 2017):

Tantik und Anderl haben die Verwaltungsschale für einen Roboterarm aufbauend auf einem Pilot Use Case umgesetzt. Der Fokus liegt auf den Kommunikationsschnittstellen. Hierbei wurde keine neue Methodik oder kein neues Modell aufgebaut, die/das reproduzierbar ist.

Zusammenfassend bestätigt sich das Fazit von Abdel-Aty. Wie in Tabelle 4 zu sehen präsentiert keine der Veröffentlichungen eine Methodik oder ein Modell, die/das alle Anforderungen erfüllt. So bietet Siewert eine gute Vorgehensweise für die Implementierung von Verwaltungsschalen, jedoch ohne Fokus auf die automobilen Montage und in einem zu kleinen Detailgrad. Die reproduzierbare Methodik lässt sich

jedoch gut anwenden und möglicherweise erweitern. Ein Implementierungsansatz der Plattform Industrie 4.0 ist sehr detailliert, dafür jedoch ohne reproduzierbares Modell oder Methodik. Seif bietet ebenfalls ein gut reproduzierbares Modell, welches aber auch keinen Fokus auf die automobilen Montage legt und dazu keine Use Case Steuerung an den Anfang stellt. Keine der untersuchten Veröffentlichungen hat das Thema der Montage tiefergehend betrachtet, darüber hinaus ist in den meisten Fällen keine Vorgehensweise abhängig vom Use Case detailliert worden. Entweder legen die Modelle einen Fokus auf einen konkreten Fall, oder bleiben generisch offen für alle Use Cases. Die Kombination aus beidem ist nicht zu finden. Insbesondere beim Detailgrad und der Realisierbarkeit der Umsetzung decken viele Veröffentlichungen die Anforderungen ab.

Tabelle 4: Bewertung Stand der Technik Implementierung Verwaltungsschale

Veröffentlichung	Fokus automobilen Montage	Use Case getriebene Umsetzung	Hoher Detailgrad	Direkte Umsetzung	Abdeckung vieler Use Cases	Reproduzierbare/s Methodik / Modell
[Siewert et al. 2023]	☉	●	☉	☉	●	●
[Ewert et al. 2021]	☉	○	☉	☉	●	○
[van Erp et al. 2023]	☉	☉	☉	☉	☉	○
[Plattform Industrie 4.0 2021]	☉	○	●	☉	☉	○
[Grunau et al. 2022]	☉	☉	☉	☉	☉	☉
[Quadri et al. 2023]	☉	☉	☉	☉	☉	○
[Rauh et al. 2022]	○	☉	☉	☉	○	☉
[Seif et al. 2019]	☉	☉	☉	☉	☉	●
[Tantik und Anderl 2017]	○	☉	☉	☉	☉	○

## 4.7 Forschungslücke

Zusammenfassend hat Kapitel 4 die Grundlagen der aktuellen Industrie 4.0 Technologien beschrieben und anschließend Methoden der Umsetzung der Verwaltungsschale in der Praxis untersucht. Ziel ist die Beantwortung der FF2\*:

*FF2\*: Nach welcher Methodik kann eine automobilen Montageplanung das Konzept der Verwaltungsschalen Use Case orientiert als Lösung des Problemraums Datenzugänglichkeit in der Praxis umsetzen?*

*FF2.1: Welche Methodiken existieren aktuell in der Literatur?*

*FF2.2: Inwieweit erfüllen die Methodiken zuvor definierte Kriterien zur Umsetzung der Forschungsfrage?*

*FF2.3: Wie kann eine neue Methodik gestaltet sein, die alle aufgeführten Kriterien erfüllt?*

Der Kern bestehender Arbeiten liegt in der theoretischen Betrachtung der Verwaltungsschalentechnologie. Die konkrete Implementierung wird weniger stark betrachtet. Des Weiteren liegt der Fokus stark im Bereich der Komponentenhersteller, ein Fokus auf die OEMs insbesondere in der automobilen Montage wird nicht gesetzt. Auch die Möglichkeit zur Wiederholung eines einfachen Leitfadens lässt sich nicht erkennen. (Wenger, Zoitl & Müller, 2018)

*„Although there is some reported work on the implementation of AAS (...), a replicable and easy to follow methodology using off the shelf solutions is still an open task.“ (Seif et al., 2019)*

Damit wurden die Forschungsfrage FF2.1 und FF2.2 in Kapitel 4 auf Basis der bestehenden Literatur beantwortet. Aufgrund der identifizierten Defizite wird für FF2.3 in den folgenden beiden Kapiteln eine neue Methodik erstellt, nach welcher ein OEM im Bereich Montage Use Case gesteuert Verwaltungsschalen auslegen und aufbauen kann. Dabei wird die Fragestellung behandelt, wie die Struktur dieser Schalen aufgrund der spezifischen Bedürfnisse aussehen muss.

## 5 Entwurf einer Methodik zur Implementierung der Verwaltungsschale

In diesem Kapitel wird das grundlegende Forschungsergebnis präsentiert. Es wird eine Methodik vorgestellt, die einem OEM als Leitfaden dienen kann, um die neue Technologie der Verwaltungsschale für Montageanlagen umzusetzen. Der Fokus liegt auf einem Use Case getriebenen Ansatz, der die strukturelle Umsetzung einer Verwaltungsschale mit den Voraussetzungen einer automobilen Montage in den Vordergrund stellt. Die technische Umsetzbarkeit der IT-Infrastruktur und -Anbindung wird mittels Basisanforderungen berücksichtigt. Im Anschluss werden die Teilschritte im Detail erklärt.

### 5.1 Anforderungen an Implementierungsansatz

Zu Beginn sollen die Anforderungen aufgeführt werden, nach welchen die Methodik aufgestellt wurde. Diese lassen sich aus drei Quellen zusammenfassen. In Kapitel 3.2 wurde die Literatur nach bestehenden Normen, Standards und Referenzarchitekturen untersucht. Die Anforderungen und Prüfkriterien aus Kapitel 3.2 lassen sich für die Neuerstellung einer Methodik ableiten. Der Fokus soll auf die automobilen Montage gerichtet sein und dabei auch die Besonderheiten des Gewerkes im Automobilbau berücksichtigen. Sowohl die Heterogenität in der Anlagenwelt als auch der hohe Anteil manueller Tätigkeiten soll abgedeckt werden. Ein weiterer Fokus soll auf die Use Case getriebene Umsetzung der Verwaltungsschalentechnologie gelegt werden. Die IT-Infrastruktur wird eine untergeordnete Rolle einnehmen. Ähnlich einem Leitfaden soll die Methodik einen hohen Detailgrad aufweisen und konkrete Handlungsschritte vorgeben. Die hohe Detaillierung darf aber nicht einer Abdeckung breit gestreuter Use Cases entgegenstehen. Der Ansatz soll so generisch sein, dass die Mehrheit möglicher Use Cases in der Montage abgedeckt werden können. Diese Anforderung hängt mit der Reproduzierbarkeit zusammen. Die Methodik soll wiederholt anwendbar sein und dem Anwender die Möglichkeit bieten auf ein dynamisches Umfeld reagieren können. Aus Kapitel 3.3, der Betrachtung der Datenlage eines OEM, lassen sich zwei weitere Anforderungen herausstellen. Ein Use Case getriebener Aufbau von Datenbanken sollen den Ansatz verfolgen nur die wirklich benötigten Daten zu erfassen und zu halten. Insbesondere die Pflege einer zu großen Menge von Daten soll ausgeschlossen werden. Darüber hinaus soll die Engineering-Phase neben der Nutzungsphase eine entsprechende Berücksichtigung in der Auslegung der Verwaltungsschale finden.

Neben den erarbeiteten Anforderungen in den vorangegangenen Kapiteln lassen sich Kriterien ebenfalls aus bestehenden wissenschaftlichen Arbeiten zu Implementierungsansätzen hinsichtlich der Verwaltungsschale ableiten. Die leitenden Use Cases müssen in einem ersten Schritt identifiziert werden. Zur Identifikation soll eine Handlungsanweisung definiert werden (Siewert et al., 2023). Die zur Umsetzung der

Verwaltungsschalenstruktur benötigen Teilmodelle müssen ausgewählt werden, dieses Vorgehen ist ebenfalls zu definieren (Siewert et al., 2023). Es muss eine Entscheidung über die Granularität getroffen werden, für welche Ebenen eine Verwaltungsschale zu implementieren ist (Ewert et al., 2021). Der Bereich der Datensicherheit muss in der Methodik mitbetrachtet werden, da ein offenes System, wie die Verwaltungsschale, andere Anforderungen an eine IT-Sicherheit stellt, als ein geschlossenes System, wie zum Beispiel die Datenbank einer Firma (Quadrini et al., 2023).

Darüber hinaus können die allgemeinen Gütekriterien an eine qualitative Forschung hier berücksichtigt werden. In erster Linie muss die aufgestellte Methodik transparent sein, das heißt alle Bestandteile werden ausführlich und nachvollziehbar detailliert und dokumentiert. Das zweite Kriterium der Intersubjektivität fordert die Reflexion subjektiv wahrgenommener Ergebnisse, dies geschieht in der abschließenden Zusammenfassung. Das dritte qualitative Gütekriterium ist die Reichweite. Bei wiederholter Durchführung der Methodik mit gleichen Startparametern sollen die Ergebnisse nicht zu stark voneinander abweichen. (Sprenger, 2021)

## 5.2 Vorgehensmethodik - Verwaltungsschalenimplementierung

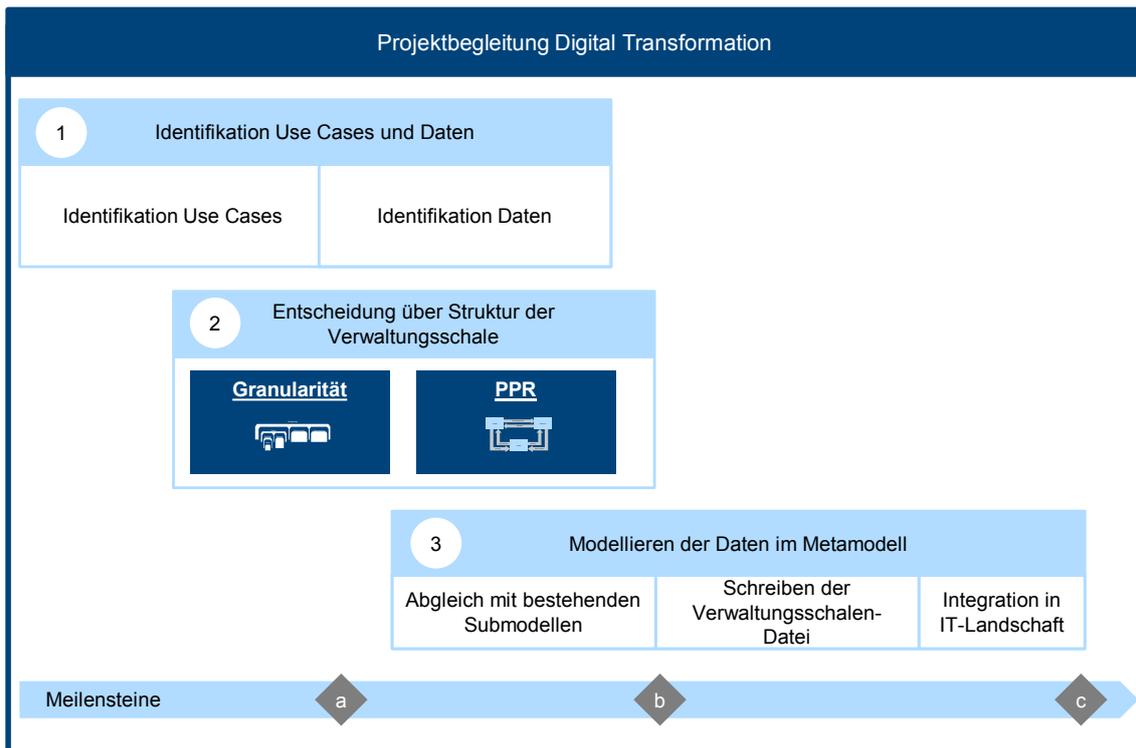


Abbildung 40: Methodik zum Aufbau einer Verwaltungsschale in der Automobilmontage

Aus den aufgestellten Anforderungen wurde in dieser Arbeit die in Abbildung 40 vorgestellte Methodik entwickelt. Sie besitzt Elemente sowohl aus der klassischen Projektvorgehensweise als auch aus der agilen Vorgehensweise (siehe Kapitel 2.2.2). Ziel der entwickelten Methodik ist die Implementierung der Verwaltungsschalen-Logik in eine automobile Montage. Aufgrund der Aktualität dieses Themas fehlen Leitfäden,

damit Industrieunternehmen die Implementierung der neuen Technologie auf ihre Anforderungen abgestimmt umsetzen können. Nach Durchführung der aufgestellten Methodik, wurden die betroffenen Use Cases erkannt, die entsprechenden Daten identifiziert und die Struktur der Schalen im Anwendungsfall definiert und modelliert. Abschließend soll die neue Struktur in die IT-Landschaft des Unternehmens integriert werden.

Die Methodik umfasst ein dreiteiliges Vorgehen, wobei die einzelnen Teile weitere Unterpunkte beinhalten. Übergeordnet soll eine Leitung durch einen Experten für Verwaltungsschalen erfolgen. Begleitet wird die Methodik von drei Meilensteinen.

In der **Identifikation von Use Cases und Daten** werden zuerst für einen Problemraum (anlagen- oder problemzentriert) leitfadengestützt die Use Cases identifiziert. Aufgrund der Bedeutung der Use Cases für die spätere Bearbeitung der Struktur wird hier der erste Meilenstein (a – die zu bearbeitenden Use Cases wurden festgelegt) verortet. Anschließend werden alle den Problemraum betreffenden Daten identifiziert und gefiltert.

Der Baustein **Entscheidung über Struktur der Verwaltungsschale** umfasst zwei Teilschritte. Die Granularität betrachtet die Tiefe in der Schalen verschiedener Ebenen der Anlage definiert werden müssen. Mit Hilfe des Ansatzes Produkt, Prozess, Ressource (PPR) wird der gesamte Systemraum, in der ein Montageschritt durchgeführt wird, in handhabbare Bereiche unterteilt, die jeweils mit einer passenden Schale versehen werden können. Mit dem zweiten Meilenstein wird die Definition der Struktur sichergestellt (b – die Struktur der Verwaltungsschale wurde festgelegt).

Bei der **Modellierung der Daten im Metamodell** werden existierende Submodelle auf ihre Anwendbarkeit für die aktuellen Use Cases geprüft. Anschließend werden die in Schritt zwei definierten Strukturen mit den entsprechenden Submodellen gefüllt. Für die abschließende Integration in die IT-Landschaft werden Kommunikationsschnittstellen und IDs festgelegt und die Schalen in die entsprechende Umgebung integriert. Der abschließende Meilenstein prüft die komplette Umsetzung der Methodik ab (c – die Modellierung der Daten in der Verwaltungsschalenstruktur ist abgeschlossen).

## 6 Detaillierung Methodik zur Implementierung der Verwaltungsschale

Nachdem Kapitel 5 einen Überblick über die neu aufgestellte Methodik gegeben hat, wird im folgenden Kapitel vertiefend auf jeden Schritt eingegangen. Dabei werden die Teilschritte mit begleitenden Vorgehensmodellen beschrieben.

### 6.1 Identifikation der Use Cases und Daten

Im ersten Schritt der Methodik müssen die relevanten Use Cases sowie die Datengrundlage untersucht und identifiziert werden. Dafür werden in einem mehrschrittigen Vorgehen Use Cases identifiziert, detailliert und qualitativ bewertet. Anschließend wird eine Umsetzungsstrategie festgelegt. Für die Datengrundlage werden verschiedene Ablageorte untersucht. Die identifizierten Daten werden auf Basis der Use Cases gefiltert und auf Verschwendung untersucht.

#### 6.1.1 Identifikation und Auswahl der Use Cases

Im ersten Schritt der Methodik sollen die relevanten Use Cases für die Implementierung einer Verwaltungsschale in der automobilen Montage identifiziert und detailliert werden. In der Literatur lassen sich dazu sowohl (Schweigert-Recksiek et al., 2020) in Kombination mit (Gundlach & Fay, 2022) verwenden als auch (Hofmann et al., 2020). Gundlach hat sein Vorgehen zur Aufstellung von produktunabhängigen Use Cases für den digitalen Zwilling auf der Arbeit von Schweigert-Recksiek et al. aufgebaut. Dabei wird ein Projektvorgehen in fünf Schritten definiert, in welchem die ersten drei Schritte die konkrete Gestaltung der Use Cases definieren. In der *Projektinitiierung und Zieldefinition* wird der Rahmen festgelegt, in welchem sich die Use Cases befinden, mittels Literaturrecherchen, Experteninterviews und weitere Methoden. Die folgende Situationsanalyse schließt mit identifizierten Standard Use Cases und konkretisiert die Ziele. Dabei werden unter anderem unterstützend Kreativitätstechniken, Use Case Templates und Experteninterviews verwendet. Im dritten Schritt *Ziel Konzept* sind die Use Cases ausgewählt und bewertet, hier unterstützt unter anderem die Portfolio-Analyse. Hofmann hat ein Vorgehen in sechs Schritten entworfen mit den Inhalten Eingrenzen, Vorbereiten, Entdecken, Verstehen, Entwerfen und Einführen. In den ersten beiden Schritten wird auch der Anwendungsbereich wieder definiert. Die Entdeckungsphase bildet einen Kern mit der Festlegung von zwei Sichten, problemorientiert und chancenorientiert. Mittels Value-Proposition-Canvas-Workshop und Marktanalyse werden Problemfelder und Technologien zusammengestellt. In den folgenden drei Schritten werden Ursache, Lösung und Umsetzung für die in Teilschritt drei identifizierten Themen formuliert.

An diese Ansätze aus der Literatur zur Auslegung von Use Cases im Bereich KI beziehungsweise digitaler Zwilling wird der folgende vorgestellte Ansatz zur Use Case

Bestimmung für die Verwaltungsschale angelehnt:

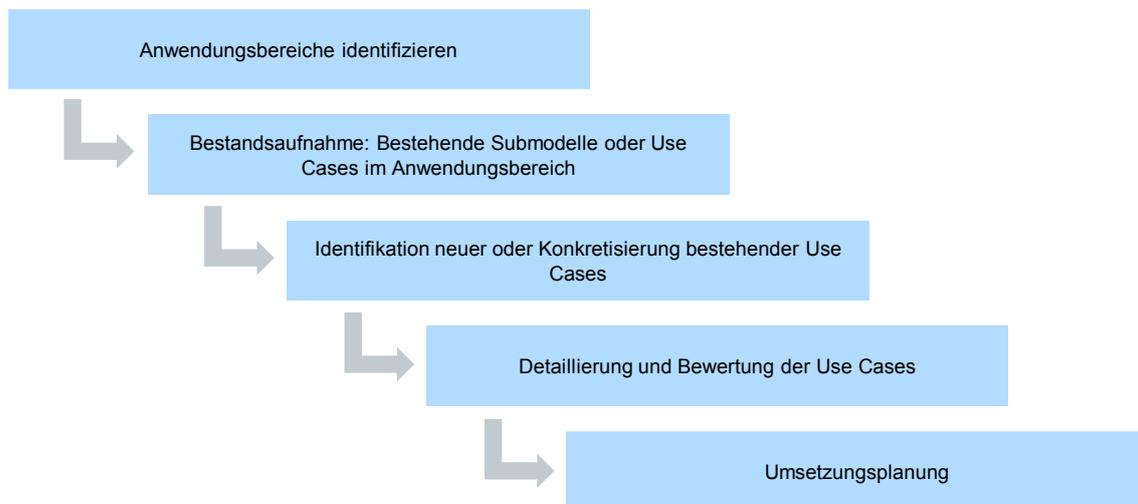


Abbildung 41: Identifikation Use Case

Zu Beginn wird der Anwendungsbereich identifiziert. Hierbei gilt es insbesondere zu bestimmen, ob es sich um ein anlagenzentriertes oder problemstellungszentriertes Projekt handeln soll. Das anlagenzentrierte Projekt soll die Montageanlage in den Mittelpunkt stellen und mögliche Use Cases die konkrete Anlage betreffend identifizieren. In einem problemstellungszentrierten Ansatz sollen Use Cases aufgestellt werden, die keiner Einzelanlage zugeordnet sind, da sie entweder mehrere Anlagen oder Prozesse beziehungsweise Menschen betreffen. Allgemein mögliche Themenfelder können gesetzliche Vorgaben sein, wie der *Digital Product Passport EU* oder eine Vorgabe zum *Carbon Footprint*. Neue Technologien, die auf eine Anwendung getestet werden sollen, können ebenfalls Initiator für einen Use Case sein.

Im folgenden Schritt muss der Anwendungsbereich auf bestehende Verwaltungsschalen und Use Cases untersucht werden. Existieren bereits Verwaltungsschalen und damit Submodelle, so ist zu untersuchen, ob diese ergänzt werden müssen oder ob mögliche Use Cases direkt bedient werden können. Im Screening nach bestehenden Use Cases können betroffene Bereiche der Anlage oder des Prozesses nach angestrebten Projekten, oder Projekten in der Umsetzung befragt werden. Mögliche Use Cases industrieller Montage sind in Tabelle 5 zu finden.

Im dritten Schritt nach Abbildung 41 werden darauf aufbauend neue Use Cases identifiziert oder bestehende auf die Anwendung einer Verwaltungsschale geprüft und detailliert. Dafür wird mit Experten der Anlage oder Experten des Prozesses gesprochen und mögliche Problemstellungen können mit einer FMEA oder einem Ursache-Wirkungs-Diagramm untersucht werden (siehe Kapitel 2.2.2).

Tabelle 5: Use Cases in der Produktion angelehnt an (Plattform Industrie 4.0, 2017a)

Use Case	Beschreibung
Identifikation	Identifikation von Anlagen und gute Zugänglichkeit grundlegender Informationen
Energieverbrauch	Aufzeichnen, Speichern und Analysieren des Energieverbrauchs über den Lebenszyklus
Umwelt	Nachverfolgung der CO2 Emissionen
Integration	Vereinfachte Integration und Inbetriebnahme neuer Anlagen in die Produktionsstruktur
Condition Monitoring	Datenzugänglichkeit für das Condition Monitoring
Single Point of Truth	Datenablage und Datenzugriff auf eine Quelle beschränken
Engineering	Zugang zu bestehenden Engineering Daten für OEM und Lieferant
Diagnose	Automatisierte Fehlerdiagnose anlagenübergreifend
Wartung	Vereinfachter Zugang zu entsprechenden Anlagendaten bei Fehlersuche und Wartung
Optimierung	Prozessoptimierung auf Basis von Big Data
Wandlungsfähige Fabrik	Modularität und Interoperabilität in der Fabrik realisieren
Wiederverwendung	Wissen über Anlagenfähigkeiten für eine mögliche Wiederverwendung

Für die Identifikation neuer Themen eignen sich kreative Techniken wie das Design Thinking. Insbesondere neue komplexe Probleme sollen so identifiziert werden. Die Methode orientiert sich strikt an den Bedürfnissen der Nutzer und soll das klassische Zieldreieck (Zeit, Kosten, Qualität) erfüllen. Dabei hilft ein interdisziplinäres Team und kleinere kreative Methoden wie Mindmapping, 6-3-5 oder der morphologische Kasten (siehe Kapitel 2.2.2). Eine Möglichkeit ist die Prüfung der Daten- und Systemnutzungsstufen nach VDI 3695. Diese können eine Einschätzung geben, wo das Unternehmen aktuell steht und ob ein Handlungsbedarf bei der Datenauswertung besteht (siehe Abbildung 42).

Die aufgestellten Use Cases werden anschließend detailliert und bewertet. Dafür eignet sich beispielsweise eine Kosten-Nutzen-Analyse (siehe Kapitel 2.2.2). Die Analyse stellt Kosten und Nutzen einer Entscheidung oder eines Projektes gegenüber. Bei der Kostenaufstellung muss auf eine ganzheitliche Kostenbetrachtung geachtet werden, die die gesamte Projektlaufzeit erfasst. Die Nutzenbetrachtung ist so gut es geht zu quantifizieren, kann in einigen Fällen aber nur qualitativ wiedergegeben werden. (Wünsche, 2007)

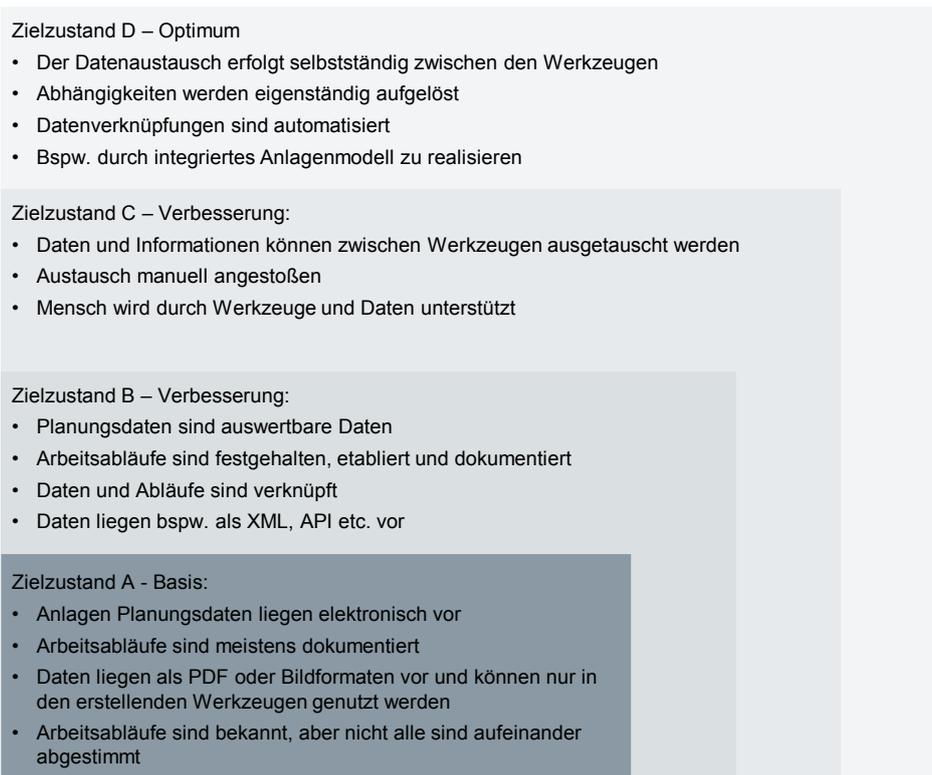


Abbildung 42: Zustand von Daten- und Systemnutzen nach (VDI/VDE 3695)

Abschließend erfolgt die Umsetzungsplanung, in der eine Implementierungsroadmap erstellt werden soll. Hierzu muss die Frage geklärt werden, ob eine Pilotanlage für ein Prozessthema gefunden werden muss, oder ob der Use Case bereits auf eine konkrete Anlage bezogen ist. Für die Identifikation einer Pilotanlage ist es wichtig, dass die Anlage repräsentativ für den Anwendungsfall und die Anlagenstruktur im Unternehmen ist.

### 6.1.2 Identifikation und Auswahl der Daten

Nachdem Anwendungsfälle identifiziert und beschrieben wurden, müssen die zugehörigen Daten aufbereitet werden. Sowohl bestehende Daten als auch Daten, die noch nicht erhoben werden, aber für den Anwendungsfall benötigt werden, müssen benannt und strukturiert werden. Bestehende Daten können aus verschiedenen Quellen stammen. Basierend auf den Experteninterviews in Kapitel 3.3 lassen sich die Datenquellen wie folgt kategorisieren. Die Papierdokumentation ist die älteste existierende Datenform an den Maschinen. Die Dokumente können sowohl an der Anlage platziert sein oder bei Instandhaltung beziehungsweise Planung. Die Dokumente können verschiedene Inhalte umfassen, insbesondere aber Anlagendokumentationen inklusive Bedienungsanleitungen, Freigaben und weiteren Dokumenten. Systemgehaltene Daten liegen in Systemen des OEM ab. Das heißt ein Product Lifecycle Management (PLM) System beinhaltet beispielsweise ebenfalls die Anlagendokumentation mit CAD-Daten und weiteren Informationen. Laufwerkdaten können sich sowohl auf ein privates Laufwerk auf einem einzelnen Laptop beziehen oder auf zentrale Laufwerke von Abteilungen. Hier können die gleichen Informationen wie in

den Systemen oder auf Papieren festgehalten werden. Clouddaten ermöglichen einen vereinfachten Zugriff unabhängig vom Standort. Sie werden verstärkt als Ersatz für Laufwerkdaten genutzt. Jede Anlage besitzt einen Anlagen-PC, dieser PC kann ebenfalls Daten enthalten, die an keine Systeme weitergegeben werden. Dabei kann es sich beispielsweise um Energiedaten handeln, die nicht weitergeleitet oder ausgewertet werden. Abschließend können Sensoren in der Anlage verbaut sein. Je nach Auslegung, werden die Daten der Sensoren über den zentralen Anlagen-PC verwaltet oder direkt in dafür vorgesehene Systeme weitergeleitet. Wie in Abbildung 43 zu sehen, können die Daten sowohl in Laufzeitdaten oder statische Daten, wie beispielsweise Engineering-Daten, unterschieden werden.

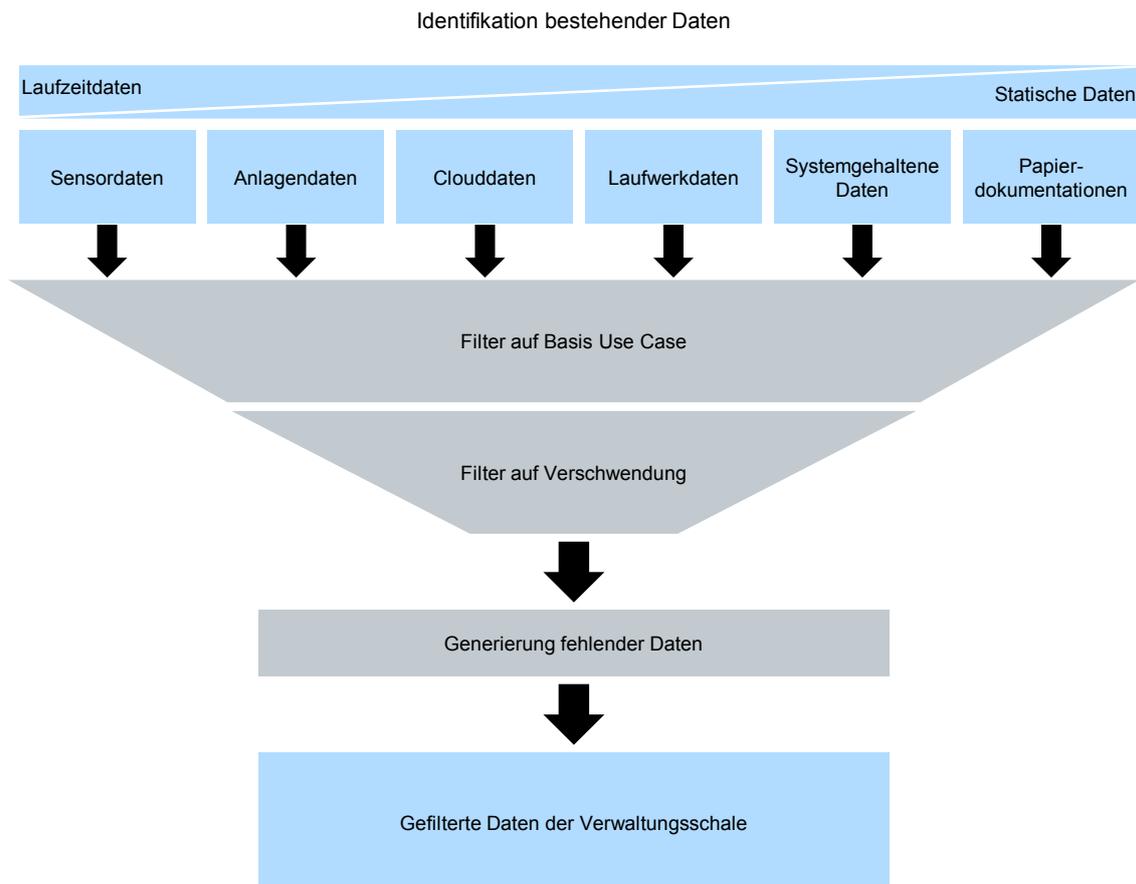


Abbildung 43: Beschaffung benötigter Daten

Zur Identifikation bestehender Daten kann strukturiert vorgegangen werden. Dafür eignet sich in einer ersten Phase die Strukturierung nach Lebenszyklusphasen. Hierbei erfolgt die Datenidentifikation entlang der Lebenszyklusphasen: Engineering Phase, Nutzungsphase und End-of-Production. In der Engineering Phase können die Daten nach bekannten Modellen (siehe Kapitel 2.1.3 Anlagenengineering) aufgeteilt werden. Grob dargestellt, unterteilt sich die Phase in Konzeptphase, Grobplanung, Detailplanung, Designphase, Bestellung und Aufstellung. Nach V-Modell der VDI 2206 können auf diese Weise die Daten beispielsweise in Anforderungen oder ökonomische Daten aufgeteilt werden und so für die spätere Eingliederung in Submodelle der Verwaltungsschale

nutzbar gemacht werden (VDI/VDE 2206). Die Nutzungsphase ist geprägt von Laufzeitdaten und Wartungsdaten. Hier zu finden sind beispielsweise Daten auf physikalischer Ebene, wie Sensoren- und Aktorendaten. Die Kontrolle über die Produktion erzeugt ERP-, PPS- oder MES-Daten im Business und Management Bereich. Daten können sowohl einzig in der Anlage gespeichert sein oder auch mit IT-Systemen geteilt werden. Dazu können Informationen auf Papier festgehalten werden und nicht in IT-Systeme übertragen werden. End-of-Production Daten können Informationen zur Material-Wiedergewinnung, Komponenten-Wiedergewinnung oder Produktionssystem-Wiedergewinnung sein. Das heißt, sowohl Recycling als auch Reuse oder die fachgerechte Entsorgung müssen mit Daten hinterlegt sein.

Die zu identifizierenden Daten können in verschiedenen Ablageorten liegen, die untersucht werden müssen. Sensordaten werden teilweise auf dem Anlagencomputer gespeichert, in diesem Fall werden sie teilweise aber nur für die Steuerung verwendet und nicht zugänglich abgespeichert. Daten können in einer Cloud abliegen oder auf Laufwerken der Fabriken. Dazu kommen IT- und Planungssysteme, die teilweise eigene Datenbanken nutzen. Zusätzlich können Daten auf lokalen Computern der Mitarbeiter liegen. Physische Träger wie USB-Stick, CD oder Papier werden immer seltener verwendet, aber auch hier können relevante Daten zu finden sein.

Anschließend müssen die identifizierten Daten gefiltert werden. In erster Linie müssen die Daten eine entsprechende Datenqualität aufweisen. Das bedeutet, die Daten, die in die Verwaltungsschale integriert werden sollen und dort mit Metadaten verknüpft werden, müssen die Informationen über die Metadaten mitbringen oder diese müssen ergänzt werden. Ein Beispiel sind Laufzeitdaten. Sollen Zeitreihendaten aus einem Roboter ausgelesen werden, ist es wichtig, dass alle Daten mit Bezeichnung ihrer Bedeutung und einem Zeitstempel versehen sind. Außerdem ist insbesondere die Filterung der Daten nach den definierten Use Cases relevant. Es sollten nur so viele Daten verarbeitet werden, wie für die späteren Auswertungen benötigt werden, um eine Verschwendung zu vermeiden. Welche benötigte Datenbasis aus den definierten Use Cases resultiert, ist stark abhängig von dem jeweiligen Anwendungsfall und muss im Einzelfall geprüft werden.

Anschließend sollten die Daten auf Verschwendungsarten geprüft werden. Nach (Karch et al., 2023) kann ein Lean-Engineering-Ansatz mit der Betrachtung von verschiedenen Verschwendungsarten aufgebaut werden. Eine Ausprägung von Verschwendung sind *Fehlinformationen*, diese berücksichtigt die Quantität und Qualität der Daten. Insbesondere wird hier die Verschwendung durch eine nicht an den Bedürfnissen des Kunden orientierte Datenauswahl berücksichtigt und als Basis für die folgenden Verschwendungsarten betrachtet. Eine weitere Art der Verschwendung im Zusammenhang mit Daten wird durch *Wartezeit und Suche* nach Daten verursacht. Diese Verschwendung kann durch Prozesse, Tools, Geräte oder auch Kollegen verursacht werden. Durch den Austausch zwischen einer oder mehrerer Datenquellen kann es zu der Verschwendung *Daten- und Informationstransfer* führen. Daten zu

übertragen ist nicht wertschöpfend und kann zu Fehlinformationen durch die Übertragung oder Konvertierung führen. Angelehnt an die Wartezeit betrachtet eine weitere Verschwendungsart die *Unstimmigkeiten im Arbeitsablauf*, durch die eine chronologisch festgelegte Reihenfolge fehlt und dadurch in der Arbeit Verschwendung entstehen kann. Daten, die nicht für einen bestimmten Zweck gesammelt werden, sind verschwendet, sie fallen unter *Bestandsaufnahme und Rückstände*. Jegliche abträgliche *Überarbeitung* der Daten, die nicht wertschöpfend ist, ist Verschwendung. Eine Verschwendungsart im gleichen Zusammenhang ist *Fehler und Nacharbeit*. Durch falsche Informationen oder Fehlinterpretationen entsteht der Aufwand die Daten und Informationen neu zu beschaffen, beziehungsweise zu korrigieren. Werden Daten genutzt und verwendet, aber nicht das volle Potential der Informationen verwendet, wird von der Verschwendung der *Fähigkeiten und Potenziale* gesprochen (eine Übersicht aller Verschwendungsarten ist in Anhang J zu finden). (Karch et al., 2023)

Nach der Filterung der Daten auf Eignung für die Use Cases sowie auf Verschwendung im Datenkontext muss geprüft werden, ob ausreichende Daten für die Umsetzung der Use Cases vorliegen. Außerdem muss die Erhebung neuer Daten eingeleitet werden. Dafür können beispielsweise neue Sensoren in die Anlage integriert werden oder zusätzliche Schnittstellen zum expliziten Auslesen von Daten geschaffen werden, die aktuell nur impliziert verarbeitet werden. Außerdem müssen in der aktuellen Fabrik- und Anlagenstruktur insbesondere die Brownfield-Assets berücksichtigt werden. Eine Anbindung älterer Anlagen beziehungsweise Komponenten kann eine potentielle Datenlücke schließen. Dazu bedarf es eines Retrofits, wodurch diese Anlagen und Komponenten mittels Adapter in die Verwaltungsschalenstruktur eingefügt werden können (für weiterführende Informationen siehe: (Nowacki, 2023)). Damit liegt abschließend die Datenbasis für die weitere Auslegung der Verwaltungsschale vor.

## 6.2 Struktur der Verwaltungsschale

Der Kern dieser Arbeit liegt in der Strukturdefinition der Verwaltungsschalen. Dafür werden zwei Themenfelder die Struktur betreffend untersucht und definiert. Der erste Bereich behandelt das Thema der Granularität, die datentechnisch Abbildung der betroffenen Komponenten- und Bauteilebenen. Im zweiten Schritt wird das Konzept PPR auf die Verwaltungsschale angewendet, um das gesamte Produktionssystem mit der Verwaltungsschalenstruktur abzubilden.

### 6.2.1 Strukturierung der Granularität

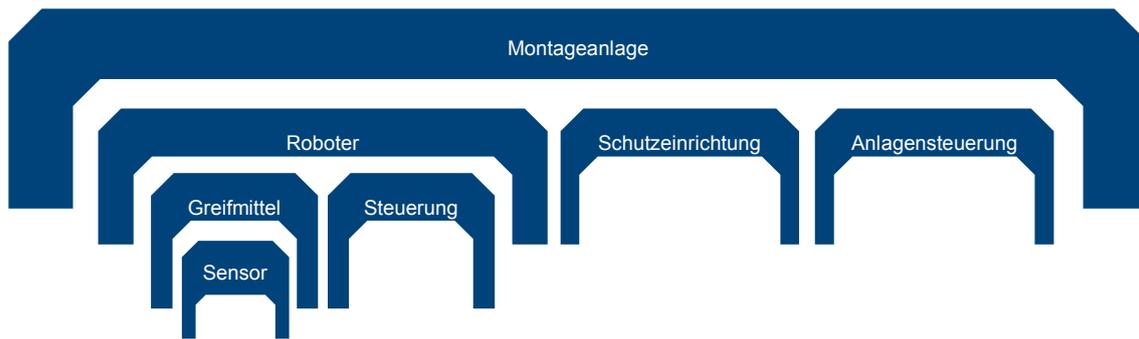


Abbildung 44: Granularität der Verwaltungsschalen

Montageanlagen bestehen in der Regel aus vielen Komponenten und Bauteilen. Aufgrund der Schachtelbarkeit von Verwaltungsschalen ist es möglich, für alle Bauteile Verwaltungsschalen anzulegen und in einer Anlagenschale zu verbinden (siehe Abbildung 44). Bis es so weit ist, dass jeder Komponentenlieferant seine Teile mit entsprechenden Verwaltungsschalen versendet und damit eine vereinfachte Integration in eine Anlagenschale ermöglicht, sollte kritisch geprüft werden, für welche Bauteile und Anlagen eine Verwaltungsschale händisch erstellt werden muss. Hierzu sollte eine gründliche Aufwand-Nutzen Betrachtung gemacht werden. Die Granularität ist dabei von den ausgewählten Use Cases abhängig. Die Betrachtung eines Energie oder Carbon Footprint Use Case ist insbesondere für die Gesamtanlage relevant. Fokus ist der Gesamtverbrauch einer Produktion oder einer Halle. Weist eine Anlage beispielsweise Auffälligkeiten in Bezug auf ihren Energieverbrauch auf, kann sie separat auf Energiepotentiale untersucht werden. Eine granulare Abbildung aller Komponenten in der Halle kann zwar in der Ursachenfindung von energetischer Verschwendung helfen, wird aber einen exponentiell höheren Aufwand bedeuten, als die Erstellung von Submodellen auf Anlagenebene für den Energieverbrauch. Use Cases wie das Condition Monitoring und die Laufzeitdatenanalyse benötigen in der Regel Daten auf Komponentenebene. Sensordaten oder Roboterdaten werden gezielt untersucht, um Kraftverläufe, Temperaturen, etc. aufzuzeichnen und zu analysieren. Daraus folgt der Bedarf nach einer hohen Granularität bei der Auslegung von Submodellen für Condition Monitoring von Montageanlagen.

Für eine vereinfachte Einschätzung der Granularität werden Datenebenen etabliert, die eine Abschätzung ermöglichen bei welchen Daten welche Granularität der Verwaltungsschale folgt. Hierzu wurden, wie in Abbildung 45 zu sehen, die Ebenen der Produktionssystemstruktur nach Kapitel 2.1.1 um die entsprechend betroffenen Daten ergänzt. (Lüder et al., 2017b)

Die Ebenen eins und zwei, Konstruktionselement und Komponente, lassen sich als unterste Stufe zusammenfassen. Auf diesen Ebenen können Laufzeitdaten, Condition Monitoring Daten und weitere Daten, wie Kraft- und Temperaturverläufe, erhoben werden. Die Ebenen drei, vier und fünf, Funktionsgruppe, Arbeitsstation und

Arbeitseinheit bilden die Funktionsebene. In dieser geht es um Daten eine gesamte Anlage betreffend oder um einzelne für sich abgeschlossene Teilanlagen betreffend. Ebenen sechs bis neun sind in der Regel weniger für konkrete Verwaltungsschalen eines Produktes, Prozesses oder einer Ressource relevant. Anhand der Beispieldaten auf der rechten Seite der Abbildung, können die betroffenen Use Cases für die Ebene direkt abgeleitet werden. Daraus resultiert die benötigte Granularität der Verwaltungsschalen für den Anwendungsfall.

Ebene	Beispieldaten
9. Fertigungsnetzwerk	Fabrikkosten, Fahrzeugvolumen, Kosten und Preise, Teilenummern
8. Fabrik	Produktmix, Fabrik KPIs, Fahrzeugprogramme
7. Fertigungslinie	Personalplanung, Schichtplanung, Tagesplanung, Ziel- und Outputdaten
6. Fertigungsabschnitt	Materialhandling (Ein-/Ausgang), Produktvariantenmanagement
5. Arbeitseinheit	Energiedaten, Werkzeugdaten, Fehlermeldungen, Prozesszeiten
4. Arbeitsstation	Qualitätsdaten
3. Funktionsgruppe	Prozessparameter, Produkt ID, Roboter Controller, Sensor und Aktuator Daten
2. Komponente	Schalterstellungen (ein/aus), Condition Monitoring
1. Konstruktionselement	Schraube

Abbildung 45: Datenebenen nach (Lüder et al., 2017b)

## 6.2.2 Strukturierung nach PPR

Eine Produktion ist das Zusammenspiel der drei Bestandteile Produkt, Prozess und Ressource. Aus dem Grund soll im Folgenden das PPR-Konzept kurz erläutert werden und die Technologie der Verwaltungsschale nach den Strukturen eines PPR-Konzeptes ausgelegt werden. (Winkler et al., 2021)

Wie in Abbildung 46 zu sehen werden Produktionssysteme mithilfe dreier Hauptkonzepte charakterisiert: Produkt, Prozess und Ressource. Das Zusammenspiel der drei Konzepte soll die Produktion eines Produktes in definierter Qualität und Herstellungszeit ermöglichen. Dabei stellt die Produktionsressource die Möglichkeit her, den Produktionsprozess auszuführen. Alle Produktionsressourcen lassen sich in die Hierarchie des Produktionssystems einordnen. Der Produktionsprozess stellt mithilfe der Ressourcen das eigentliche Produkt her. (Kathrein et al., 2019; Lüder, 2020)

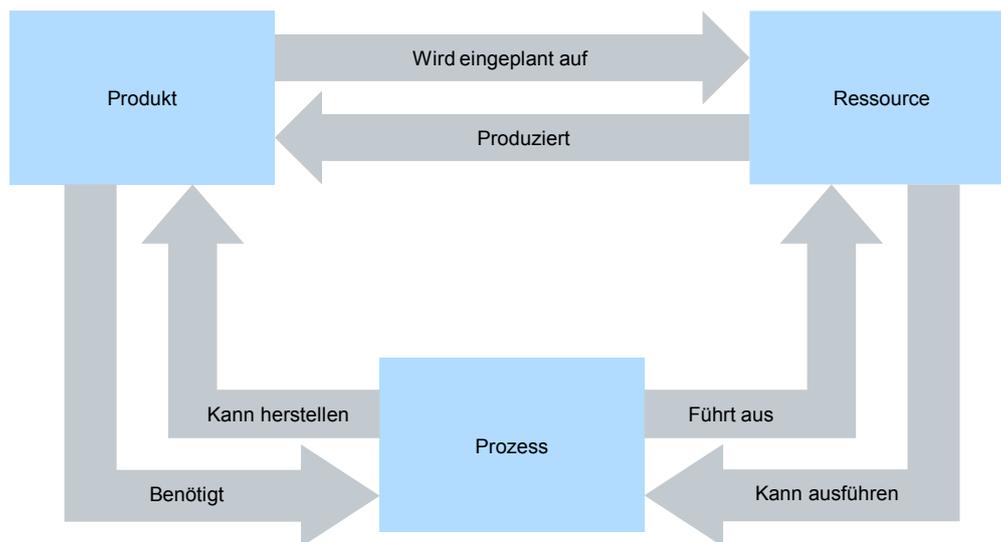


Abbildung 46: PPR Schaubild nach (Lüder, 2020)

Das hier aufgezeigte Konzept PPR hilft in der Detaillierung des Produktionsprozesses, dem Aufzeigen der beteiligten Ressourcen und den Zusammenhängen zwischen den drei Hauptkonzepten. Auf dieser Basis kann die Verwaltungsschale ausgelegt werden. Klassischerweise erstellt ein Hersteller für sein Produkt eine Verwaltungsschale und kann diese mit dem Produkt als Service zur Verfügung stellen. Beginnend bei einem Komponentenlieferanten stellt dieser dem Systemlieferanten eine Verwaltungsschale zur Verfügung. Dieser integriert viele Komponenten und damit auch Verwaltungsschalen und stellt dem OEM eine Anlage mit einer Verwaltungsschale zur Verfügung, welche die Informationen aller Komponenten enthält. Der OEM benötigt diese Informationen insbesondere für seine Produktionssteuerung und -überwachung. Auf Basis von PPR wird das Produkt, also das Fahrzeug, als Teil des Gesamtkonzeptes betrachtet und ebenfalls eine Verwaltungsschale besitzen, um prozessrelevante Informationen zentral halten zu können. Hierbei ist insbesondere die Berücksichtigung des Use Cases von Bedeutung. Mögliche Use Cases für diesen Fall können die Energie- und Carbon-Footprint-Verfolgung sein, um mit dem Produkt die konkreten Daten ablegen zu können. Darüber hinaus spielt die Prozesssteuerung und -überwachung eine wichtige Rolle. Durch eine zentrale Datenhaltung am Produkt, kann über jeden Prozessschritt auf relevante Daten aus vorangegangenen Prozessen zugegriffen werden, ohne von Systemen der vorangegangenen Prozesse abhängig zu sein.

Wie in Abbildung 47 wird ein Produktionsprozess mithilfe der drei Bestandteile modelliert und kann beliebig komplex ins Detail des Prozesses, der Ressource oder des Produktes gehen.

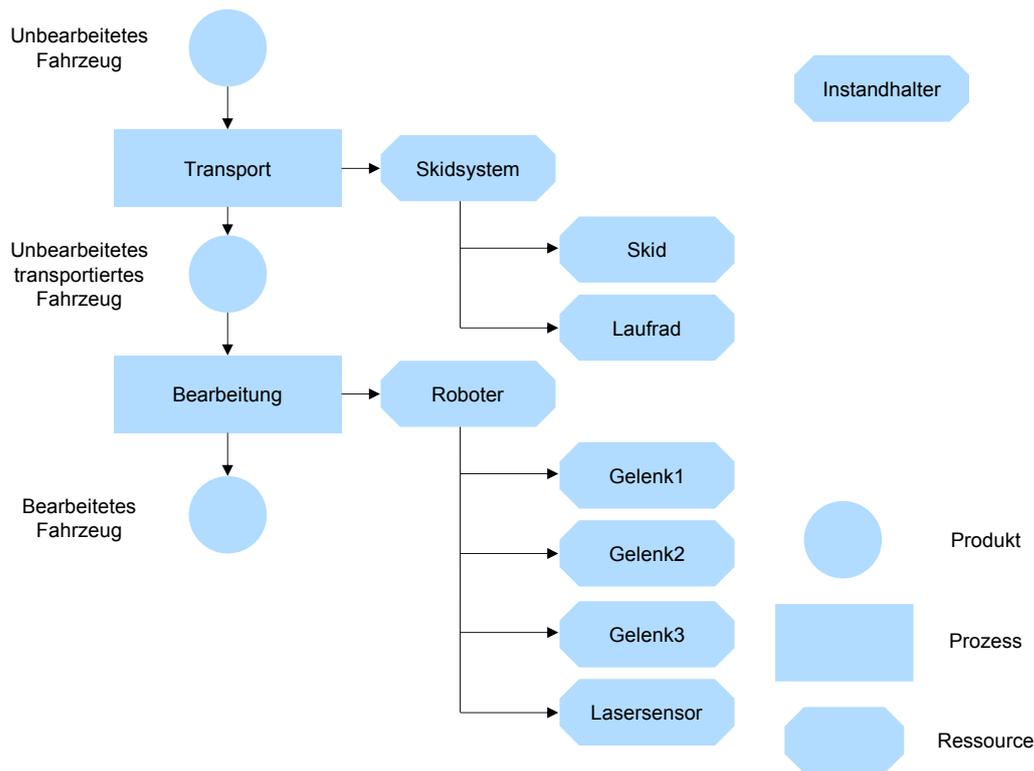


Abbildung 47: Abbildung eines PPR-Modells für eine Montagestation mit einem Roboter und Fördertechnik

Bei einer PPR-Sichtweise auf die Verwaltungsschale lässt sich feststellen, dass in Zusammenhang mit dem Lebenszyklus ein Objekt sowohl eine Produktverwaltungsschale als auch eine Ressourcenverwaltungsschale besitzen kann. Ein Sensor ist für einen Komponentenlieferanten sein *Produkt*, während der gleiche Sensor integriert in einer Anlage Teil der *Ressource* für einen OEM ist.

Für ein einheitliches Verständnis wird die Sicht des OEM für diese Arbeit betrachtet, außer es wird explizit davon abgewichen. Das bedeutet, das *Produkt* ist ein Fahrzeug. Die *Ressourcen* sind die Bestandteile des Produktionssystems, also Produktionsanlagen und Mitarbeiter. Der *Prozess* ist in dieser Arbeit ein Montageteilprozess zur Fahrzeugherstellung. Im Folgenden sollen die verschiedenen resultierenden Verwaltungsschalen auf Basis des PPR-Konzeptes genauer beschrieben werden.

Das hier vorgestellte Konzept wird nun auf die Verwaltungsschale übertragen (siehe Abbildung 48). Wie bereits beschrieben, können Assets, die Verwaltungsschalen besitzen, jedes „Ding“ von Wert für ein Unternehmen sein. In der aktuellen frühen Phase werden insbesondere Anlagen und Komponenten in der Entwicklung der Verwaltungsschale berücksichtigt. In dieser Arbeit wird der Fokus auf den gesamten Produktionsprozess gerichtet. Dem folgend, lassen sich vier Verwaltungsschalen aus der PPR-Logik im Montagekontext identifizieren. Eine Verwaltungsschale begleitet das Produkt, also das Fahrzeug durch die Produktion. Eine weitere Schale beschreibt den Prozess und hält Prozess- sowie Qualitätsparameter. Im Bereich Ressource werden

sowohl eine Anlage als auch der Mitarbeiter berücksichtigt.

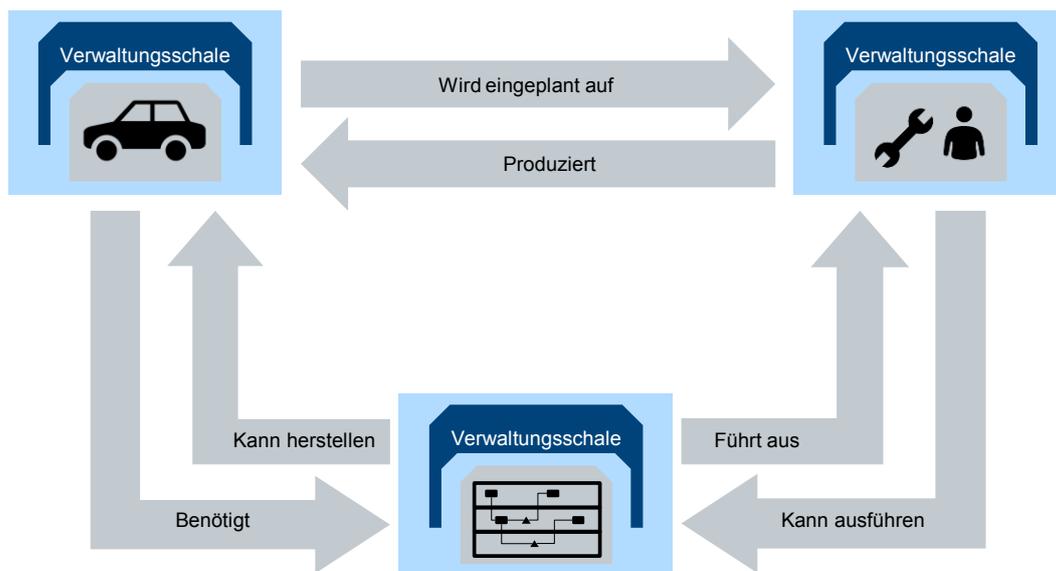


Abbildung 48: PPR-Ansatz mit Verwaltungsschalen

Die *Ressource* im technischen Sinne, also Anlage und Komponente, bilden den ersten Bereich der Verwaltungsschalen. Der klassische Industrie 4.0 Ansatz behandelt die Digitalisierung der Produktionsanlagen. An dieser Stelle können viele Submodelle verortet werden, die die Dokumentation der Anlagen, die Laufzeitdaten der Anlage oder auch die konkrete Kommunikationsbeschreibungen umfassen. Darüber hinaus beinhaltet eine Verwaltungsschale der Anlage Energiedaten zu Strom und Pneumatik. Der gesamte Engineering-, Planungs- und Konstruktionsprozess wird ebenfalls in der Verwaltungsschale der Anlage festgehalten. Bei umfassender Umsetzung der Verwaltungsschalenlogik in der Industrie sollten Anlagen bereits mit zugehörigen Schalen ausgeliefert werden. Dabei erfolgt eine Übergabe der Komponenten inklusive Schalen an den Systemintegrator. Dieser fügt die bestehenden Verwaltungsschalen zusammen und ergänzt weitere Daten. Anschließend erfolgt die Übergabe der Anlage mit zugehöriger Verwaltungsschale. Der OEM kann diese im Betrieb nutzen und ergänzen.

Die in dieser Arbeit verwendete Visualisierung ist in Abbildung 49 zu sehen. Für ein einheitliches Verständnis wird in dieser Arbeit von einer **AAS** gesprochen, wenn es um die Verwaltungsschale der Anlage geht. Dies ist abzugrenzen von den neu eingeführten Begriffen für die weiteren Schalenarten in den folgenden Abschnitten.



Abbildung 49: Asset Administration Shell einer Anlage

Die *Ressource* im humanen Sinne, also der Werker als Produktionsressource ist nicht Umfang der klassischen Verwaltungsschalenstruktur. Da die automobiler Montage aktuell einen geringen Automatisierungsgrad von 20-30% besitzt, sollen auch die manuellen und teilmanuellen Tätigkeiten mit der Verwaltungsschalenlogik berücksichtigt werden können. Nach (Assadi et al., 2020) kann auch für den Menschen eine Verwaltungsschale, eine sogenannte „Human Administration Shell“ (**HAS**), erstellt werden (siehe Abbildung 50).

Das Asset ist in diesem Fall der Mensch. Merkmale und Attribute können physische Werte, wie die Größe des Mitarbeiters, sein. Oder Befähigungen, Schulungen und Wissen sind relevante Attribute wie Anlagenkenntnisse, Produktionsressourcen, Führerscheine, etc. Alle Eigenschaften, die im Zusammenspiel mit anderen Ressourcen wie Anlagen oder Mitarbeitern und dem Produkt relevant werden können, sollen Bestandteil der HAS sein.

In der Auslegung einer menschlichen Verwaltungsschale ist insbesondere die Sicherheit der persönlichen Daten relevant. Aus dem Grund wird eine Aufteilung der Daten vorgeschlagen, nach welcher nur gewisse Daten durch kontrollierende Instanzen eingesehen und bearbeitet werden dürfen. Andere Daten können einzig durch den Mitarbeiter selbst gepflegt und eingesehen werden. Das Ziel ist die direkte Zusammenarbeit zwischen menschlicher und maschineller Verwaltungsschale. Ein möglicher Use Case ist ein höhenverstellbarer Tisch. Ein Mensch mit einem Smarten Device wie einer Smartwatch, die seine Verwaltungsschale trägt und kommuniziert, nähert sich dem Tisch und die beiden Schalen kommunizieren nach dem I4.0 Gedanken. Dabei werden Informationen ausgetauscht wie beispielsweise die Größe des Werkers. Die Steuerung des Tisches hat die zugehörige Tischhöhe hinterlegt und kann sich automatisch auf den Werker einstellen. (Assadi et al., 2020)



Abbildung 50: Human Administration Shell nach (Assadi et al., 2020)

Die in Abbildung 51 zu sehende „Product Administration Shell“ (**PtAS**) nimmt in der Automobilindustrie ebenfalls eine Sonderstellung ein. Viele Komponentenlieferanten arbeiten bereits an dem Thema der Verwaltungsschalen (siehe Beteiligung von Firmen an der IDTA<sup>8</sup>). Diese sind aber immer für den weiteren gewerblichen Gebrauch und späteren Einsatz in der Produktion vorgesehen. Das bedeutet, ein Produkt der Komponentenlieferanten wird im Laufe seines Lebenszyklus eine Ressource für den OEM. Das Produkt eines OEM ist für den Endkunden bestimmt und wird im überwiegenden Teil privat genutzt. Trotzdem sind mehrere Konzepte der Produktverwaltungsschale für den Automobilbau denkbar.

Eine erste mögliche Umsetzung ist ein Single-Point-of-Truth Ansatz. Das bedeutet, relevante Daten zu Qualität und Prozess werden produktgehalten abgelegt. Dadurch kann das Produkt selbst Auskunft über die Prozessparameter und Qualitätsparameter geben, die es durch den Fertigungsprozess mitgenommen hat. Mögliche Anwendungsfälle sind digitale Qualitätsakten, die während des Produktionsprozesses nicht mehr in Papierform im Fahrzeug liegen müssen und somit nicht verloren gehen können. Die Daten können dann über die eindeutige Identifizierung des Fahrzeugs aus dem Repository abgerufen werden. Ein weiterer Anwendungsfall in der Montage kann das Auslesen von Prozessparametern aus der Lackiererei sein. In den Prozessen des Lackierens, Konservierens und Abdichtens kann es zu Verunreinigungen von montagerelevanten Öffnungen kommen. Sind alle Daten entsprechend zugänglich und können ausgewertet werden, kann die Produktion mit Gegenmaßnahmen eine Behinderung im Montageprozess verhindern. Darüber hinaus können das Fahrzeug und seine Verwaltungsschale mit Informationen über Verarbeitungsschritte ausgestattet werden, die den SOLL-Prozess beschreiben. Durchläuft das Fahrzeug die Produktion, werden Informationen nicht ausschließlich in verschiedenen zentralen Systemen der automatisierten Anlagen oder durch die Werker erzeugt und gespeichert, sondern es erfolgt eine Verlinkung in der PtAS. Bei einer anschließenden Auswertung oder Analyse

<sup>8</sup> <https://industrialdigitaltwin.org/ueber-idta/mitglieder-idta> [Zugriff am 07.08.2024]

erfolgt der Zugriff zentral über die PtAS, in der alle relevanten Produkt-, Prozess- und Verarbeitungsparameter verlinkt sind.



Abbildung 51: Product Administration Shell

Die zweite Möglichkeit einer Produktverwaltungsschale eröffnet ein neues Geschäftsfeld im Vertrieb. Privatkunden profitieren von den strukturiert zugänglichen Daten durch einen vereinfachten Werkstattbesuch, bei welchem auf die Datenbasis zugegriffen werden kann. Im Bereich der Geschäftsfahrzeuge kann die Verwaltungsschale weiterverwendet werden. Hier besteht möglicherweise die Chance aus der Produktverwaltungsschale für das Geschäft eine Ressourcenverwaltungsschale zu machen. In dieser werden neben den Produktionsdaten neue Daten zu Fahrstrecken, Reparaturen, Verbräuchen oder anderen geschäftsrelevanten Daten während des Betriebs gespeichert. Sowohl im Lastkraftwagenbereich als auch im Handwerk wird so ein Single-Point-of-Truth geschaffen, aus dem Informationen für die Geschäftsentwicklung gewonnen werden können. Zu Berücksichtigen sind hier ebenfalls gesetzliche Vorgaben, wie beispielsweise der *Digital Product Passport EU* (Gallina et al., 2023).

Der dritte Bestandteil der PPR-Logik umfasst den Prozess. Die in Abbildung 52 zu sehende „Process Administration Shell“ (**PcAS**) wird als ein Beziehungskomplex modelliert (Plattform Industrie 4.0, 2017a). Die Bündelung in einer Prozessschale befähigt dazu, dass neue Submodelle sowohl auf Daten des Produktes als auch auf mehrere Ressourcen zugreifen können. Insbesondere liegen in der Verwaltungsschale des Prozesses entsprechende Prozessparameter ab, das heißt, Sekundärdaten, die sich aus Primärdaten der anderen Schalen ergeben. Beispielhaft kann aus einer Motorgeschwindigkeit in der Schale der Fördertechnik die Geschwindigkeit berechnet werden, mit der sich das Fahrzeug durch den Prozess bewegt. Ein weiteres Beispiel ist der automatisierte Verbau von Komponenten am Fahrzeug. Aus Daten über den Fahrweg des Roboters können Rückschlüsse gezogen werden, ob das Roboterprogramm wie gewünscht abgefahren wurde und die Komponente an der Stelle

positioniert wurde, wo sie verbaut werden sollte. Daraus kann die Information über einen erfolgreichen Verbau oder gescheiterten Prozess gewonnen werden und in der Prozessverwaltungsschale abgelegt werden.

Diese Informationen können sowohl im Betrieb als auch in der Planung von Wert sein. Werden neue Fahrzeuge eingerüstet, werden aktuell große Bereiche einer Montagelinie komplett erneuert. Das detaillierte Wissen über einen Prozess, seine Bestandteile und seine Fähigkeiten ermöglichen es, Anlagen und Prozesse anzupassen, anstatt sie abzubauen und zu ersetzen. Dies ermöglicht eine Modularisierung der Montage.

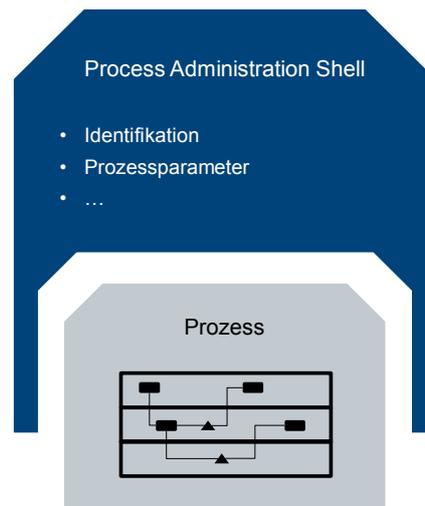


Abbildung 52: Process Administration Shell (Abbildung angelehnt an (Plattform Industrie 4.0, 2017a))

Die hier vorgestellte Übertragung des PPR-Ansatzes auf die Verwaltungsschalenlogik führt in der Übersicht zu den vier Schalentypen:

- **AAS – Asset Administration Shell**
- **HAS – Human Administration Shell**
- **PtAS – Product Administration Shell**
- **PcAS – Process Administration Shell**

Diese Neuentwicklung ermöglicht es, einen Prozess mit allen Bestandteilen bestmöglich zu beschreiben und das Metadatenmodell der Verwaltungsschale dementsprechend zu gestalten.

### 6.3 Modellieren der Daten im Metamodell

Das Modellieren der Daten teilt sich in drei Bereiche auf. In einem ersten Schritt werden bestehende Submodelle untersucht und mit den identifizierten Use Cases und bestehender Datenstruktur abgeglichen. Daraufhin wird die Verwaltungsschale mit Daten befüllt. In einem letzten Schritt wird die Verwaltungsschale in die IT-Landschaft des Unternehmens integriert.

### 6.3.1 Abgleich mit bestehenden Submodellen

In einem ersten Schritt der Modellierung wird geprüft, ob die ausgewählten Use Cases durch bestehende definierte Submodelle der Verwaltungsschale abgedeckt werden können. Dieser Schritt ist wichtig, um die durchgängige Standardisierung sicherzustellen. In diesem Fall können die Templates verwendet werden, um die Datenstruktur innerhalb des Submodells für den Use Case festzulegen. Dabei sind insbesondere die Inhalte sowie die referenzierte Semantik festgelegt. Darüber hinaus gilt es zu bedenken, wie mit Use Cases umgegangen wird, die noch nicht mit einem veröffentlichten Submodell umgesetzt werden können, sowie mit Themen, die unternehmensspezifisch sind. Dabei muss beachtet werden, dass die Submodelle, die konkret für Konzerne oder Unternehmen aufgebaut werden, allgemeingültige Modelle nur ergänzen aber nicht ersetzen.

Der erste Fall betrachtet das Vorliegen eines fertig definierten Submodells in bestehenden Bibliotheken. Eine große Anzahl an Submodellen wurde bereits durch Gremien wie die IDTA (Zusammenschluss aus der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie e.V. (ZVEI) und weiteren Unternehmen), Interopera, Standardization Council Industrie 4.0, SAP und weiteren Unternehmen und Gremien erstellt und veröffentlicht. Die Basis für neue Submodelle sollten immer bestehende Normen und Standards sein, die für eine einheitliche Semantik sorgen können. Aktuell sind 25 Teilmodelle bei der IDTA veröffentlicht (siehe Anhang L - Stand 07.08.2024).

Der zweite Fall behandelt Use Cases, die von keinem veröffentlichten Submodell abgedeckt werden. In diesem Fall gilt es zu prüfen, ob Modelle bereits in Prüfung oder im Review Prozess sind<sup>9</sup>. In diesem Fall sollte eine Beteiligung am Standardprozess stattfinden. Sollten keine Modelle für den Use Case in Entwicklung sein, müssen neue Submodelle erstellt werden. Dabei gilt es, einen Standardprozess nach IDTA-Norm einzuhalten (siehe Abbildung 53). Bei Einreichung eines neuen Vorschlages, erfolgt ein initialer Check, ob das Submodell so umgesetzt werden soll. Nach Verifizierung wird ein Arbeitsteam aufgestellt, welches das Teilmodell ausarbeitet und einen Entwurf einreicht. Ähnlich einem Veröffentlichungsprozess eines wissenschaftlichen Papers, erfolgt darauf ein Reviewprozess und anschließend die Veröffentlichung. Veröffentlichte Submodelle können bei Bedarf aktualisiert werden, müssen dann aber wieder dem Reviewprozess unterzogen werden. Wie bei einer Norm kann das Submodell zurückgezogen beziehungsweise abgesetzt werden.

---

<sup>9</sup> Aktuell befinden sich 64 Submodelle (Stand 07.08.2024) in dem Status Entwicklung, Überprüfung, Vorschlag eingereicht oder In der Warteschleife - siehe Anhang L.

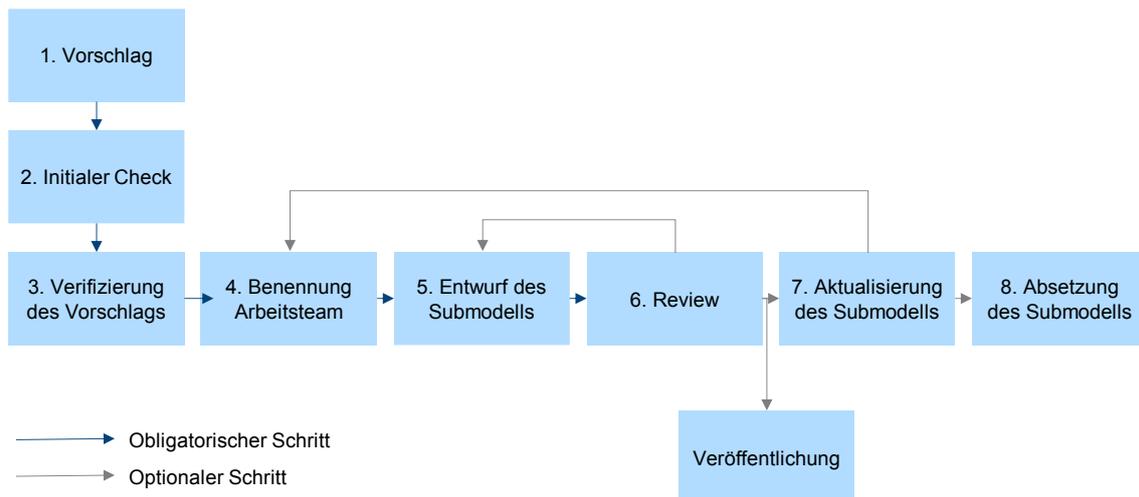


Abbildung 53: Prozess zur Erstellung von Submodellen der IDTA

Im dritten Fall liegen Use Cases vor, die ebenfalls nicht durch bestehende Submodelle abgedeckt werden. In diesem Fall ist eine Veröffentlichung über Standardisierungsgremien nicht möglich, da die Submodelle für die interne Arbeit in einem Unternehmen oder Konzern benötigt werden. In Unternehmen existieren komplexe Strukturen, die sich nicht immer über Standards abbilden und sich nicht auf bestehende Standards anpassen lassen. In diesem Fall kann es sinnvoll sein, ergänzend zur Industrienorm ein weiteres Submodell, beispielsweise mit unternehmensinternen Identifikationen, zu integrieren. In diesem Fall sind die Maschinenlesbarkeit und Standardisierung einzig für das Unternehmen relevant und müssen nicht durch unabhängige Gremien geprüft werden. Es ist aber zu beachten, dass die unternehmensintern gestalteten Submodelle ausreichend dokumentiert und innerhalb des Unternehmens zugänglich sind. Eine Doppelbebauung muss vermieden werden, das heißt bei gleichen oder sehr ähnlichen Use Cases muss das Wissen über interne Submodelle verbreitet und der Zugang zu diesen Submodellen allen Abteilungen und Gewerken ermöglicht werden.

### 6.3.2 Modellierung der Daten

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Modellierung der in Abschnitt 6.1.2 identifizierten, gefilterten und strukturierten Daten in die in Abschnitt 6.3.1 identifizierten und erstellten Submodelle. Die Erstellung einer Verwaltungsschale kann in unterschiedlichen Tools geschehen. AASX Package Explorer<sup>10</sup>, Py40AAS<sup>11</sup>, BaSyx<sup>12</sup>, NOVAAS<sup>13</sup>, RACAS Wizard<sup>14</sup> und FA<sup>3</sup>ST<sup>15</sup> sind einige Beispiele für Tools und Software zu Erstellung einer

<sup>10</sup> <https://github.com/admin-shell/aasx-package-explorer> [Zugriff am 07.08.2024]

<sup>11</sup> [https://www.matse.itc.rwth-aachen.de/dienste/public/show\\_document.php?id=20027](https://www.matse.itc.rwth-aachen.de/dienste/public/show_document.php?id=20027) [Zugriff am 07.08.2024]

<sup>12</sup> <https://eclipse.dev/basyx/> [Zugriff am 07.08.2024]

<sup>13</sup> <https://gitlab.com/novaas/catalog/nova-school-of-science-and-technology/novaas> [Zugriff am 07.08.2024]

<sup>14</sup> <https://www.lia.ovgu.de/lia/en/Project+overview/RACAS.html> [Zugriff am 07.08.2024]

<sup>15</sup> <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/faaast-werkzeuge-digitale-zwillinge-verwaltungsschale-industrie40.html> [Zugriff am 07.08.2024]

Verwaltungsschale. Darüber hinaus können einige Tools weitere Funktionen bieten, wie die Bereitstellung der Registry, einem Client als Bibliothekselement und weiterer Funktionen. (Quadrini et al., 2023)

Für die weitere Arbeit wird der AASX Package Explorer (siehe Abbildung 54) für die Erstellung der Verwaltungsschalen genutzt. Da jedes erwähnte Tool standardisierte Verwaltungsschalen erstellt, hat die Entscheidung für ein Tool keine weiteren Auswirkungen und die in dieser Arbeit durchgeführten Modellierungen hätten auch in einem anderen Tool geschehen können. Gestartet wird in der Desktopsoftware mit der Anlage einer neuen Verwaltungsschale, die in einem ersten Schritt lokal auf dem Rechner gespeichert wird. In dieser Schale wird das betroffene Asset angelegt und beschrieben.

The screenshot displays the AASX Package Explorer interface. The left pane shows a tree view of the asset management shell structure. The right pane shows the details of a selected submodel, including its name, kind, semantic ID, and various properties. Three callout boxes highlight key elements:

- Verwaltungsschale des betrachteten Assets:** Points to the root shell structure.
- Submodelle der Verwaltungsschale:** Points to the submodel entries.
- Beinhaltete Attribute und Dateien der Submodelle:** Points to the list of properties and files within a submodel.

Abbildung 54: Beispiel: Anlage einer Verwaltungsschale im AASX Package Explorer

Für jede festgelegte Schalenstruktur aus den vorangegangenen Abschnitten kann auf diese Art eine Verwaltungsschale erstellt werden. Eine Hilfestellung zur Übersicht kann das PPR-Modell bieten, indem ergänzende Symbole für die einzelnen Typen von Schalen integriert werden (siehe Abbildung 55).

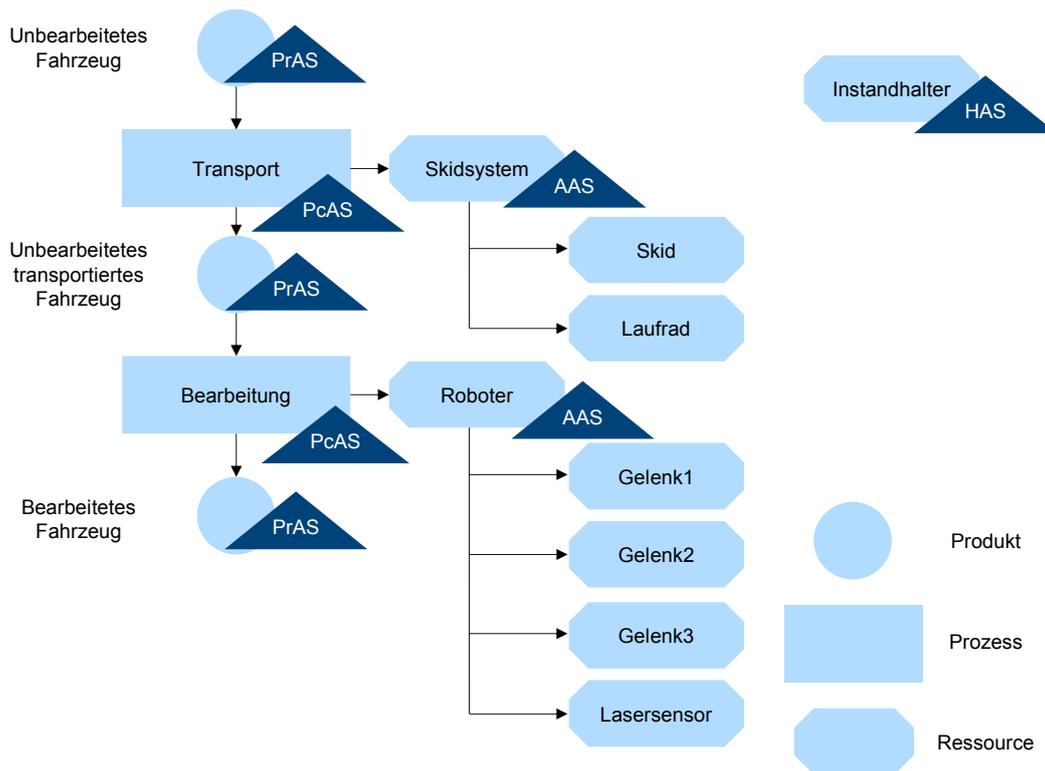


Abbildung 55: Übersicht PPR mit Schalen

Ein wichtiger Punkt in der Modellierung der Verwaltungsschalen ist das Festlegen von Identifikationen. Zu berücksichtigen sind in der Auslegung der Identifikationen die in Kapitel 6.2 festgelegten Strukturen. Bei den IDs ist zu unterscheiden zwischen Semantik ID und Asset-Identifikations-ID. Die ID der Semantik kann nach bestehenden Normen festgelegt werden, wie der International Registration Data Identifier (IRDI) oder ECLASS Semantik (siehe Normen ISO/IEC 11179-6, ISO 29002-2 und ISO 6532). Bei der Auswahl von bestehenden Submodell-Templates sind diese Semantik IDs bereits festgelegt. Dadurch wird der hohe Grad an Standardisierung erreicht. Die Lesbarkeit durch Maschinen und Systeme ist gegeben, indem die vorliegenden Daten auf Basis der Standardsemantik verstanden werden können.

Die Festlegung der Asset-Identifikations-ID basiert auf zwei Standards. In der Regel werden die URI / IRI verwendet oder der GUID (siehe Kapitel 4.5.3). Beide Standards ermöglichen eine eindeutige Vergabe eines Identifikators, der weltweit nicht noch einmal vergeben wird. Das ist relevant für die Arbeit über den Lebenszyklus hinweg sowie bei der hersteller- und industrieübergreifenden Arbeit. Aufgrund bestehender Strukturen in Unternehmen ist es nicht immer möglich, bestehende Kennzeichnungen von Anlagen, Produkten oder Prozessen anzupassen. Bestehende Systeme und Anlagen beziehen sich auf die aktuell bestehenden Identifikatoren. Aus dem Grund wird für die aktuelle Phase der Einführung von Verwaltungsschalen ein zusätzliches Vorgehen empfohlen. Neben der IRI oder GUID, die das Asset global eindeutig identifizieren, kann ein Submodell in der Verwaltungsschale ergänzt werden, welches die diversen Identifikatoren für das Asset beinhalten. Ein bestehendes System kann in dem

Submodell die für das System benötigte Identifikation des Assets, Produktes oder Prozesses finden.

Wie in Kapitel 4.5.3 beschrieben, ist der Typ eine Beschreibung relevanter Attribute und Verhaltensweisen. Instanziiert man einen Typen, wird eine Instanz geschaffen, ein konkretes Exemplar mit konkreten Ausprägungen der Attribute und Verhaltensweisen. Im Kontext des Automobilbaus kann ein Typ ein bestimmtes Fahrzeugmodell einer Marke sein. Dieses hat eine konkrete Menge an Motoren, Farben und weiterer Ausstattung, die ausgewählt werden können. Wird ein Auto des Modells bestellt, werden Motor, Farbe und Ausstattung festgelegt und unter einer eindeutigen Seriennummer definiert. Dieses Auto mit seiner Spezifikation aller Attribute ist eine Instanz. Im Folgenden soll eine Einordnung der Bedeutungen *Typ* und *Instanz* im Produktionsbezug erfolgen. Entlang des Lebenszyklus können Typ und / oder Instanz relevant sein (Plattform Industrie 4.0, 2020a).

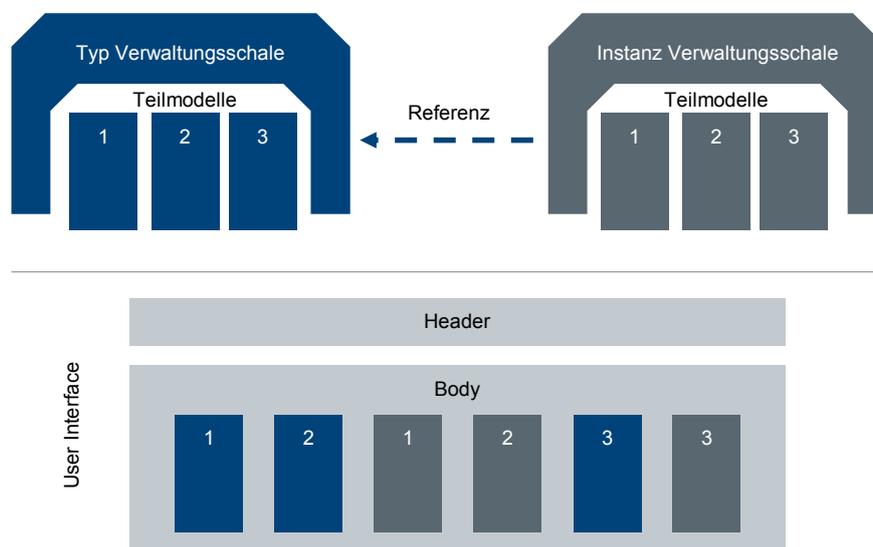


Abbildung 56: Verwaltungsschalen Typ und Instanz (Plattform Industrie 4.0, 2020b)

In der Entwicklung liegt der Fokus auf dem Typ des Produktes. Vom Konzept bis zu den ersten Prototypen werden Eigenschaften und Funktionalitäten des Produktes definiert und Designdaten, wie 3D Modelle oder Schaltpläne, werden mit dem Asset-Typ verknüpft. In der folgenden Produktion wird die Instanz des Typen hergestellt. Hierbei werden spezifische Informationen erfasst und verknüpft. Dazu gehören Daten über die Produktion, Logistik und Qualität. Sowohl Typ als auch Instanz des Assets sind in der Nutzungsphase relevant. Der Asset-Typ wird mit Informationen zu technischen Datenblättern und Marketinginformationen angereichert. Die Asset-Instanz hält sämtliche Informationen zur Laufzeit, Wartung, Optimierung und Stilllegung. Die Beziehung zwischen Typ und Instanz ist in Abbildung 56 dargestellt.

Zusätzlich können neue Ansätze hinzugezogen werden, wie von (Hünecke et al., 2024) beschrieben. Diese wissenschaftliche Arbeit betrachtet die Möglichkeit der Modellierung von FMEA spezifischen Umfängen in der RAMI 4.0 Toolbox, einer Erweiterung eines

Enterprise Architect Modells mittels Domain-spezifischer Sprache. Diese Erweiterung, die in der untersuchten Arbeit mit AutomationML arbeitet, soll in Zukunft ebenfalls die Modellierung einer Verwaltungsschale erleichtern.

### 6.3.3 Integration in die IT-Landschaft

Der abschließende Schritt der Methodik befasst sich mit der Integration der erstellten Verwaltungsschalen in die bestehende IT-Landschaft des Unternehmens. Zwei Ausgangsvarianten sind zu unterscheiden. Falls bereits eine Struktur von Verwaltungsschalen und der benötigten Infrastruktur, wie Repository und Registry, vorhanden ist, müssen die Schalen entsprechend der Infrastrukturvorgaben eingefügt werden. Insbesondere sind hier die Vergabe von zentralen IDs zu beachten und die erstellten Schalen noch einmal anzupassen.

Bei keiner bestehenden Struktur müssen mehrere Punkte definiert werden, um die Architektur im Unternehmen zu bestimmen. In Abbildung 57 ist das Gerüst, der zu definierenden Strukturelemente, zu finden. Ein Thema ist die Datenhaltung. Das Repository kann zentral in einer Cloud oder auf einem Server beziehungsweise Laufwerk oder dezentral bei den Assets liegen. Eine zentrale Registry muss festgelegt werden, damit die Namensgebung und Identifikation einheitlich gestaltet werden können. Darüber hinaus muss das Thema der Sicherheit der Daten abgedeckt sein. Eine Form von Sicherheitsmanagement muss in der Architektur berücksichtigt werden. Die Schnittstellen zu den Services und Applikationen müssen sichergestellt und definiert werden, hierfür eignen sich insbesondere API-Konnektoren. Abschließend muss die Kommunikation zum Shopfloor sichergestellt werden, hierfür bedarf es einer Zwischenebene oder entsprechenden Übersetzern für die Übertragung der Kommunikation vom Shopfloor in die Verwaltungsschalenebene (Nowacki, 2023).

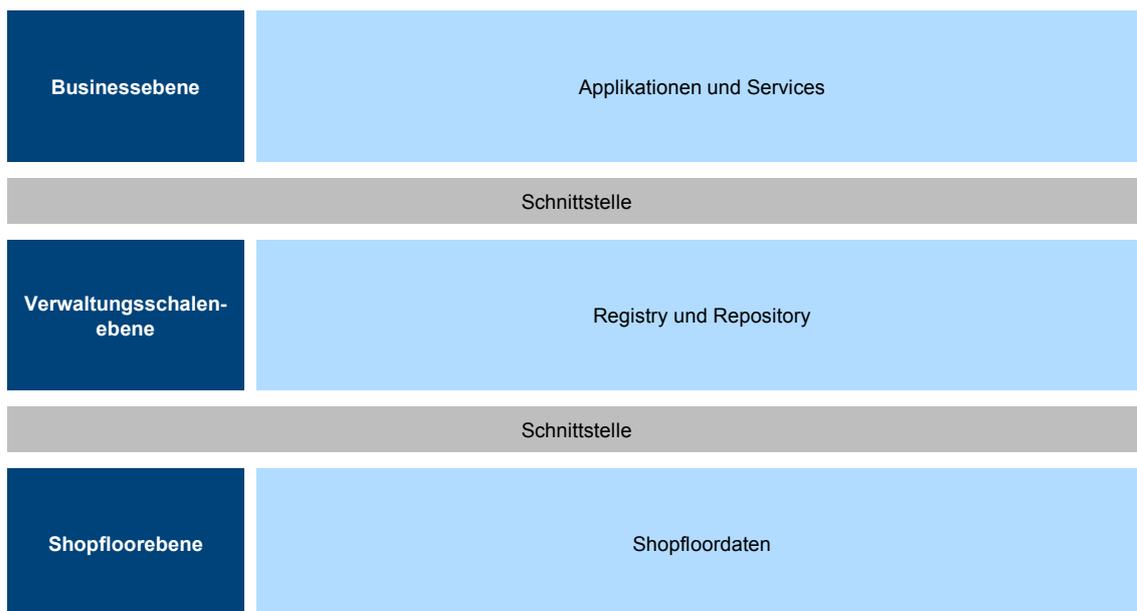


Abbildung 57: Zu definierende Architektur grob vereinfacht

Eine potentielle Umsetzung der IT-Infrastruktur unter Berücksichtigung der Technologien Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA (vergleiche 4.5.4) kann nach Abbildung 58 folgendermaßen aussehen. Es werden konsequent drei Grundideen umgesetzt. Erstens erfolgt eine Zweiteilung von Informationsmodellierung und -nutzung. Die Modellierung beziehungsweise Implementierung erfolgt über eine zweite Grundidee, der Verwendung frei verfügbarer Implementierungstechnologien (Python, BaSyx, etc.). Die Informationsnutzung erfolgt über eine Verwaltungsschalen-Laufzeitumgebung in Kombination mit einem OPC UA Server. Das leitet über zur dritten Grundidee, der klaren Aufgabenverteilung von Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA. Hierbei wird AutomationML in der Modellierungsphase verwendet und OPC UA wird für die Laufzeitdaten verwendet, während die Verwaltungsschale als Verknüpfung agiert. (Lüder, Blume et al., 2024)

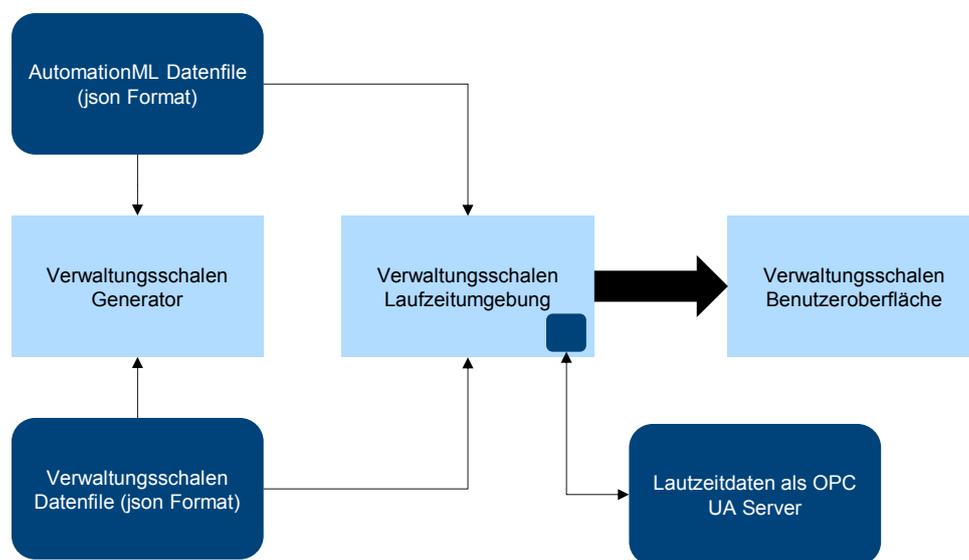


Abbildung 58: Prototypische Realisierung Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA nach (Lüder, Blume et al., 2024)

Unterstützende Methoden für den letzten Bauteil des Vorgehensmodell können SCRUM und Lean darstellen. SCRUM bietet wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben einen agilen Handlungsrahmen, der insbesondere bei Projekten im Bereich IT sinnvoll eingesetzt werden kann. Der Gedanke des LEAN-Managements, nach Kapitel 2.2.2, kann bei der Auslegung der IT-Struktur ebenfalls berücksichtigt werden. Jeder zusätzliche Baustein und jede Schnittstelle, die nicht zwingend erforderlich sind, bieten eine Anfälligkeit für Fehler und Verschwendung.

#### 6.4 Rahmenwerk für die Methodik

Neben den konkreten Methodikschritten wird das Rahmenwerk festgelegt (siehe Abbildung 40). Über die gesamte Laufzeit wird eine Projektbegleitung *digitale Transformation* benötigt, die einen Überblick behält und vertiefendes Wissen in der

Verwaltungsschalen-Technologie besitzt.<sup>16</sup> Hier liegen klassische Projektmanagement-Aufgaben, wie das Tracken des Fortschritts sowie das Verteilen von Aufgabenpaketen. Zusätzlich werden Experten hinzugezogen, die vertiefendes Wissen zu den Teilschritten ergänzen können. Für Schritt eins der Methodik, der Identifikation von Use Cases und Daten, werden die Planung und die Betreiber von Montageanlagen hinzugezogen. Für den zweiten Schritt werden weitere Experten für die Verwaltungsschale hinzugezogen, die in Strukturfragen beraten können. In Schritt drei werden ebenfalls diese Experten gemeinsam mit der Unternehmens-IT benötigt, um die Modellierung und Implementierung zu realisieren.

Meilensteine können bei der Umsetzung eines Projektes helfen. Dafür kann bei Erreichung eines Meilensteins geprüft werden, ob dieser erfüllt ist und an der Erreichung des anschließenden Meilenstein gearbeitet werden kann. In dieser Methodik werden drei Meilensteine definiert. Meilenstein (a) überprüft, ob die Use Cases für das Projekt identifiziert und beschrieben wurden. Da der Fokus dieser Arbeit auf einem starken Use Case gesteuerten Anwendungsfall liegt, soll ein erster Meilenstein die Bearbeitung dieses Themenkomplexes abprüfen. Der nächste Meilenstein (b) überprüft, ob die Struktur der Schale definiert ist. Nur mit der entsprechenden Struktur der Schalen können die Daten modelliert werden. Im letzten Meilenstein (c) wird überprüft, ob die neue Schalenstruktur erfolgreich in die IT Landschaft integriert wurde und das Projekt damit abgeschlossen ist.

---

<sup>16</sup> Weitere Informationen zu einer ganzheitlichen Transformationsstrategie – siehe Listl (2024)

## 7 Methodenvalidierung anhand eines prototypischen Beispiels

Im Folgenden soll die aufgestellte Methodik anhand eines praktischen Beispiels in der automobilen Montage angewendet werden. Die durchgeführte Validierung soll Aufschluss über die Anwendbarkeit der Methodik geben und weitere mögliche Forschungsfelder aufzeigen.

Einzuzuordnen ist die durchgeführte Validierung im Themenbereich einer Produktionsanlage in der Montage eines OEM. Der Betrachtungsrahmen umfasst die Engineeringphase und Nutzungsphase inklusive der Absprachen und ausgetauschten Daten mit dem Lieferanten in der Entwicklungsphase und der Übergabephase. Wie in Kapitel 7.4 weiter ausgeführt, liegt noch keine IT-Infrastruktur für Verwaltungsschalen im Unternehmen vor. Eine zentrale Technologieentwicklungsabteilung befasst sich aktuell mit der Entwicklung einer solchen Struktur. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf den Teilschritten eins und zwei der Methodik und im dritten Methodikschritt auf den ersten beiden Bausteinen (siehe Abbildung 40). Die Integration der erstellten Schalen muss im Anschluss unabhängig von dieser Arbeit erfolgen. Für die Validierung wurde eine repräsentative Anlage ausgewählt. Es handelt sich um eine Automatanlage mit hoher Komplexität, welche verschiedene funktionelle Bestandteile aufweist. Darüber hinaus ist der Mensch in Form von Instandhaltung, Wartung, Maschinenbedienung und Logistik ebenfalls am Prozess beteiligt.

### 7.1 Automatisches Setzen der Clipse im Dachrahmen

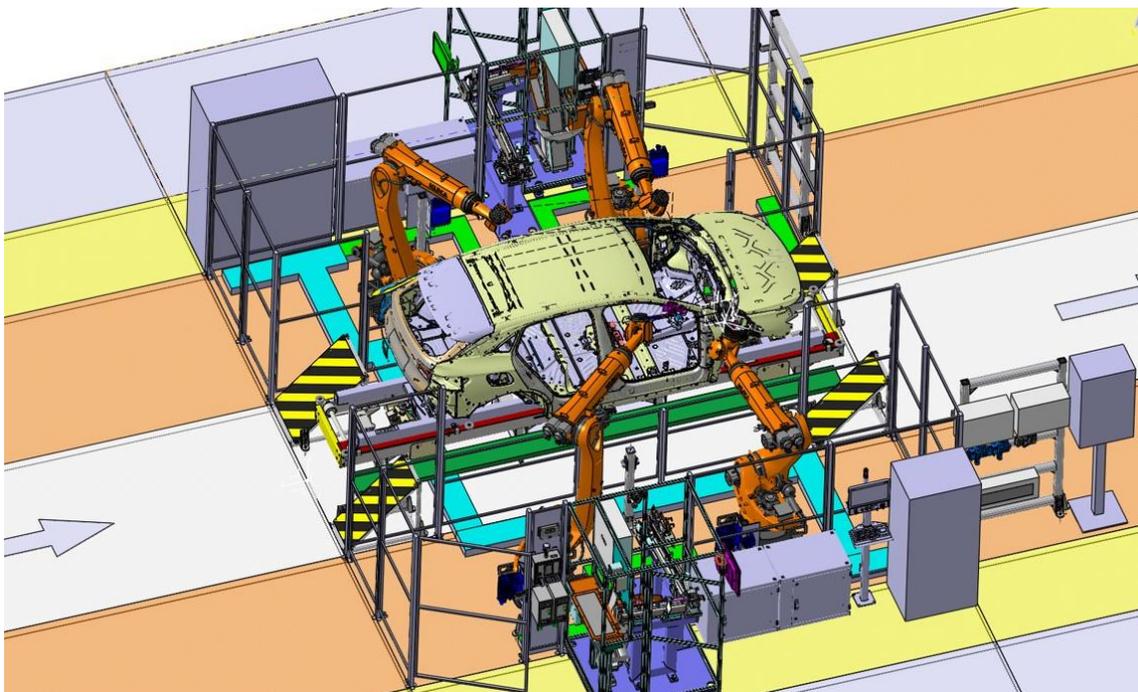


Abbildung 59: Übersicht der Anlage für ein automatisches Setzen von Clipsen im Dachrahmen

Die Automatanlage zum Setzen von Clipsen für die spätere Dachrahmenleiste ist Bestandteil eines automatischen Technikstrangs zu Beginn der automobilen Montage. Vorgelagert findet das Primern, die vorbereitende Tätigkeit für das Verkleben der Scheiben, statt. Nachgelagert folgt Takt eins der manuellen Tätigkeiten. Die Grundfunktion der Anlage besteht darin, 13 Clipse pro Fahrzeugseite in Karosserieausschnitte im seitlichen Bereich des Daches einzubringen. Auf diese Clipse wird in einem späteren Takt die Dachleiste manuell aufgesteckt.



Abbildung 60: Rechte Seite Roboter der Anlage

In Abbildung 59 ist die Konstruktionszeichnung der Anlage im Überblick zu sehen. Die Anlage setzt sich zusammen aus vier Robotern (siehe Abbildung 60), zwei Vereinzelungs- und Bestückungsanlagen, Steuerungen und der Ressource Mensch. Bei den vier Robotern handelt es sich um Industrieroboter (zwei pro Seite), die jeweils mit einem Setzkopf (siehe Abbildung 61) bestückt sind. Dieser Setzkopf setzt sich aus einem Kamerasystem Abbildung 62) und einem Clipse-setzkopf der zusammen.

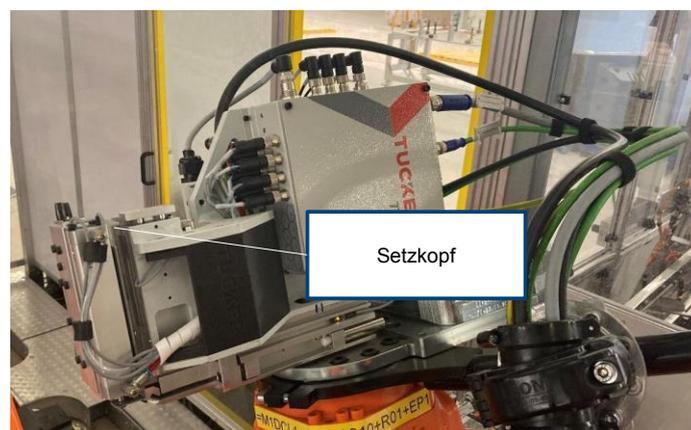


Abbildung 61: Setzwerkzeug am Roboter

Der Clipse-setzkopf hat die Aufgabe, Clipse aus der Vereinzelungsanlage aufzunehmen und in die Fahrzeugkarosse einzubringen. Dazu werden die Clipse mit einem Vorschub

in die vorgefertigten Löcher gestoßen.



Abbildung 62: Kamerasystem am Roboter

Das Kamerasystem dient der exakten Lageerkennung der Karosserie sowie der jeweiligen Einzelerkennung der folgenden zu bestückenden Löcher der Karosserie.

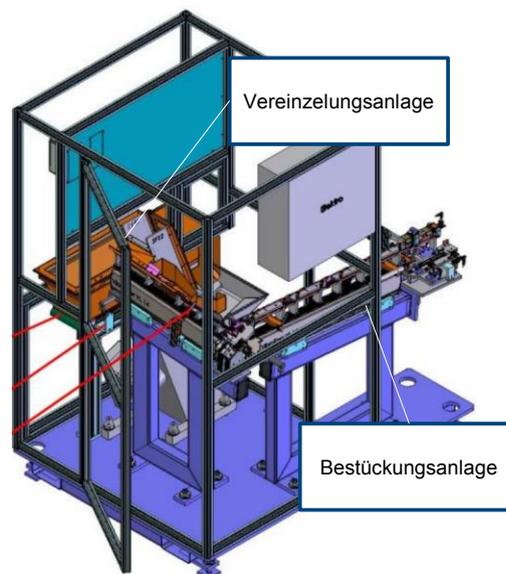


Abbildung 63: Übersicht Vereinzelungs- und Bestückungsanlage

Die in Abbildung 63 zu sehende Anlage besteht aus Vereinzelungs- und Bestückungsanlage. Die Vereinzelungsanlage wird manuell mit Schüttgut gefüllt. Anschließend vereinzelt und sortiert die Anlage die Clipse und führt sie der Bestückungsanlage zu. In der Bestückungsanlage werden die Clipse so angeordnet, dass der Clipse-setzkopf befüllt werden kann.



Abbildung 64: Steuerung der Vereinzelungsanlage

Für die gesamte Anlage gibt es eine SPS (siehe Abbildung 64). Zusätzlich gibt es für jede Kamera, für jeden Clipse-setzkopf und für jede Vereinzelungs- und Bestückungsanlage jeweils eine Steuerung der Hersteller. Alle zu visualisierenden Daten werden auf einem Anlagen-PC direkt an der Maschine zusammengefasst.

Der letzte Bestandteil mit Relevanz für die Umsetzung einer Verwaltungsschale ist der Mensch. Im Prozess dieser Anlage übernimmt der Mensch logistische Themen, indem er die Vereinzelungsanlage mit Schüttgut befüllt. Des Weiteren behebt der Mensch Störungen, wartet die Anlage und setzt Instandhaltungsmaßnahmen um.

Der Prozessablauf beginnt mit der Bereitstellung von Clipsen als Schüttgut an der Anlage durch die Inhouse-Logistik. Der Maschinenbediener befüllt die Anlage mit den bereitgestellten Clipsen. In der Vereinzelungsanlage werden die Clipse positioniert und für die Bestückung vorbereitet. Die Bestückungsanlage füllt das Clipsemagazin im Clipse-setzkopf des Roboters auf. Bei Einfahrt eines neuen Fahrzeugs wird der Fahrzeugcode an der Seite der Karosserie mithilfe eines Festpunktscanners gescannt und an die Steuerung übermittelt. Auf Basis des Fahrzeugcodes wird das Fahrzeugmodell ermittelt und die Steuerung startet das hinterlegte Roboterprogramm, basierend auf dem Fahrzeugmodell. Die Roboter fahren vier Punkte der Karosserie zur exakten Lageermittlung mittels Kamera am Roboterkopf ab. Anschließend wird der erste Clip von jedem Roboter gesetzt. Anschließend erfolgt eine Lageprüfung des zweiten Lochs, bevor der nächste Clip gesetzt wird. Dies erfolgt so lange bis jeder Roboter jeden seine Setzpunkte abgefahren hat (pro Seite fährt jeweils ein Roboter sechs und ein Roboter sieben Punkte ab). Auf Basis des verfahrenen Weges bei Einschub des Clips in die Karosserie wird eine Überprüfung gemacht, ob der Clip ordnungsgemäß gesetzt wurde. Die Informationen i.O. oder n.i.O. werden anschließend in die Leitsysteme der Produktion übergeben. Jedes Fahrzeug erhält diese Informationen ebenfalls, indem die Prozessdaten im Produktionsleitsystem für jedes Fahrzeug hinterlegt werden.

## 7.2 Identifikation Use Cases und Daten

Im Folgenden soll die erste Stufe der Methodik auf die ausgewählte Anlage angewandt werden. Zu Beginn ist der Anwendungsbereich zu identifizieren. Es handelt sich hierbei um ein anlagenzentriertes Projekt, da der Pilot bewusst auf die Automatikzelle der Clipse Dachrahmenleiste fokussiert ist. Das bedeutet, die Anlage steht im Mittelpunkt und Use Cases werden die Anlage betreffend aufgestellt. In der anschließenden Bestandsaufnahme hat sich gezeigt, dass aktuell keine Verwaltungsschalen und damit keine Submodelle im Einsatz sind. Wir können hier von einer Greenfield-Planung im Bereich Verwaltungsschale sprechen.

### Identifikation Use Cases

Anschließend wurden die Use Cases identifiziert und detailliert. Dafür wurde mit Anlagenplanern sowie der betroffenen Instandhaltung gesprochen und mittels Interviewleitfaden (Anhang M) bestehende Use Cases, die aktuell auf andere Art und Weise umgesetzt werden, festgehalten. Die **Identifikation der Anlage** ist der erste Use Case. Je nach System und je nach Anwendung existieren mehrere IDs, die die Anlage eindeutig beschreiben. Zusätzlich muss für den Prozessablauf eine **Identifikation des Produktes** stattfinden. Auf Basis der Identifikation kann das entsprechende Roboterprogramm gestartet werden. Die Identifikationen müssen der Verwaltungsschalen-Logik entsprechen. Dabei muss geprüft werden, wie aktuell bestehende IDs mit der Verwaltungsschalen-Struktur zusammengeführt werden können. Des Weiteren muss geprüft werden, ob weitere Identifikationen von Mensch und Prozess eingeführt werden müssen (siehe Kapitel 6.2.2). Ein weiterer aktueller Use Case ist der Umgang mit der **Anlagendokumentation**. Aktuell wird diese an mehreren Speicherorten dezentral verwaltet. Verschiedene Versionen, die von unterschiedlichen Bereichen aktualisiert wurden, stimmen nicht miteinander überein. Zielbild sollte hier der Aufbau eines single-point of truth sein, in welchem Änderungen zusammenlaufen und jeder Zugriff auf denselben Stand erfolgt. Die **Wartung und Instandhaltung** ist ein weiterer aktueller Use Case. Die Abteilung der Instandhaltung muss die für sie relevanten Informationen über die Anlage erhalten und bei Anpassungen müssen diese Daten ebenfalls für sie zugänglich abgelegt werden. Darüber hinaus müssen die Änderungen für die planenden Abteilungen zugänglich sein. Nur so kann gewährleistet werden, dass bei einer Neuplanung weiterer Anlagen das Gelernte direkt implementiert wird. **Planungs- und Engineeringdaten** sind ein weiterer aktueller Use Case. Bei der Planung der Anlage wird viel über die direkte Kommunikation zwischen Zentralplanung, Werksplanung und Lieferant abgewickelt. Wichtige Erkenntnisse können so verloren gehen. **Prozessdaten** enthalten die Informationen, ob der Prozess erfolgreich oder nicht erfolgreich durchgeführt wurde (beispielhafte Datenauswertung in Abbildung 65). Diese Daten müssen erfasst, abgelegt und zugänglich gemacht werden, um in Folgesystemen genutzt werden zu können.

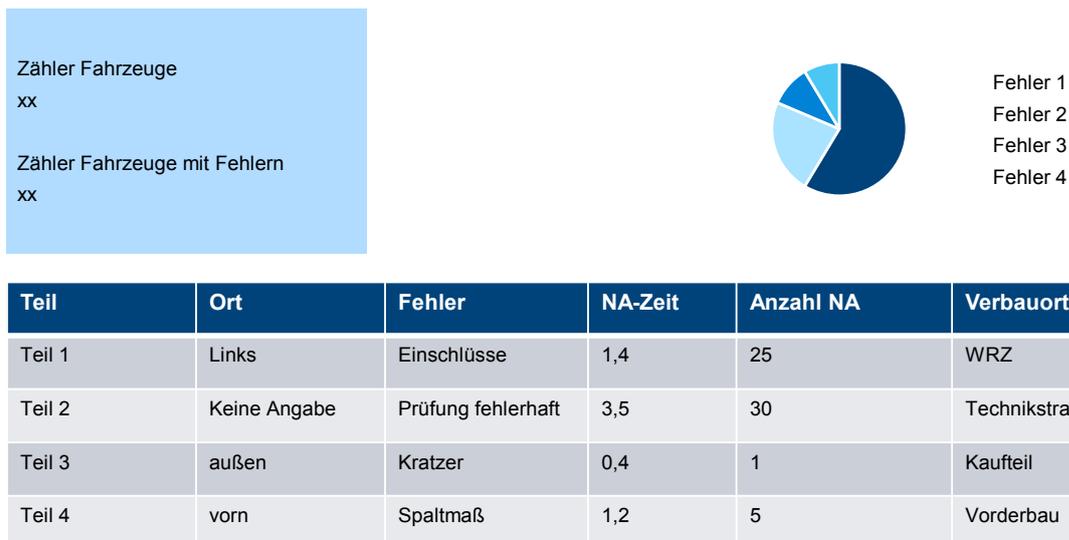


Abbildung 65: Beispiel für aktuelle Prozessdatenauswertung

Die **Energiedaten** werden aktuell erfasst, aber nicht für eine Weiterverarbeitung in Folgesystemen vorbereitet. Für eine mögliche Auswertung und Reduktion der Energieverbräuche werden jedoch Werte benötigt, die als Basis genutzt werden können. Abschließend werden aktuell bereits **Qualifikationen und Berechtigungen** der Anlagenbediener und Instandhalter durch interne Systeme und Schlüsselberechtigungen umgesetzt. Diese Berechtigungen und Qualifikationen der Mitarbeiter sollten in die Verwaltungsschalenlogik überführt werden.

Darüber hinaus wurde ein neuer Use Case festgehalten. Um in Zukunft auf kommende gesetzliche Reglementierungen vorbereitet zu sein, soll der **CO<sub>2</sub>-Fußabdruck**, den ein Fahrzeug während seiner Produktion erzeugt, ebenfalls als Use Case betrachtet werden. Laufzeitdaten beziehungsweise Condition Monitoring Daten werden bewusst nicht als Use Case betrachtet, da die Anlage eine so hohe Verfügbarkeit aufweist, dass Predictive Maintenance Ansätze durch die Experten nicht als sinnvoll erachtet werden.

In der anschließenden Wertbetrachtung sollten Aufwand und Nutzen abgewogen werden. Bei der Implementierung der Verwaltungsschale liegt ein Teil des Aufwandes in der Bereitstellung der IT-Infrastruktur. Darauf wird in dieser Arbeit nicht vertiefend eingegangen. Der Aufwand der Auslegung und Strukturierung der Schalen ist begrenzt auf die Planungsaufwendungen des Projektteams und der beteiligten Experten. Die Einsparungen, basierend auf den aufgestellten Use Cases, sind in erster Linie vermiedene Mehraufwände. Der Suchaufwand von Daten wird stark reduziert, indem die maschinenlesbare Semantik den Zugriff auf die Daten erleichtert. Darüber hinaus wird das Datenhandling reduziert, indem keine Daten und Informationen mehr händisch von System zu System und von Abteilung zu Abteilung übertragen werden. Der Zugriff erfolgt jeweils auf die gleiche Quelle. Darüber hinaus bietet der Umgang mit Planungs- und Engineeringdaten die Chance, Daten aus vergangenen Planungsphasen wiederzuverwenden und Gelerntes direkt einzuarbeiten. Verschwendung wird vorgebeugt, indem Daten, wie die Energiedaten, zugänglich gemacht und anschließend

genutzt werden.

Die anschließende Umsetzungsplanung lässt sich aufgrund des Betrachtungsrahmens kurz zusammenfassen. Da es sich um ein anlagenzentriertes Problem handelt, ist die betreffende Anlage als Pilotanlage geeignet. Im folgenden Projektverlauf werden die weiteren Schritte der Methodik auf Basis der identifizierten Use Cases und anhand der Pilotanlage durchlaufen.

### Identifikation Daten

Anschließend sollen alle verfügbaren Daten identifiziert und im Anschluss für die Verwendung in der Verwaltungsschale gefiltert werden. Im Folgenden sind die identifizierten Daten tabellarisch aufgelistet und mit ihrem jeweiligen Ablageort und ihrer jeweiligen Zugriffsart versehen:

*Tabelle 6: Identifizierte Daten der Pilotanlage*

Datentyp	Ablageort	Zugriffsart
Anlagenidentifikation	Physisches Namensschild	
	SystemIDs (VASS, Profinet, BEMl Nummer KVS, ZBM-Nummer)	Über IT-Systeme
Identifikation Produkt	QR Code Fahrzeug	Scanner
Anlagendokumentation	Datenbank	Planungssystem (Connect)
	Papier, CD, Stick	Kein Zugriff, Archivierung
	Laufwerk	Instandhaltungssysteme
	Festplatte Laptops	Planer greifen über PC zu
Energiedaten	Datenbank	Energieerfassungssystem
Prozessdaten	Datenbank	Produktionsleitsystem
Wartungs- und Instandhaltungsdaten	Festplatten und Datenbanken	Systeme der Instandhaltung
Roboterprogramm	Festplatte Anlagen PC	Roboterprogramm

Unter Berücksichtigung der identifizierten Use Cases wurden die entsprechenden Daten zusammengetragen. Die Identifikation der Anlage kann einerseits physisch über das Typenschild an der Anlage als auch über Systeme erfolgen. In den Systemen ist die Anlage unter verschiedenen IDs je nach System zu finden, VASS-Nummer, BEMl-Nummer und ZBM-Nummer. Die Identifikation des Produktes erfolgt über eine 15-stellige Fahrzeugkennnummer, die sich zusammensetzt aus Werk, Datum, Fahrzeugnummer etc. Diese wird mittels QR-Code vom Fahrzeug abgescannt.

Die Anlagendokumentation wurde bei Übergabe physisch ausgedruckt und über USB-Stick sowie CD mitgeliefert. Darüber hinaus wurde die Dokumentation digital zur Verfügung gestellt und auf Festplatten der Planer und Instandhalter gespeichert. Außerdem wurde eine Variante im PLM-System abgelegt. Die Ablage im PLM-System

wird analog einer klassischen Ordnerstruktur organisiert (siehe Abbildung 66).



Abbildung 66: Schematische Darstellung der Ablage der Anlagendokumentation im PLM-System

Energiedaten der Anlagen werden über die SPS erfasst und an ein Energieerfassungssystem gesendet. Hier werden die Daten in einer Datenbank gesammelt und können bei Bedarf über die Oberfläche des Energieerfassungssystems abgerufen werden.

Die Prozessdaten zu erfolgreichen oder fehlgeschlagenen Clipsverbindungen werden in den Leitsystemen abgelegt (siehe Abbildung 67).

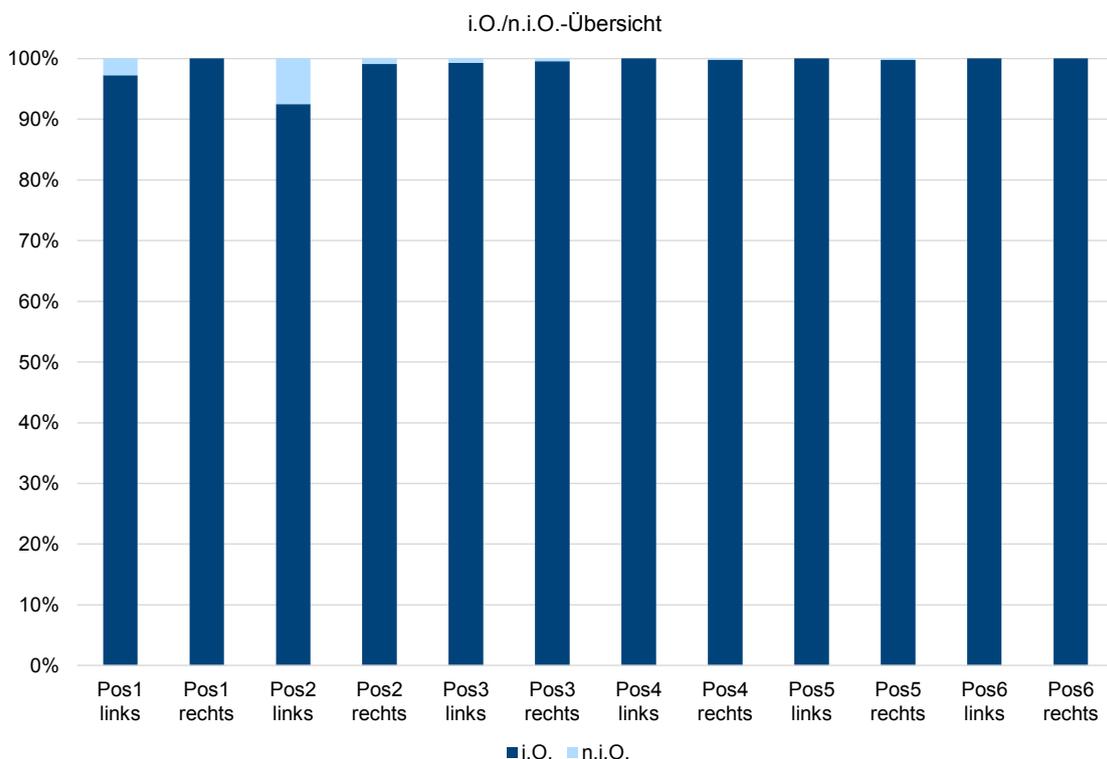


Abbildung 67: Auszug Prozessdaten des Prozesses Clipse Dachrahmen

Daten zur Wartung und Instandhaltung werden in lokalen IT-Systemen der Instandhaltung gehalten. Die Anlagendokumentation inklusive der Wartungspläne, Stücklisten und Ersatzteillisten werden in die eigenen Systeme importiert, um dort die

weitere Steuerung durchzuführen. Ein System der Produktion enthält ein elektronisches Schichtbuch zur Anlagenvisualisierung und Störungsaufzeichnung. In einem Qualitäts-System werden Wartungspunkte eingepflegt und anhand des Systems die laufende Wartung begleitet. Darüber hinaus werden Programme zur Robotersteuerung abgelegt, diese werden in einem gesonderten System abgelegt und der Zugriff erfolgt je nach gescannter Fahrzeugkennung ab. Wie in Abbildung 68 zu sehen werden in der Instandhaltung verschiedene Systeme verwendet, die untereinander Schnittmengen besitzen.

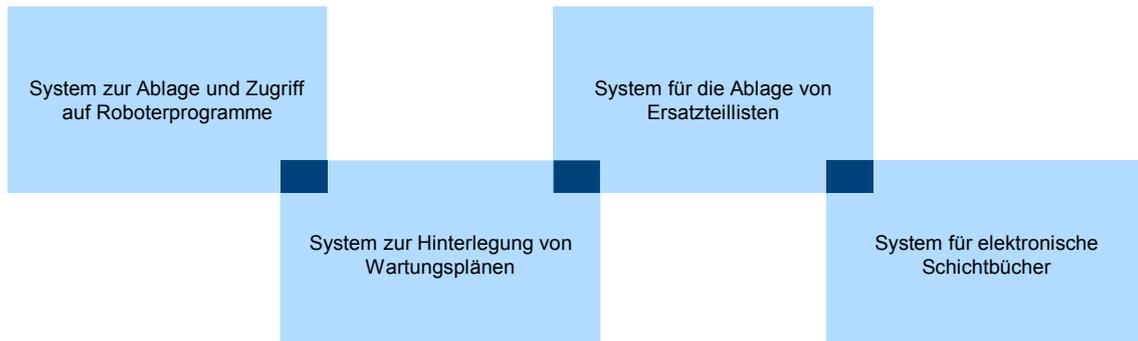


Abbildung 68: Auszug der Systeme der Instandhaltung

### 7.3 Struktur der Verwaltungsschale

Im folgenden Abschnitt wird die Struktur der Verwaltungsschalen erstellt, die für die Abbildung des Assets, der identifizierten Use Cases und identifizierten Daten benötigt wird. Dafür werden die zwei Bereiche Granularität und PPR betrachtet. Zu Beginn wird ein PPR-Modell als Übersicht für die Struktur der Verwaltungsschale aufgestellt (siehe Abbildung 69). Anschließend werden mithilfe der Methodik relevante Strukturentscheidungen getroffen, die anschließend in der Modellierungsphase umgesetzt werden.

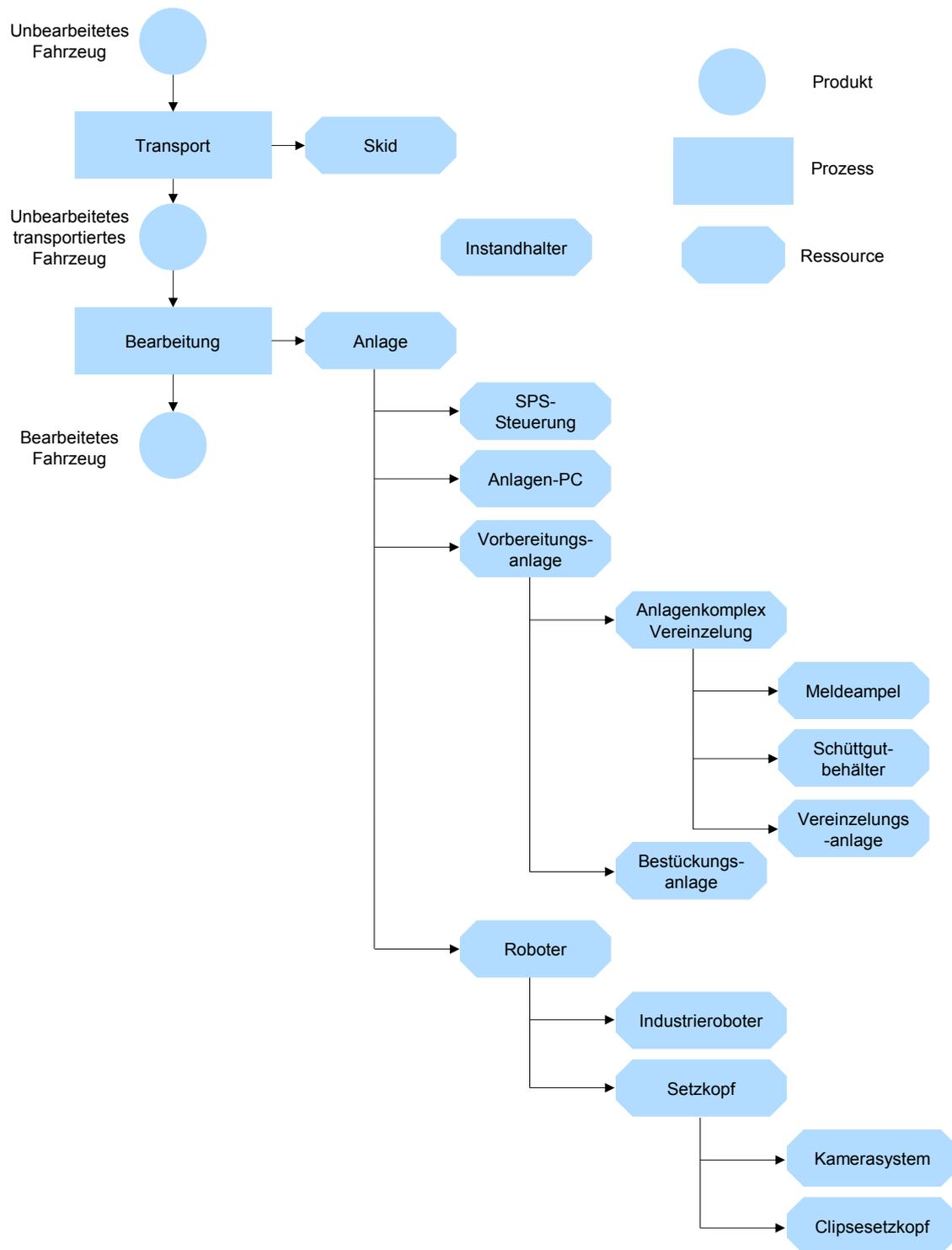


Abbildung 69: PPR der Anlage Clipse Dachrahmen

### Granularität

Für eine Bewertung der benötigten Granularität werden die Datenebenen nach Kapitel 6.2.1 betrachtet. Anhand der Beispieldaten lässt sich ableiten, ob die Use Cases die entsprechende Datenebene benötigen. Auf der ersten Ebene der Konstruktionselemente stehen Einzelteile wie eine Schraube, ein Niet, oder ein Blech. Für diese Ebene sind keine gesonderten Use Cases gefordert. Auf der folgenden Ebene liegen die

Komponenten. Einzelne Schalterstellungen sowie das Tracking sämtlicher Laufzeitdaten (Condition Monitoring) liegen auf dieser Datenebene. Auf Basis der Absprache mit den Anlagenexperten muss kein Condition Monitoring für diese Anlage erfolgen. Aus dem Grund kann diese Datenebene ebenfalls vernachlässigt werden. Die Funktionsgruppe, Ebene drei, beinhaltet Informationen zu Prozessparametern oder auch der Produkt ID. Damit liegt eine Schnittmenge zu den geforderten Use Cases vor. Sowohl die Produktidentifikation ist gefordert als auch das Nachverfolgen der Prozessparameter. Auf der Ebene der Arbeitsstation liegen Qualitätsdaten des Prozesses. Damit ist Ebene vier ebenfalls relevant für die weitere Betrachtung. Energiedaten sind beispielsweise Bestandteil der fünften Ebene. Auch diese Daten sind für die ausgewählten Use Cases relevant. Da diese Validierung eine anlagenzentrierte Problemstellung bearbeitet, die auf eine Anlage fokussiert ist, sind die Ebenen sechs bis neun in der Betrachtung ausgenommen. Zusammengefasst werden für die Granularität, wie in Abbildung 70 zu sehen, die Ebenen drei bis fünf benötigt. Das bedeutet, es müssen keine Verwaltungsschalen für einzelne Komponenten angelegt werden. Die benötigte funktionale Ebene lässt sich mit Schalen für die Gesamtanlage abbilden.

Ebene	Beispieldaten
9. Fertigungsnetzwerk	Fabrikkosten, Fahrzeugvolumen, Kosten und Preise, Teilenummern
8. Fabrik	Produktmix, Fabrik KPIs, Fahrzeugprogramme
7. Fertigungslinie	Personalplanung, Schichtplanung, Tagesplanung, Ziel- und Outputdaten
6. Fertigungsabschnitt	Materialhandling (Ein-/Ausgang), Produktvariantenmanagement
5. Arbeitseinheit	Energiedaten, Werkzeugdaten, Fehlermeldungen, Prozesszeiten
4. Arbeitsstation	Qualitätsdaten
3. Funktionsgruppe	Prozessparameter, Produkt ID, Roboter Controller, Sensor und Aktuator Daten
2. Komponente	Schalterstellungen (ein/aus), Condition Monitoring
1. Konstruktionselement	Schraube

Abbildung 70: Datenebenen für den zu validierenden Anwendungsfall

## PPR

In diesem Abschnitt werden die identifizierten Use Cases auf die vier Schalenarten aus Kapitel 6.2.2 aufgeteilt, sodass anschließend entsprechende Submodelle für die einzelnen Use Cases definiert werden können (siehe Abbildung 71). Der Use Case der Identifikation wird für alle Schalentypen benötigt, sowohl die Anlage, der Mensch, das Produkt als auch der Prozess müssen eindeutig zu identifizieren sein. Die

Anlagendokumentation, die mit Übergabe der Anlage mitgeliefert wird, wird in der Anlagen-Schale abgelegt. Dazu werden Daten der Wartung und Instandhaltung, Energiedaten, Engineering Daten sowie Planungsdaten in der Anlagen-Verwaltungsschale strukturiert. In der Verwaltungsschale des Menschen werden die Use Cases Berechtigungen und Schulungen verortet. Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wird produktbezogen festgehalten, dementsprechend liegt dieser Use Case in der Produkt-Verwaltungsschale. In der Prozess-Verwaltungsschale wird ebenfalls der Use Case der Identifikation berücksichtigt. Darüber hinaus wird der Use Case der Prozessinformationen, insbesondere von Qualitätsparametern, betrachtet.

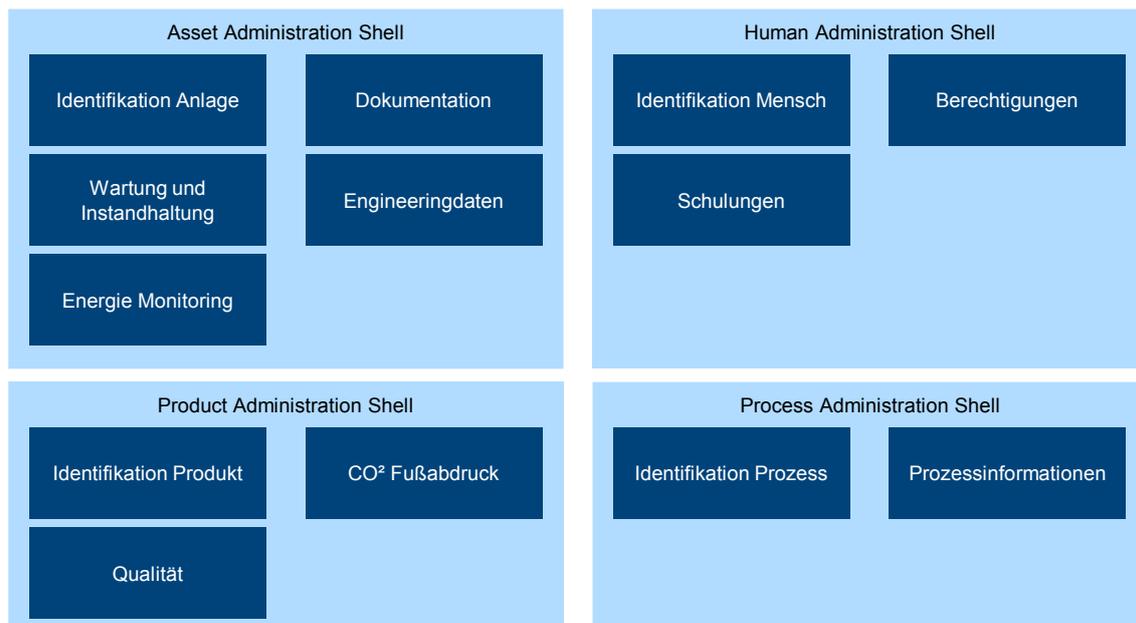


Abbildung 71: Übersicht Use Cases auf PPR-Schalen aufgeteilt

## 7.4 Modellieren der Daten im Metamodell

Die in Kapitel 7.3 erarbeitete Struktur wird in einem ersten Schritt auf Metamodelle angewendet, welche an den UML-Standard angelehnt sind. Dafür werden, soweit möglich, die Standards nach IDTA-Vorgaben verwendet. Bestehende Submodelle können zentral bezogen werden und in die Verwaltungsschalen-Strukturen eingefügt werden. Da noch nicht alle Submodelle veröffentlicht sind, wird jeweils auf repräsentative Ausschnitte begrenzt. Dafür werden Überblicke der enthaltenen Submodelle pro Schale dargestellt und soweit möglich die Submodelle inhaltlich gefüllt. Fokus liegt in dieser Arbeit in der übergeordneten Struktur und der Validierung, damit die identifizierten Use Cases mit den Strukturen abgebildet werden können.

## Asset Administration Shell

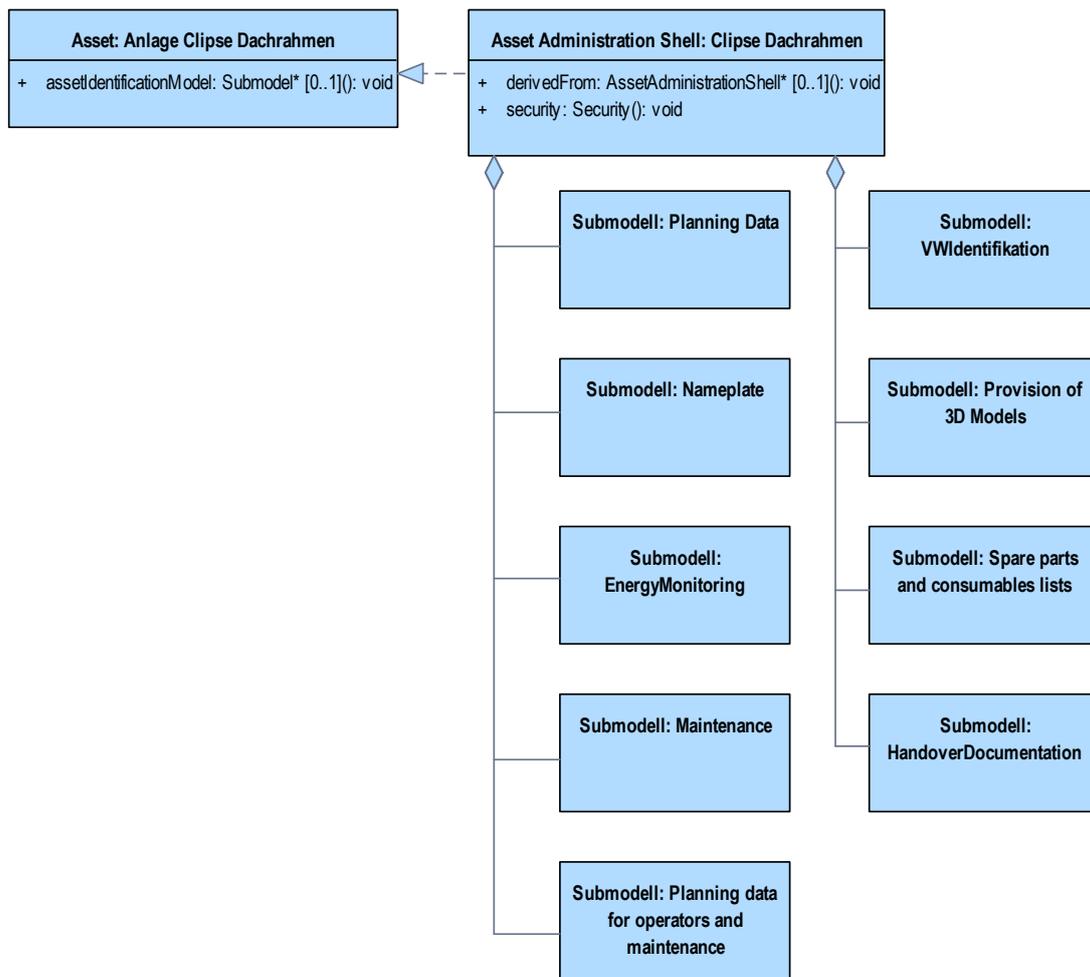


Abbildung 72: Übersicht Metamodell Asset Administration Shell (detailliert inklusive Attribute in Anhang B)

Das in Abbildung 72 schematisch dargestellte Metamodell bildet die Asset Administration Shell ab, also die Verwaltungsschale für die Anlage.

Die erste Use Case Anforderung der Anlage ist die Identifikation. Für die Umsetzung dieser Anforderung werden zwei Submodelle verwendet. Das erste Submodell ist das nach IDTA veröffentlichte Submodell *Nameplate* (IDTA 02006). Unter diesem Submodell werden Informationen wie Hersteller, Seriennummer, Softwareversion, etc. abgelegt, die klassischerweise auf einem Typenschild stehen. Zusätzlich erhält die AAS ein Submodell *VWidentifikation*. Hierbei handelt es sich um kein veröffentlichtes Modell der IDTA. Innerhalb des Konzernes werden für eine Anlage verschiedene Identifikationsnummern verwendet, um das Asset in verschiedenen Systemen eindeutig zu identifizieren. Da in einem ersten Schritt nicht alle IDs vereinheitlicht werden können, wird hier ein Submodell ergänzt, das es ermöglicht, sämtliche IDs des Konzerns in einem Submodell zu sammeln und die Verlinkung aus verschiedenen Systemen und Organisationen zu dem Asset über dieses Submodell zu ermöglichen.

Der zweite Use Case stellt eine Anforderung an die Anlagendokumentation. Dafür wurde

das veröffentlichte Submodell *HandoverDocumentation* (IDTA 02004) verwendet. In diesem Submodell wird eine große Anzahl an Dokumenten eindeutig beschrieben. Pro Dokumententyp werden Klassifikation, ID, Version und die Datei abgelegt. Die Dokumententypen sind beispielsweise eine Anlagenbeschreibung, eine Bedienungsanleitung oder eine Ersatzteilliste.

Wartungs- und Instandhaltungsdaten bilden den nächsten Use Case ab. Hierbei geht es um die Verwaltung von Wartungslisten und Stücklisten ebenso wie den Zugriff auf die Steuerungsinformationen der Anlage. Dieser Use Case wird durch mehrere noch nicht veröffentlichte Submodelle abgedeckt, *Maintenance* (IDTA 02018) und *Spare parts and consumables lists* (IDTA 02040).

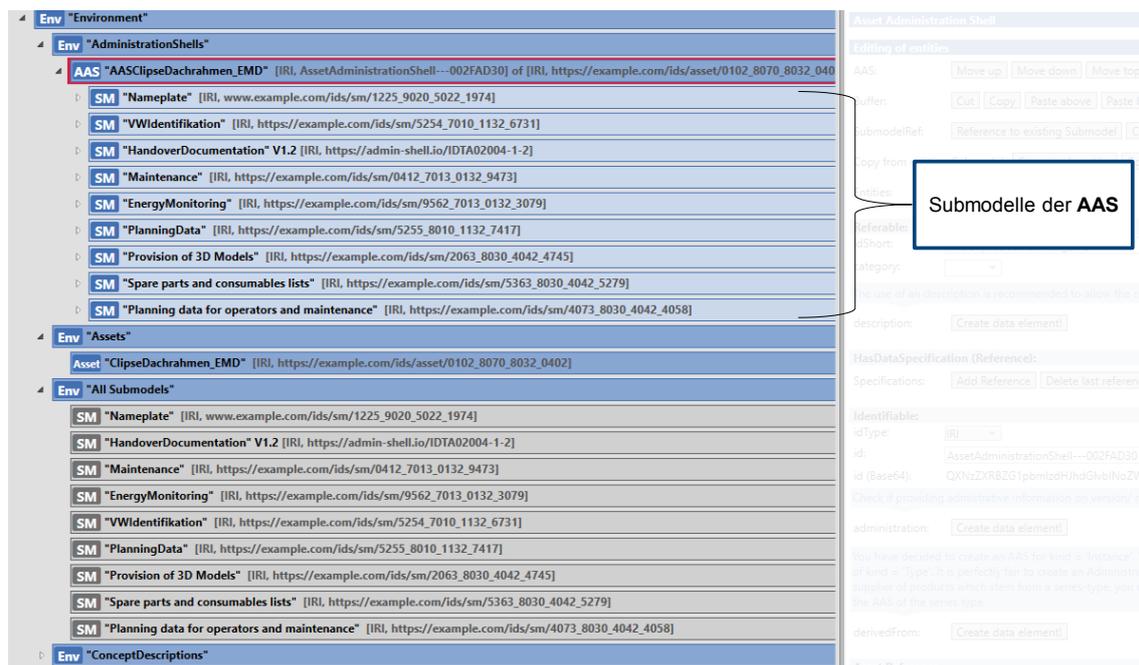


Abbildung 73: Asset Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang F)

Der Bereich des Energiedaten-Managements wird aktuell von noch keinem Submodell abgebildet und muss noch entwickelt werden. Ziel ist die Bereitstellung von aktuellen Energieverbräuchen. Messbare Werte im Energie-Management sind unter anderem elektrische Antriebe, Raumwärme, Beleuchtung und Druckluft (Teiwes, 2021). Für eine ECLASS Semantik lässt sich das Bibliotheksobjekt 0173-1#01-AGH840#004 - 27-14-32-36 betrachten.

Abschließend ist der Use Case Engineering- und Planungsdaten für die AAS vorgesehen. Ein Submodell, das aktuell in Arbeit ist, *Planning data for operators and maintenance*, kann für die Verwendung der Daten im Betrieb verwendet werden. Darüber hinaus sollen Daten für die Planungsphase wiederverwendet werden. Dafür eignet sich das noch nicht veröffentlichte Submodell *Provision of 3D Models* (IDTA 02026) für den Umgang mit 3D Daten. Darüber hinaus wird ein Submodell benötigt, welches die Lasten- und Pflichtenhefte zugänglich ablegt. Dieses Submodell muss noch entwickelt werden.

Anschließend an die Gestaltung im Metamodell wurden die Submodelle im AASX Package Explorer modelliert (siehe Abbildung 73).

### Human Administration Shell

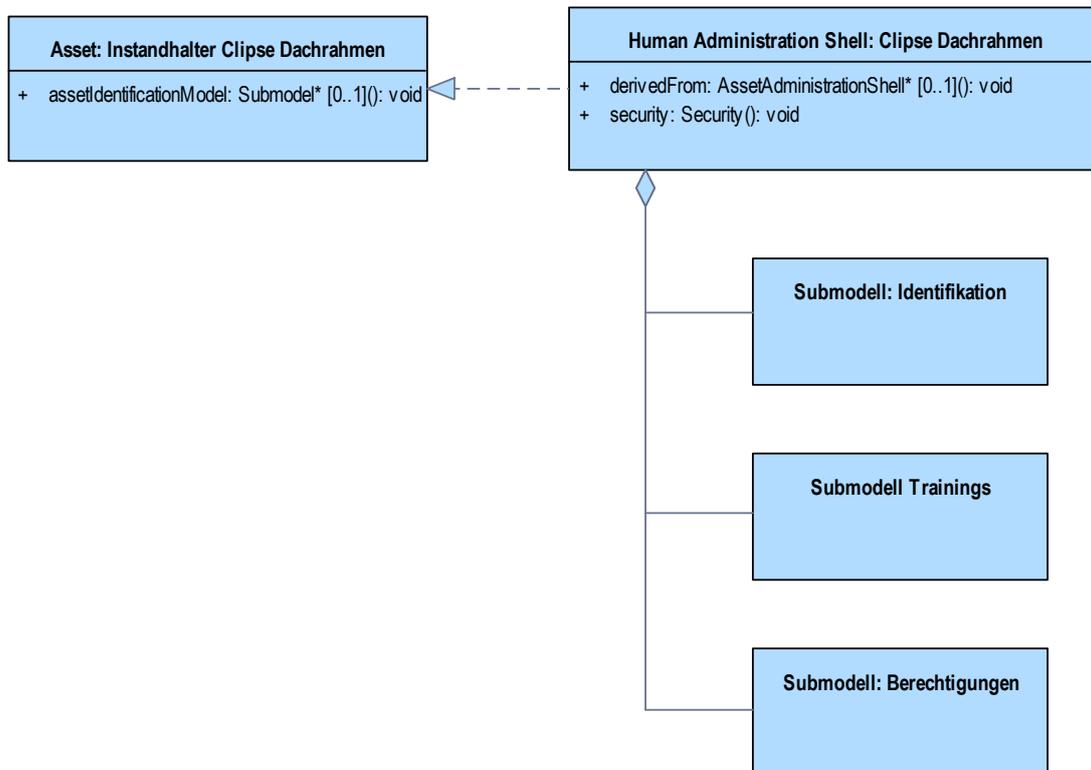


Abbildung 74: Übersicht Metamodell Human Administration Shell (detailliert inklusive Attribute in Anhang C)

Eine Übersicht der Verwaltungsschale des Menschen ist in Abbildung 74 zu sehen. Im Folgenden werden die einzelnen Use Cases der Human Administration Shell mit den entsprechenden Submodellen versehen.

Der erste zu bedienende Use Case ist die Identifikation. Dieser wird durch zwei Submodelle abgedeckt. Das veröffentlichte Submodell *ContactInformation* (IDTA 02002) beinhaltet personenbezogene Daten wie Telefonnummer, E-Mail und den Namen. Ein weiteres Submodell, welches noch erstellt werden muss, deckt die interne Identifikation im Konzern ab. Dieses Submodell beinhaltet eine UserID.

Der nächste Use Case beinhaltet Berechtigungen. Jeder Maschinenbediener oder Instandhalter benötigt verschiedene Schlüsselberechtigungen, die den Zugang zu Anlagen, Bestandteilen oder Steuerungsoptionen sicherstellt. Für dieses Submodell liegt kein veröffentlichtes Modell vor.

Abschließend sollen Schulungen und Trainings als Use Case abgebildet werden. Dieses Submodell wird ebenfalls nicht von bestehenden Modellen abgedeckt. Für eine Erstellung kann die ECLASS Referenz 0173-1#02-BAF831#002 hinzugezogen werden.

Anschließend an die Gestaltung im Metamodell wurden die Submodelle im AASX

Package Explorer modelliert:

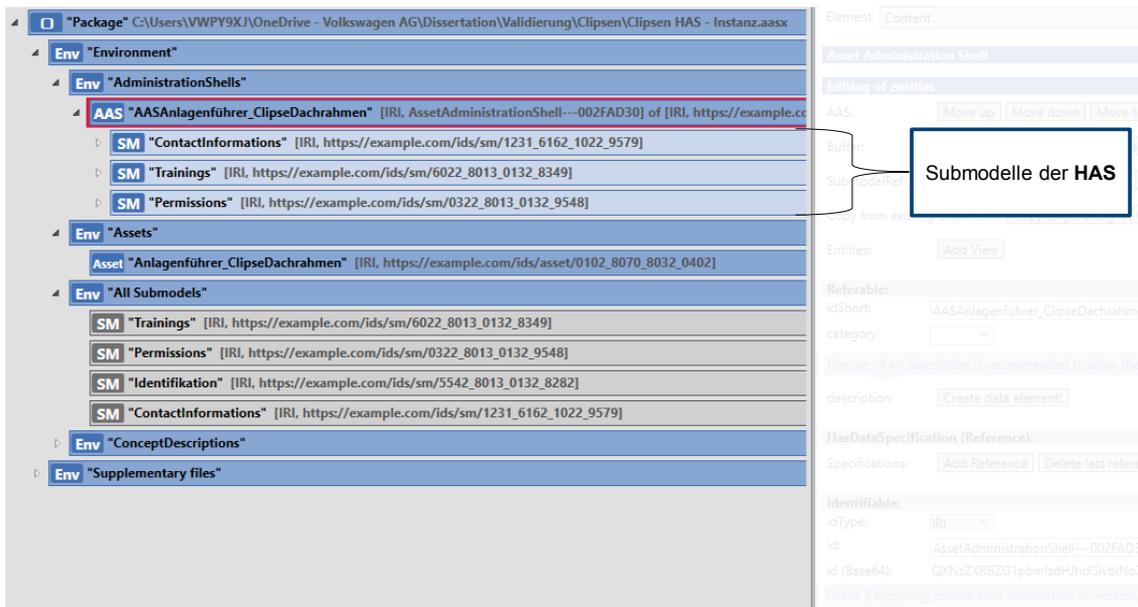


Abbildung 75: Human Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang G)

### Product Administration Shell

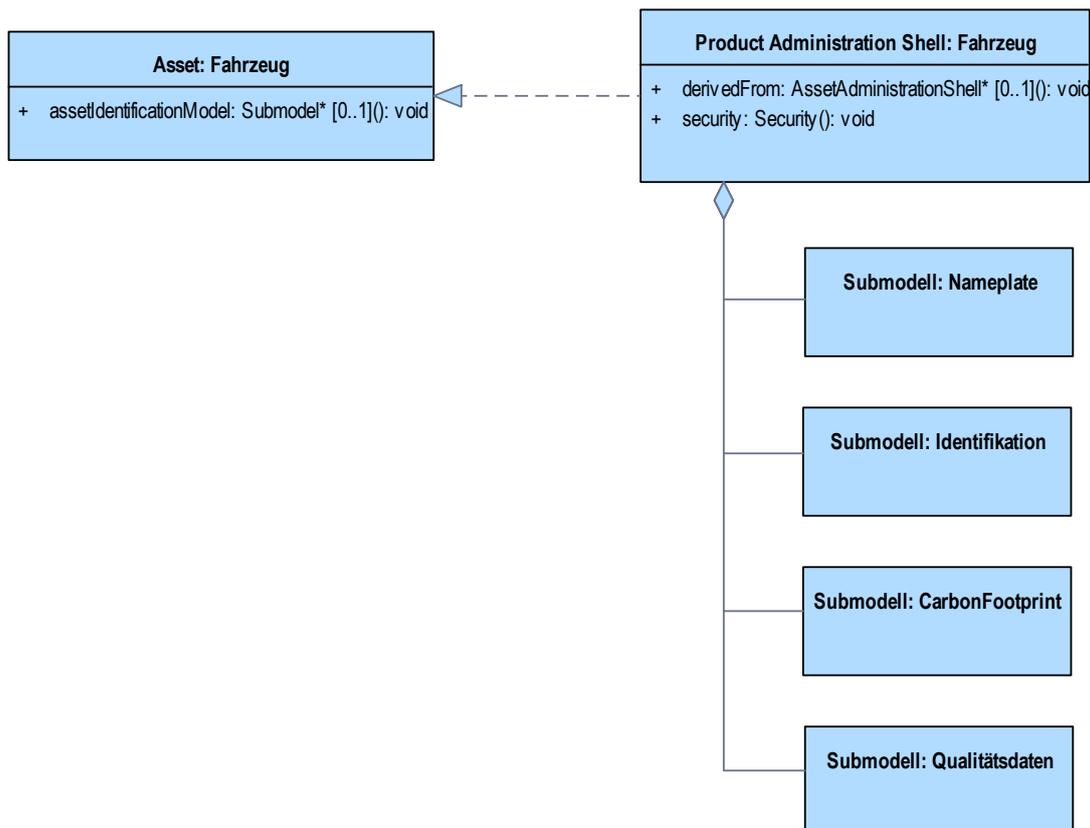


Abbildung 76: Übersicht Metamodell Product Administration Shell (inklusive Attribute in Anhang D)

Eine Übersicht der Verwaltungsschale des Produktes ist in Abbildung 76 zu sehen. Im Folgenden werden die einzelnen Use Cases der Product Administration Shell mit den entsprechenden Submodellen versehen.

Die erste Use Case Anforderung bezieht sich auf die Identifikation des Produktes. Für die Identifikation werden wieder zwei Submodelle verwendet. Das erste Submodell ist das nach IDTA standardisierte *Nameplate* (IDTA 02006). Dieses Submodell ist insbesondere für die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus hinweg relevant. Zusätzlich wird ein Submodell zu konzerninternen Bezeichnungen im Produktionsprozess ergänzt. Dieses beinhaltet eine Fahrzeugkennnummer und das Fahrzeugmodell.

Der Use Case zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wird über ein Carbon Footprint Submodell realisiert, welches aktuell noch in Arbeit ist und unter dem Namen *Carbon Footprint* (IDTA 02023) veröffentlicht wird. Ziel ist die Aufführung, welche Menge an CO<sub>2</sub> im Produktionsprozess für die einzelnen Prozessschritte und in Summe für das Fahrzeug entstanden ist. Hinzuziehen lässt sich ECLASS Merkmal 0173-1#02-ABG855#001.

Abschließend soll die Verwaltungsschale des Produktes die Qualität der einzelnen Prozessstufen beinhalten. Für diesen Anwendungsfall liegt noch kein veröffentlichtes Submodell vor. Im Validierungsprojekt werden in dem Submodell die Anzahl an richtig gesetzten Clipsen dokumentiert und mögliche Fehlermeldungen dokumentiert, die im späteren Prozessfluss ausgebessert werden.

The screenshot displays a software interface for managing an Asset Administration Shell (PtAS). On the left, a tree view shows the hierarchy of submodels (SM) under an Administration Shell (AAS). The selected AAS is "AASFahrzeug\_PAKXCHVZTUALD". Its submodels include "Nameplate", "Identifikation", "CarbonFootprint", and "Qualitätsdaten". Below this, an "Assets" section shows the "Fahrzeug\_PAKXCHVZTUALD" asset, and an "All Submodels" section lists the same submodels with their IRI identifiers. On the right, a detailed view of the AAS instance is shown, including fields for "idShort" (AASFahrzeug\_PAKXCHVZTUALD), "category", "description", and "idType" (IRI). A callout box labeled "Submodelle der PtAS" points to the submodel list in the tree view.

Abbildung 77: Product Administration Shell Instanz für die Pilotanalage (aufgeklappt in Anhang H)

## Process Administration Shell

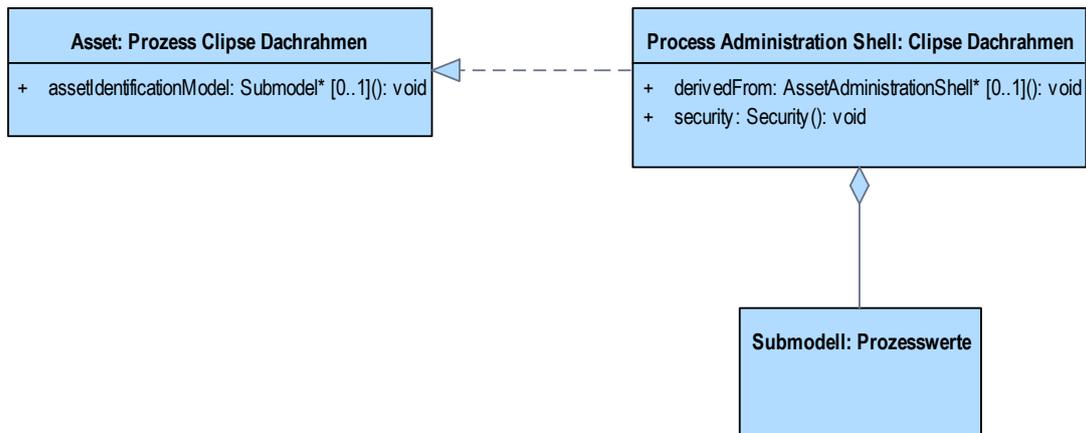


Abbildung 78: Übersicht Metamodell Process Administration Shell (detailliert inklusive Attribute in Anhang E)

Eine Übersicht der Verwaltungsschale des Prozesses ist in Abbildung 78 zu sehen. Im Folgenden werden die einzelnen Use Cases der Process Administration Shell mit den entsprechenden Submodellen versehen.

Im Bereich des Prozesses wurde für diesen Anwendungsfall einzig ein Submodell für Prozesswerte, wie beispielsweise Fehlerquoten, benötigt. Dieses Submodell liegt in der IDTA aktuell nicht vor und muss erstellt werden.

Anschließend an die Gestaltung im Metamodell wurden die Submodelle im AASX Package Explorer modelliert:



Abbildung 79: Process Administration Shell Instanz für die Pilotanlage (aufgeklappt in Anhang I)

Zusammengefasst wurden jeweils Submodelle für die verschiedenen Use Cases der Verwaltungsschalen im PPR-Modell identifiziert und befüllt. Mehrere Submodelle sind nach IDTA-Norm noch nicht veröffentlicht. Es wurden die veröffentlichten Submodelle befüllt, Informationen für die in der Entstehung befindlichen Submodelle zusammengetragen und interne Submodelle bei Bedarf erstellt.

Die hier aufgezeigten Submodelle je Verwaltungsschale sind ausdrücklich vom Validierungsprojekt abhängig. Weitere Themen aus den Kapiteln 1.1 und 3.3 wie

Condition Monitoring, Asset Onboarding oder Layoutplanung sind relevante Use Cases, die mit Submodellen abgedeckt werden können. Im Zusammenhang mit dem hier betrachteten Pilotprojekt wurden diese Themen aber nicht fokussiert.

### Integration der Verwaltungsschale in IT-Landschaft

Im abschließenden Schritt der Methodik soll die aufgestellte Struktur der Verwaltungsschalen in die IT-Infrastruktur integriert werden. In dem Industrieunternehmen der Validierungsanlage besteht aktuell noch keine IT-Infrastruktur für Verwaltungsschalen, das heißt, es wurde noch kein Repository oder Registry definiert, in welche die Schalen eingefügt werden können. In Abbildung 80 ist die aktuell geplante Zielarchitektur für eine Umsetzung der Verwaltungsschale zu sehen. Wie hierbei zu erkennen ist, soll die Verwaltungsschale klassisch als verbindende Ebene zwischen der Businesssebene und der Shopfloorebene aufgebaut werden. Bestandteile sind das Repository und die Registry. Eine weitere mögliche Lösung zur Integration ist abhängig von der Verwendung von AutomationML und OPC UA. In diesem Validierungsprojekt kommen diese Standards nicht zur Anwendung. Aus dem Grund wurde eine IT-Integration nach Abbildung 58 nicht realisiert.

Die Integration der zuvor definierten Schalen wird in einer aufbauenden Arbeit umgesetzt, sobald die IT-Struktur besteht.

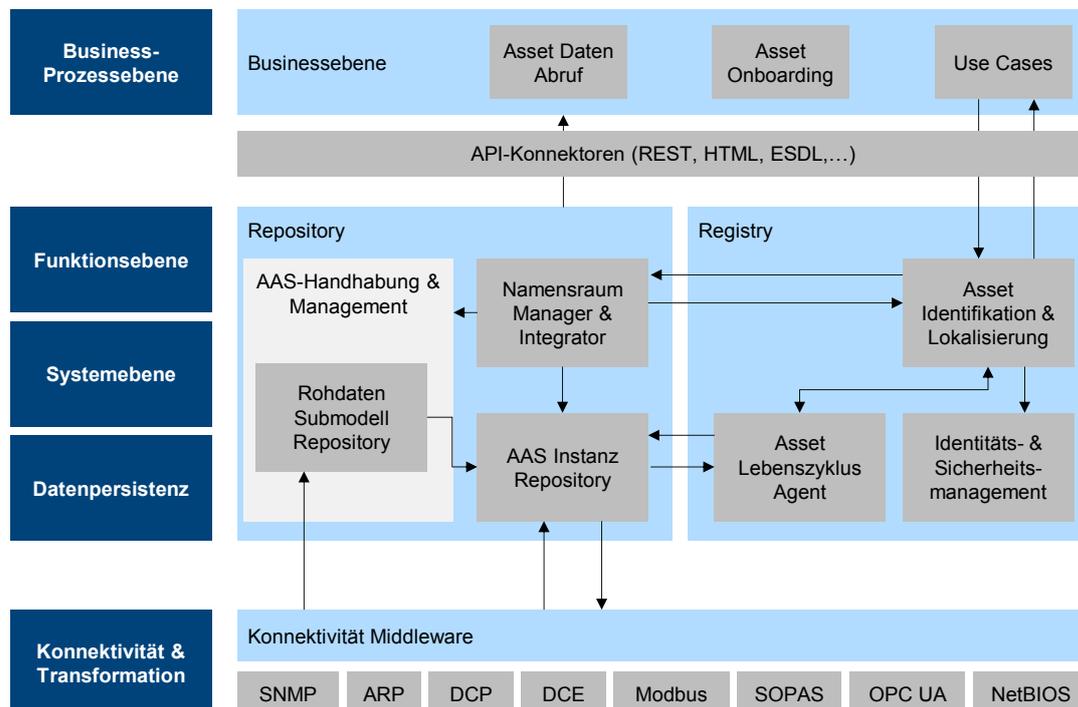


Abbildung 80: Geplante Zielarchitektur Industrieunternehmen Validierungsprojekt

## 7.5 Zusammenfassung des Validierungsprojektes

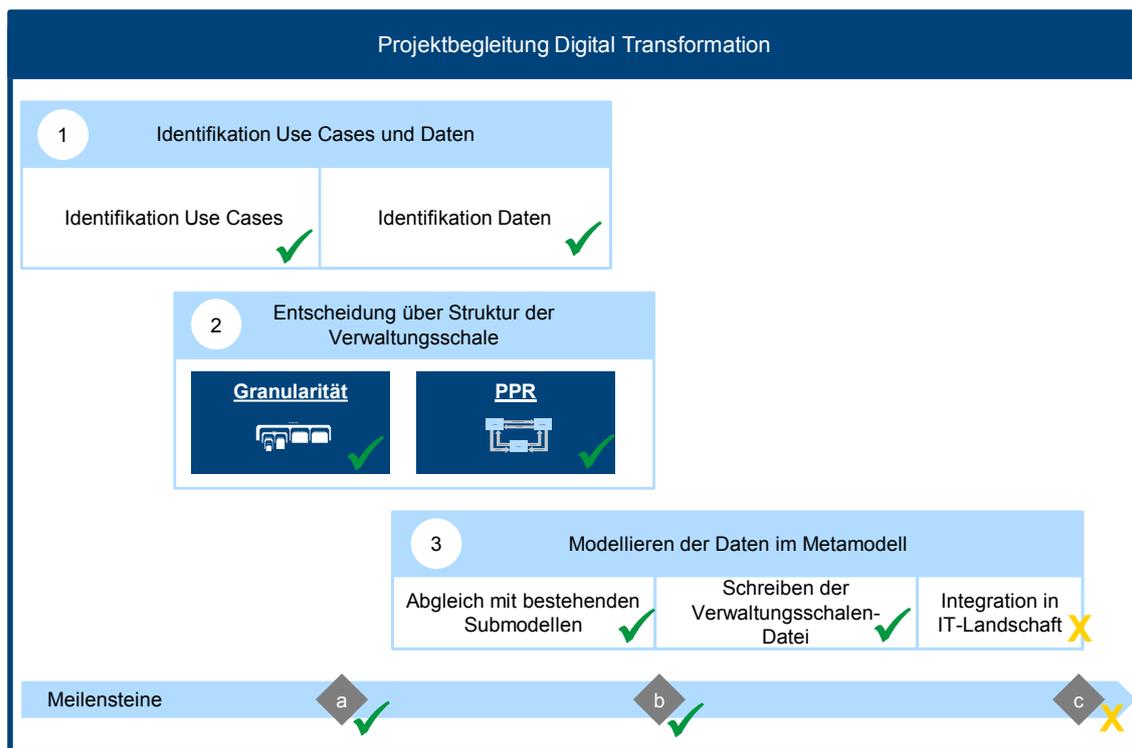


Abbildung 81: Erfüllungsgrad Methodik im Validierungsprojekt

Abschließend werden in diesem Abschnitt die umgesetzten Methoden im Validierungsprojekt zusammengefasst. Für den Betrachtungsrahmen wurde eine Anlage und damit ein anlagenzentrierter Problemansatz gewählt. Die ausgewählte Anlage zum automatisierten Setzen von Clipsen für eine spätere Montage der Dachrahmenleiste wurde in ihrer Funktion und ihren Bestandteilen beschrieben. Anschließend erfolgte die Identifikation der Use Cases mit Hilfe von Anlagenexperten. Alle die Anlage betreffenden Daten wurden mithilfe einer unternehmensinternen Recherche in Systemen, Laufwerken und mit der Hilfe von Anlagenexperten, Planungsmitarbeitern und Mitarbeitern der Instandhaltung identifiziert. In den Strukturentscheidungen wurde die funktionale Anlagenebene definiert, das heißt, es wurden keine Use Cases identifiziert, die Verwaltungsschalen auf Komponentenebene benötigen. Darauf aufbauend wurden die Use Cases auf die vier Schalentypen AAS, HAS, PtAS, und PcAS verteilt. Die so entstandene Struktur wurde anschließend in der Modellierungsphase mit Inhalten befüllt. Soweit möglich, wurden die identifizierten und verorteten Use Cases mit Hilfe von bestehenden Submodellen abgedeckt. Einige Submodelle sind bereits definiert und veröffentlicht. Darüber hinaus sind viele der benötigten Submodelle aktuell in der Entwicklung und können zu einem späteren Zeitpunkt übernommen werden. Nur einige Fälle, insbesondere die HAS betreffend, wie Schulungen und Berechtigungen oder unternehmensinterne Use Cases werden nicht durch veröffentlichte Submodelle oder in der Entwicklung befindliche Submodelle abgedeckt. Hier mussten die Attribute sowie die entsprechende *semanticId* definiert werden. Die Arbeit der Strukturierung ist in einem

UML-Tool geschehen, während die konkrete Modellierung der einzelnen Verwaltungsschalen in einem AAS-Tool erledigt wurde. Die abschließende Integration in die IT-Landschaft des Industrieunternehmens konnte aufgrund der aktuell zu frühen Phase des Industrieansatzes nicht erfolgen (siehe Abbildung 81).

## 8 Fazit und Ausblick

Dieses Kapitel fasst die Arbeit zusammen und setzt sich kritisch mit der aufgestellten Methodik sowie dem wissenschaftlichen Beitrag auseinander. Abschließend wird ein Ausblick auf zukünftige Forschung gegeben.

### 8.1 Zusammenfassung der Problemstellung und Vorgehensweise der Arbeit

Zunehmende Kosten aufgrund von verschärftem Wettbewerb, aktuellen Megatrends, wie dem autonomen Fahren, neuen Mobilitätskonzepten oder alternativen Antriebskonzepten, führen zu einem hohen Innovationsdruck in der Automobilindustrie. In den Fabriken werden flexiblere Strukturen benötigt, die anpassungsfähig und reaktionsfähig sind. Durch flexible Strukturen kann die Komplexität zunehmen. Digitalisierung und Industrie 4.0 sind Ansätze, um die Komplexität beherrschbar zu machen und konkrete durch die oben genannten Treiber entstandenen Use Cases zu bearbeiten.

In dieser Arbeit wurden dafür die Automobilindustrie und ihre Engineeringphase beschrieben, die Datenstandards in Theorie und Praxis untersucht, die Verwaltungsschale als mögliche Lösung geprüft und angewendet. Die einleitend formulierte Forschungsfrage behandelte die Themen der bestehenden Standards zur Datenstrukturierung, -bezeichnung und -ablage in der Literatur und der Praxis. Kapitel zwei hat einleitend eine Einordnung in den Betrachtungsrahmen gegeben, in dem die Automobilindustrie mit Fokus auf die automobilen Montage beschrieben wurde. Außerdem wurde die Produktstruktur, die Produktionssystemstruktur und der Engineeringprozess von Produktionsanlagen untersucht und beschrieben. Abschließend wurde in die Grundlagen der Methodik eingeführt und verschiedene Methoden vorgestellt.

In Kapitel drei wurde die einleitende Forschungsfrage bearbeitet. Nach einer Einführung in den theoretischen Hintergrund des Wissensmanagements wurden Referenzarchitekturen und Normen beschrieben und als Stand der Technik begutachtet. Zusätzlich wurde die Praxis im Umgang mit Anlagendaten durch Experteninterviews bei einem OEM überprüft. Fazit beider Untersuchungen waren Defizite in der Datenablage und -struktur. Daraufhin wurde der Forschungsbedarf konkretisiert. Da die aktuell genutzten Standards in Theorie und Praxis nicht ausreichen, um alle Daten Use Cases abzudecken, bedarf es einer neuen Technologie. Als mögliche Lösung sollte die Implementierung von Verwaltungsschalen betrachtet werden. Dafür musste in einem ersten Schritt eine Möglichkeit zur Umsetzung einer Verwaltungsschalenstruktur in der automobilen Montage identifiziert werden.

Der folgende Abschnitt, Kapitel vier, befasste sich mit den theoretischen Grundlagen Industrie 4.0, CPS, digitaler Zwilling, Informationsmodellierung und Verwaltungsschale.

Anschließend wurde der Stand der Technik in der Umsetzung und Implementierung von Verwaltungsschalen untersucht. Da auch hier Defizite identifiziert wurden, musste eine neue Methodik entwickelt werden, um die Technologie der Verwaltungsschale in der automobilen Montage umzusetzen.

Die Kapitel fünf und sechs gaben erst einen Überblick und beschrieben anschließend im Detail eine neuentwickelte Methodik zur Use Case gesteuerten Umsetzung der Verwaltungsschale in der automobilen Montage. Dabei wurde auf die drei Schritte *Use Case und Daten Identifikation*, *Strukturentscheidung* und *Modellierung* eingegangen. Dabei hat sich gezeigt, dass ein großer Hub durch die Verknüpfung des PPR-Ansatzes mit der Verwaltungsschale erreicht werden kann. Daraus wurde eine Neuentwicklung der Schalen AAS, HAS, PtAS und PcAS abgeleitet, um eine Anlage im PPR-Kontext mit Verwaltungsschalen beschreiben zu können.

Abschließend wurde die theoretische Methodik anhand einer konkreten Montageanlage in Kapitel sieben validiert. Dafür wurde eine Montageanlage ausgewählt, beschrieben und die Schritte sowie Teilschritte der Methodik angewandt. Use Cases die Anlage betreffend wurden identifiziert und alle relevanten Daten wurden zusammengetragen. Anschließend wurde mittels PPR-Modell eine Struktur von vier Schalen aufgebaut, die die Anlage, den Menschen, das Produkt und den Prozess auf Funktionsebene beschreiben. Die aufgestellten Verwaltungsschalen wurden mittels AAS Package Explorer umgesetzt. Dafür wurden, soweit möglich, bestehende Submodell Templates verwendet oder der Entwurf neuer Submodelle verwendet. Die Identifier wurden anhand globaler Identifier als auch angelehnt an Unternehmensnormen formuliert. Die Integration in die IT-Landschaft konnte nicht durchgeführt werden, da die Prototypenentwicklung der Registry und des Repositories im Unternehmen zum Zeitpunkt dieser Arbeit noch nicht abgeschlossen war und keine Kauflösung am Markt existierte, die die Umsetzung kurzfristig ermöglicht hätte.

## 8.2 Methodenkritik und Fazit aus der Validierung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Methodik die aufgestellten Kriterien aus Kapitel 5.1 erfüllt. Insbesondere die Spezifika der automobilen Montage, sowie die Beschreibung eines konkreten Vorgehensmodells, welches durchgeführt und für weitere Fälle wiederholt werden kann, wurden berücksichtigt. Die Use Cases sind ausschlaggebend für die Struktur der Daten, das beugt Verschwendung durch überflüssiges Datensammeln vor. Der PPR-Ansatz ermöglicht eine Zerlegung des komplexen Produktionsprozesses inklusive seiner Anlagen und Produkte. Das führt zu einer Vereinfachung und Beherrschbarkeit der Komplexität der betroffenen Datenstruktur. Damit wird die bestehende etablierte Forschung zum PPR-Ansatz mit der neuen Technologie und Theorie der Verwaltungsschale kombiniert.

Die Methodik eignet sich für die Zeit, bevor Komponenten automatisch mit einer Verwaltungsschale geliefert werden. In dem Fall verbindet der Systemintegrator alle bestehenden Schalen und muss anschließend die übergeordneten Ebenen wie die

Funktionsebene ergänzen, kann aber aus den bestehenden Schalen schöpfen. Der OEM bindet die Schalen in die eigenen Strukturen ein und ergänzt um Ebenen, wie Fertigungsabschnitte und Weitere. Dieser Schritt wird aber erst mit einer breiteren Durchdringung des Marktes mit der Industrie 4.0 Technologie erreicht.

Defizite in der Praxis sind eine fehlende Datenbasis für einige Use Cases und eine dezentrale Datenhaltung und Datenverwaltung, die zu abreißenden Informationsflüssen zwischen den Beteiligten führen. Diese können mit der Verwaltungsschalen-Logik behoben werden, indem ein Single Point of Truth geschaffen wird.

Das gewählte Pilotprojekt hat sich vorteilhaft für eine Validierung gezeigt. Die Methodik konnte angewandt werden. Für eine ausführlichere Abbildung der HAS kann zukünftig ein weiteres Pilotprojekt mit einem Arbeitsplatz mit höherem Grad an manueller Tätigkeit berücksichtigt werden.

### 8.3 Wissenschaftlicher Beitrag

Der wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit wird anhand der beantworteten Forschungsfragen berücksichtigt:

*Eignen sich die existierenden Modelle für eine umfassende Abdeckung von datengetriebenen Use Cases in der automobilen Montage?*

Das erste Forschungsziel zielt auf aktuelle Standards ab und die Untersuchung, ob diese angewandt werden können, um datengetriebene Use Cases umzusetzen. Mittels Literaturrecherche und Experteninterviews wurden Theorie sowie Praxis untersucht, nach welchen Standards Daten zu Anlagen strukturiert, abgelegt, zugänglich gemacht und gespeichert werden. Dabei haben sich Defizite gezeigt, wie in Kapitel 3.4.1 festgehalten wurde. Es wurde eine neue Forschungsfrage formuliert, um die Defizite aufzuarbeiten:

*Nach welcher Methodik kann eine automobilen Montageplanung das Konzept der Verwaltungsschalen Use Case orientiert als Lösung des Problemraums Datenzugänglichkeit in der Praxis umsetzen?*

Zielsetzung der zweiten Forschungsfrage war die Entwicklung einer Methodik, eines Modells oder einer Vorgehensweise, um eine Verwaltungsschale Use Case orientiert in der automobilen Montage zu implementieren. Nach einer Literaturrecherche zu Implementierungsansätzen hat sich gezeigt, dass keiner der Ansätze die aufgestellten Anforderungen erfüllt. Die neue Methodik wurde in ihrem Grobkonzept weitestgehend unabhängig von bestehender Literatur aufgestellt. Die Teilschritte stützen sich teilweise auf Methodikschritte, die ähnlich in der Literatur für andere Anwendungsfälle bereits beschrieben wurden. Ein großer Hub wurde durch den Abschnitt über die Struktur einer Verwaltungsschale erreicht. Die Verbindung von den Theorieansätzen PPR und Verwaltungsschale und damit die Erstellung von AAS, HAS, PtAS, PcAS helfen, einen Prozess, der Ressourcen und Produkte beinhaltet, zu beschreiben und mit der

Verwaltungsschale abzudecken.

Der wissenschaftliche Beitrag lässt sich mit drei Kernaussagen zusammenfassen. Die Umgebung der Datenstandards im Automobilbau wurde untersucht und verbessert. Mit der aktuellen Datenbasis konnten einige Use Cases nur mit erheblichem Aufwand oder gar nicht umgesetzt werden. Die Verwaltungsschale kann dabei helfen diese Probleme zu beheben. Außerdem wurde die Umsetzung der Verwaltungsschale in einem Industrieunternehmen operativ geprüft und getestet. Das heißt mit Hilfe der entwickelten Methodik kann der Ansatz der Verwaltungsschale in der Montage vermehrt eingesetzt und dadurch die Entwicklung der Submodelle in der IDTA unterstützt werden. Abschließend leistet diese Arbeit einen Beitrag den digitalen Zwilling der Industrie 4.0 Bestrebung in der automobilen Montage umzusetzen.

#### **8.4 Ausblick und zukünftige Forschung**

An der Zusammenarbeit von verschiedenen Industrie 4.0 Technologien, wie Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA, wird aktuell noch gearbeitet. Aktuelle wissenschaftliche Arbeiten dazu müssen in der kommenden Zeit mit Pilotprojekten in der Industrie validiert werden. Bei Formulierung der Methodik sowie bei Umsetzung in Validierungsprojekten hat sich gezeigt, dass die aktuelle Auslegung einer IT-Infrastruktur für Datenablage und -speicherung in Unternehmen noch nicht auf Industrie 4.0 Technologien ausgelegt ist. Hierbei müssen die Struktur des Repository und der Registry geschaffen werden. Zu definieren ist dabei die Kommunikation der Verwaltungsschalenstruktur mit der Business Ebene des Unternehmens und den darin enthaltenen IT-Systemen. Damit verbunden ist die Weiterentwicklung der Methodik für einen stärkeren Bezug zu Laufzeitdaten, die beispielsweise Condition Monitoring und Predictive Maintenance bedienen. Des Weiteren legt diese Arbeit einen Fokus auf Brownfield Fabriken und Anlagen, in dem eine nachträgliche Betrachtung bestehender Anlagen im Verwaltungsschalenkontext geschieht. Eine zukünftige Greenfield-Betrachtung, in der ein Lieferant die Anlage bereits mit Schalen ausgestattet an den Betreiber übergeben wird, bedarf einer neuen Methodik. Hierbei steht neben der Use Case Identifikation die Anforderungsdefinition im Lastenheft im Vordergrund.

Da in der Auslegung der Schalen im Validierungsprojekt Submodelle identifiziert wurden, die noch nicht komplett veröffentlicht wurden, muss die Validierung durch Beteiligung am Standardprozess der IDTA nach dieser Arbeit vervollständigt werden. Um Redundanzen durch Doppelbebauung zu vermeiden, ist von einer Parallelentwicklung von Submodellen abzusehen. Das bedeutet, dass die umfassende Abdeckung aller Use Cases eine starke Abhängigkeit von den standardisierten Submodellen aufweist. Aktuell werden eine Vielzahl neuer Submodelle in den Standardisierungsorganisationen entwickelt.

Darüber hinaus wurden Submodelle identifiziert, die nicht global standardisiert sind, sondern ausschließlich für den Konzern relevant sind. Diese Submodelle betreffen die

verschiedenen Identifier im Unternehmen. Eine Vereinheitlichung von Identifiern im Unternehmen ist wünschenswert, um eine Verlinkung verschiedener IDs zu vermeiden.

Ein weiteres Forschungsfeld wird die tiefergehende Beschäftigung mit der Datensicherheit sein. Um Bedrohungen durch Hacker zu verringern, ist es wichtig, Schwachstellen im Produktionsnetzwerk zu kennen. Das heißt beispielsweise bei sicherheitsrelevanten Updates der Firmware muss bekannt sein, auf welcher Anlage im Produktionsverbund die gefährdete Firmware Version installiert ist. Aufgrund der exponentiell ansteigenden Rechenleistung muss geprüft werden, ob die Verschlüsselungen der Verwaltungsschale eine entsprechende Sicherheit bieten.

Diese theoretische Arbeit sowie das begleitende praktische Validierungsprojekt haben aufgezeigt, dass eine umfassende Umsetzung des Industrie 4.0 Gedanken weiterhin viel Aufwand und Arbeit in Forschung und Industrie benötigen.

## 9 Literaturverzeichnis

- Abdel-Aty, T. A., Negri, E. & Galparoli, S. (2022). Asset Administration Shell in Manufacturing. Applications and Relationship with Digital Twin. *14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2022*, 55 (10), 2533–2538. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.090>
- Alpar, P., Alt, R., Bensberg, F. & Czarnecki, C. (2023). *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen* (10. Auflage 2023). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg.
- Assadi, A. A., Fries, C., Fechter, M., Maschler, B., Ewert, D., Schnaufer, H.-G. et al. (2020). User-friendly, requirement based assistance for production workforce using an asset administration shell design. *53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020*, 91, 402–406. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.192>
- AutomationML consortium (2024). *Application Recommendation: AutomationML in Asset Administration Shells*. AutomationML consortium. Zugriff am 23.05.2024. Verfügbar unter <https://www.automationml.org/news/application-recommendation-automationml-in-asset-administration-shells-is-available/>
- Bauernhansl, T., Fechter, M. & Dietz, T. (2020). *Entwicklung, Aufbau und Demonstration einer wandlungsfähigen (Fahrzeug-) Forschungsproduktion* (Arena2036 Ser, 1. Aufl. 2020). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Becker, J., Probandt, W. & Vering, O. (2012). *Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. Konzeption und Praxisbeispiel für ein effizientes Prozessmanagement* (BPM kompetent). Berlin: Springer Gabler.
- Belyaev, A., Block, C., Boss, B., Diedrich, C., Juhel, P., Hartmann, W. et al. (2021). *Modelling the Semantics of Data Modelling the Semantics of Data of an Asset Administration Shell with Elements of ECLASS* (Plattform Industrie 4.0, Hrsg.). Plattform Industrie 4.0. Zugriff am 10.01.2024. Verfügbar unter [https://eclass.eu/fileadmin/Redaktion/pdf-Dateien/Broschueren/2021-06-29\\_Whitepaper\\_PlattformI40-ECLASS.pdf](https://eclass.eu/fileadmin/Redaktion/pdf-Dateien/Broschueren/2021-06-29_Whitepaper_PlattformI40-ECLASS.pdf)
- Bertsche, B., Dazer, M. & Hintz, K. (2022). *Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau. Ermittlung von Bauteil- und System-zuverlässigkeiten* (4. Auflage). Berlin, Germany: Springer Vieweg.
- Bodendorf, F. (2003). *Daten- und Wissensmanagement* (Springer-Lehrbuch). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-06494-8>
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19416-5>

- Bondza, A., Eck, C., Heidel, R., Reigl, M. & Wenzel, S. (2018). *MIT DATEN UND SEMANTIK AUF DEM WEG ZUR INDUSTRIE 4.0* (ECLASS e.V., Hrsg.). Zugriff am 20.03.2024. Verfügbar unter [https://eclass.eu/fileadmin/Redaktion/pdf-Dateien/Broschueren/ecl-Whitepaper\\_2018\\_DE\\_klein\\_2\\_.pdf](https://eclass.eu/fileadmin/Redaktion/pdf-Dateien/Broschueren/ecl-Whitepaper_2018_DE_klein_2_.pdf)
- Broy, M. (2010). *Cyber-Physical Systems. Innovation Durch Software-Intensive Eingebettete Systeme* (acatech DISKUTIERT). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14901-6>
- Brumby, L., Diedrich, C., Gayko, J., Haack, D., Heidel, R., Hörcher, G. et al. (2022). *Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0* (Deutsches Institut für Normung & DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Hrsg.). Zugriff am 18.10.2023. Verfügbar unter <https://www.sci40.com/german/publikationen/>
- Burns, T., Cosgrove, J. & Doyle, F. (2019). A Review of Interoperability Standards for Industry 4.0. *29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM 2019), June 24-28, 2019, Limerick, Ireland, Beyond Industry 4.0: Industrial Advances, Engineering Education and Intelligent Manufacturing*, 38, 646–653. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.083>
- Büttner-Thiel, N., Heimann, S., Specht-Riemenschneider, L., Peichl, A. & Wilken, K. (2022). *Der Weg zu einem Dateninstitut für Deutschland. Zwischenbericht – Erste Empfehlungen der Gründungskommission*. Stand: 9. Dezember 2022 (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) & Referat Soziale Medien, Ö., Hrsg.). Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK); Referat Soziale Medien, Öffentlichkeitsarbeit. Zugriff am 22.05.2023. Verfügbar unter [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/it-digitalpolitik/bericht-dateninstitut.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/it-digitalpolitik/bericht-dateninstitut.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- Colombo, A. W., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y. & Yin, S. (2017). Industrial Cyberphysical Systems. A Backbone of the Fourth Industrial Revolution. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11 (1), 6–16. <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2648857>
- DIN EN 61512 (2000). *Chargenorientierte Fahrweise*: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 62264 (2014). *Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen*: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN 62541 (2016). *OPC Unified Architecture*: Beuth Verlag GmbH.
- DIN SPEC 91345 (2016). *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)*: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 14224 (2017). *Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie - Sammlung und Austausch von Zuverlässigkeits- und Wartungsdaten für Ausrüstungen*.

- DIN EN 61360 (2018). *Genormte Datenelementtypen mit Klassifikationsschema für elektrische Betriebsmittel* -.
- DIN EN 62714 (2019). *Datenaustauschformat für Planungsdaten industrieller Automatisierungssysteme - Automation markup language*: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN IEC 62832 (2022). *Industrielle Automatisierungs- und Leittechnik - Grundstruktur der digitalen Fabrik*: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN IEC 63278-1 (2022). *Verwaltungsschale für industrielle Anwendungen - Teil 1: Struktur der Verwaltungsschale*: Beuth Verlag GmbH.
- Diedrich, C. & Riedl, M. (2017). Integration von Automatisierungsgeräten in Industrie-4.0-Komponenten. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 2 : Automatisierung* (Springer Reference Technik, 2., erweiterte und bearbeitete Auflage, Bd. 2). Berlin: Springer Vieweg.
- Drath, R. (Hrsg.). (2021). *AutomationML*: De Gruyter Oldenbourg.
- Drath, R., Mosch, C., Hoppe, S., Faath, A., Barnstedt, E., Fiebiger, B. et al. (2023). *Diskussionspapier – Interoperabilität mit der Verwaltungsschale, OPC UA und AutomationML. Zielbild und Handlungsempfehlungen für industrielle Interoperabilität*. Dieses Diskussionspapier wird getragen von: Vereine/Verbände AutomationML e.V., IDTA, OPC Foundation, VDMA, sowie Experten aus den Unternehmen Microsoft, KUKA, Siemens. Zugriff am 04.05.2023. Verfügbar unter <https://www.automationml.org/wp-content/uploads/2023/04/Diskussionspapier-Zielbild-und-Handlungsempfehlungen-fuer-industrielle-Interoperabilitaet-5.3.pdf>
- Drossel, W.-G., Ihlenfeldt, S., Langer, T. & Dumitreescu, R. (2018). Cyber-Physische Systeme. Forschen für die digitale Fabrik. In R. Neugebauer (Hrsg.), *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft* (Fraunhofer-Forschungsfokus, 1. Auflage, S. 197–222). Berlin: Springer Vieweg.
- Eigner, M. (2021). *System Lifecycle Management. Digitalisierung des Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.
- Eversheim, W. (1989). *Organisation in der Produktionstechnik Band 4. Fertigung und Montage* (VDI-Buch, 2. Aufl.). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61344-9>
- Ewert, D., Jung, T., Tasci, T. & Stiedl, T. (2021). Assets2036 – Lightweight Implementation of the Asset Administration Shell Concept for Practical Use and Easy Adaptation. In P. Weissgraeber, F. Heieck & C. Ackermann (Hrsg.), *Advances in automotive production technology - theory and application. Stuttgart Conference on Automotive Production (SCAP2020) (ARENA2036)* . Berlin, Germany: Springer Vieweg.

- Franken, R. & Franken, S. (2023a). 10. Ideenfindung und Ideenumsetzung. In R. Franken & S. Franken (Hrsg.), *Wissen, Lernen und Innovation im digitalen Unternehmen. Mit Fallstudien und Praxisbeispielen*. [S.l.]: Springer Gabler.
- Franken, R. & Franken, S. (Hrsg.). (2023b). *Wissen, Lernen und Innovation im digitalen Unternehmen. Mit Fallstudien und Praxisbeispielen*. [S.l.]: Springer Gabler.
- Gallina, V., Gal, B., Szaller, Á., Bachlechner, D., Ilie-Zudor, E. & Sihm, W. (2023). Reducing Remanufacturing Uncertainties with the Digital Product Passport. In H. Kohl, G. Seliger & F. Dietrich (Hrsg.), *Manufacturing Driving Circular Economy. Proceedings of the 18th Global Conference on Sustainable Manufacturing, October 5-7, 2022, Berlin*. [S.l.]: SPRINGER INTERNATIONAL PU.
- Gehlhoff, F., Nabizada, H., Weigand, M., Beers, L., Ismail, O., Wenzel, A. et al. (2022). Challenges in Automated Commercial Aircraft Production. *14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2022*, 55 (2), 354–359. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.219>
- Gehlhoff, F., Vogel-Heuser, B., Seitz, M., Ryashentseva, D. & Fay, A. (2019). Evaluation der Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen - Ein quantitativer Ansatz auf Basis des Produkt-Prozess-Ressource- Konzeptes. *VDI-Kongress Automation 2019*.
- Gehm, J. (2022). *Design thinking etablieren. So verankern sie design thinking im unternehmen - bewhrtes... vorgehensmodell, erfahrungen, fallbeispiele*. [S.l.]: GABLER.
- Gericke, K., Bender, B., Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2021). Der Produktentwicklungsprozess. In B. Bender & K. Gericke (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung* (9. Auflage 2021, S. 57–93). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2004). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen* (UTB Sozialwissenschaften, Bd. 2348, 1. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Glück, M. (2022). *Agile innovation. Mit neuem Schwung zum Erfolg*. Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg.
- Grieves, M. (2005). Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises. *International Journal of Product Development - Int J Prod Dev*, 2. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2005.006669>
- Grunau, S., Redeker, M., Göllner, D. & Wisniewski, L. (2022). The Implementation of Proactive Asset Administration Shells: Evaluation of Possibilities and Realization in an Order Driven Production. In J. Jasperneite & V. Lohweg (Hrsg.), *Kommunikation und Bildverarbeitung in der Automation. Ausgewählte Beiträge der Jahreskolloquien KomMA und BVAu 2020* (Technologien für die intelligente Automation, Band 14). Berlin, Germany: Springer Vieweg.

- Gundlach, C. S. & Fay, A. (2022). Deduction of Digital Twin's applications based on product independent description of use cases. *14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2022*, 55 (2), 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.164>
- Helfferich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews* (4. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>
- Hell, K. (2018). *Methoden der projektübergreifenden Wiederverwendung im Anlagenentwurf. Konzeptionierung und Realisierung in der Automobilindustrie*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.
- Helmold, M. (2023). *Lean Management und Kaizen. Grundlagen Aus Fällen und Beispielen in Operations und Supply Chain Management*. Cham, Swizeland: Springer Gabler.
- Herlyn, W. (2012). *PPS im Automobilbau. Produktionsprogrammplanung und -steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten* (1. Aufl.). s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag. <https://doi.org/10.3139/9783446428485>
- Hofmann, P., Jöhnk, J., Protschky, D., Stähle, P., Urbach, N. & Buck, C. (2020). KI-Anwendungsfälle zielgerichtet identifizieren. *Wirtschaftsinformatik & Management*, 12 (3), 184–193. <https://doi.org/10.1365/s35764-020-00257-z>
- Hribernik, K., Cabri, G., Mandreoli, F. & Mentzas, G. (2021). Autonomous, context-aware, adaptive Digital Twins—State of the art and roadmap. *Computers in Industry*, 133, 103508. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103508>
- Hundt, L., Wiegand, M., Lüder, A. & Meyer, T. Das AutomationML Komponentenmodell. Engineering-Informationen konsistent zusammenführen. In *atp Magazin* (Bd. 63, S. 78–85).
- Hundt, L., Wiegand, M., Lüder, A. & Meyer, T. (2022). Das AutomationML-Komponentenmodell. *atp magazin*, 63 (4), 78–85. <https://doi.org/10.17560/atp.v63i4.2589>
- Hünecke, P., Binder, C., Hoffmann, D. & Lüder, A. (2024). AutomationML-based Risk Modeling for Decision Support in Engineering Lifecycles. *ETFA 2024*.
- ISO 15926 (2004). *Industrial automation systems and integration — Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities*.
- ISO 22400 (2014). *Automation systems and integration - Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management*.
- Kaiser, R. (2021). *Qualitative Experteninterviews. Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung* (Elemente der Politik, 2., aktualisierte Auflage). Wiesbaden: Springer VS.

- Karch, S., Lüder, A., Listl, C., Nowacki, N., Hassan, K., Werner, R. et al. (2023). Lean Engineering – Identifying muda in engineering chains. *56th CIRP Conference on Manufacturing Systems, CIRP CMS '23, South Africa*.
- Kathrein, L., Meixner, K., Winkler, D., Lüder, A. & Biffel, S. (Hrsg.). (2019). *Product/ion-Aware Modeling Approaches that Support Tracing Design Decisions* (Bd. 1). 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN).
- Kaufmann, J. & Müller, W. (2023). *Grundkurs Wirtschaftsinformatik. Eine kompakte und praxisorientierte Einführung* (10. Auflage). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kern, W. (2022). *Modulare Produktion. Methodik zur Gestaltung eines modularen Montagesystems für die variantenreiche Serienmontage im Automobilbau* (1. Auflage 2022). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg.
- Kim, B., Kim, S., Teiggeler, H., Lee, J., Lee, J. Y., Lim, D. et al. (2022). Use of Asset Administration Shell Coupled with ISO 15926 to Facilitate the Exchange of Equipment Condition and Health Status Data of a Process Plant. *Processes*, 10 (10), 2155. <https://doi.org/10.3390/pr10102155>
- Klemm, M. & Liebold, R. (2017). Qualitative Interviews in der Organisationsforschung. In S. Liebig, W. Matiaske & S. Rosenbohm (Hrsg.), *Handbuch Empirische Organisationsforschung* (Springer Reference Wirtschaft ). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Klug, F. (2018). *Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik Im Automobilbau* (VDI-Buch Ser, 2nd ed.). Berlin, Heidelberg: Vieweg.
- Köhler, J. & Oswald, A. (2009). *Die Collective Mind Methode. Projekterfolg durch Soft Skills*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-00108-6>
- Küber, C. (2017). *Methode zur Planung modularer, produktflexibler Montagekonfigurationen in der variantenreichen Serienmontage* (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung, Band 69). Dissertation.
- Kuhn, T., Schnicke, F. & Antonino, P. O. (Hrsg.). (2020). *Service-Based Architectures in Production Systems. Challenges, Solutions & Experiences*. 2020 ITU Kaleidoscope: Industry-Driven Digital Transformation (ITU K).
- Lager, H. (2020). *Anpassungsfähigkeit in Zeiten der Digitalisierung. Zur Bedeutung von Empowerment und innovativer Arbeitsorganisation* (Research). Wiesbaden, Germany: Springer VS.
- Lehmann, L. M. (2023). *Ermittlung geeigneter industrieller Anwendungen von Augmented Reality*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (VDI-Buch, 3. korrigierte Aufl.). Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/b137764>

- Listl, C. (2024). *Ableitung einer ganzheitlichen Transformationsstrategie zur Realisierung von Datendurchgängigkeit im Anlagenentstehungsprozesses*. Dissertation. OvGU Magdeburg, Magdeburg.
- Löffler, C. (2011). *Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung* (IPA-IAO Forschung und Praxis, Bd. 519). Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2011. Heimsheim: Jost-Jetter.
- Loos, P. & Fettke, P. (2007). *Architekturen und Prozesse. Strukturen und Dynamik in Forschung und Unternehmen* (1. Aufl.). s.l.: Springer-Verlag.
- Lüder, A. (2017). Integration des Menschen in Szenarien der Industrie 4.0. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 2 : Automatisierung* (Springer Reference Technik, 2., erweiterte und bearbeitete Auflage, Bd. 2, S. 559–573). Berlin: Springer Vieweg.
- Lüder, A. (2020). Flexibility in Production Systems by Exploiting Cyberphysical Systems. *Computer*, 53 (1), 81–85. <https://doi.org/10.1109/MC.2019.2949107>
- Lüder, A., Blume, J., Schleipen, M., Freund, M., Hoffmann, D. & Gupta, P. (2024). Integration verschiedener Informationstechnologien in der Verwaltungsschale am Beispiel von AAS und AutomationML. *EKA 2024*.
- Lüder, A., Graf, A., Müller, M., Schleipen, M., Wiegand, M., Biffel, S. et al. (2021). Serialization of the Asset Administration Shell by AutomationML. In R. Drath (Hrsg.), *AutomationML* (S. 365–378). De Gruyter Oldenbourg. <https://doi.org/10.1515/9783110745979-020>
- Lüder, A., Schleipen, M., Hoffmann, D., Blume, J., Freund, M. & Gupta, P. (2024). Realizing Consistent Digital Twins by Combining Different Data Exchange Technologies. *ETFA 2024*.
- Lüder, A., Schmidt, N., Hell, K., Röpke, H. & Zawisza, J. (2017a). Fundamentals of Artifact Reuse in CPPS. In S. Biffel, A. Lüder & D. Gerhard (Eds.), *Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems. Data Models and Software Solutions for Handling Complex Engineering Projects* (pp. 113–138). Cham: Springer International Publishing.
- Lüder, A., Schmidt, N., Hell, K., Röpke, H. & Zawisza, J. (2017b). Identification of Artifacts in Life Cycle Phases of CPPS. In S. Biffel, A. Lüder & D. Gerhard (Eds.), *Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems. Data Models and Software Solutions for Handling Complex Engineering Projects* (pp. 139–167). Cham: Springer International Publishing.
- Lüder, A., Steininger, H. & Goltz, D. (2023). Quo vadis Automation? *Trends für das Engineering von Automatisierungssystemen*, 71 (1), 6–15. <https://doi.org/10.1515/auto-2022-0102>

- Macharzina, K. & Wolf, J. (2023). *Unternehmensführung. Das internationale managementwissen konzepte - methoden - praxis*. [S.l.]: Springer Gabler.
- Maicher, M. & Scheruhn, H.-J. (1998). *Informationsmodellierung. Referenzmodelle und Werkzeuge* (Harzer wirtschaftswissenschaftliche Schriften, Gabler Edition Wissenschaft). Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-07676-6>
- Mattmann, I. (2017). *Modellintegrierte Produkt- und Prozessentwicklung* (Research). Dissertation.
- Miebach, B. (2023). *Soziologische Theorien der Digitalisierung. Eine Einführung* (1. Auflage 2023). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer VS.
- Müller, H. & Weichert, F. (2023). *Vorkurs Informatik. Der Einstieg ins informatikstudium*. [S.l.]: Springer.
- Nowacki, N. (2023). *Sozio-technischer Gestaltungsansatz für die Industrie 4.0-Befähigung von Produktionssystemen*. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.
- Pflaum, A. & Klötzer, C. (2019). *Geschäftsmodelle in der digitalen Welt. Strategien, Prozesse und Praxiserfahrungen*. Wiesbaden, Germany: Springer Gabler.
- Pistorius, J. (2020). *Industrie 4.0 - Schlüsseltechnologien Für Die Produktion. Grundlagen \* Potenziale \* Anwendungen*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. in Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Plattform Industrie 4.0. *AAS Reference Modelling. Exemplary modelling of a manufacturing plant with AASX Package Explorer based on the AAS metamodel* (Plattform Industrie 4.0, Hrsg.). Zugriff am 10.08.2023. Verfügbar unter [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/AAS\\_Reference\\_Modelling.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/AAS_Reference_Modelling.pdf?__blob=publicationFile&v=5)
- Plattform Industrie 4.0 (2015). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0* (BITKOM e.V, VDMA e.V. & ZVEI e.V., Hrsg.). Zugriff am 08.08.2023. Verfügbar unter <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf>
- Plattform Industrie 4.0 (2016a). *Interaktionsmodell für Industrie 4.0-Komponenten* (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Hrsg.). Berlin. Zugriff am 17.08.2022. Verfügbar unter [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-i40-komponenten.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-i40-komponenten.pdf?__blob=publicationFile&v=7)
- Plattform Industrie 4.0 (2016b). *Struktur der Verwaltungsschale. Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente* (Bundesministerium für Wirtschaft

- und Energie (BMW), Hrsg.). Zugriff am 09.05.2023. Verfügbar unter [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2016/april/Struktur\\_der\\_Verwaltungsschale/Struktur-der-Verwaltungsschale.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/april/Struktur_der_Verwaltungsschale/Struktur-der-Verwaltungsschale.pdf)
- Plattform Industrie 4.0 (2016c). *Weiterentwicklung des Interaktionsmodells für Industrie 4.0-Komponenten* (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW), Hrsg.). Berlin. Zugriff am 09.08.2023. Verfügbar unter [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-i40-komponenten-it-gipfel.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/interaktionsmodell-i40-komponenten-it-gipfel.pdf?__blob=publicationFile&v=6)
- Plattform Industrie 4.0 (2017a). *Beziehungen zwischen I4.0-Komponenten – Verbundkomponenten und intelligente Produktion. Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente SG Modelle und Standards* (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW), Hrsg.). Berlin. Zugriff am 30.08.2023. Verfügbar unter [https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2021/09/02\\_beziehungen\\_i40\\_komponenten\\_de\\_2017.pdf](https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2021/09/02_beziehungen_i40_komponenten_de_2017.pdf)
- Plattform Industrie 4.0 (2017b). *Sichere Kommunikation für Industrie 4.0. Diskussionspapier* (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW), Hrsg.). Zugriff am 09.08.2023. Verfügbar unter [https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2021/09/03\\_sichere-kommunikation\\_de\\_2017.pdf](https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2021/09/03_sichere-kommunikation_de_2017.pdf)
- Plattform Industrie 4.0 (2019). *Leitbild 2030 für Industrie 4.0. Digitale Ökosysteme global gestalten*. Zugriff am 08.08.2023. Verfügbar unter [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Infografiken/leitbild2030.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Infografiken/leitbild2030.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- Plattform Industrie 4.0 (2020a). *Details of the Asset Administration Shell. Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0 (Version 2.0.1)* (2. Aufl.) (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMW), Hrsg.). Berlin. Zugriff am 08.05.2023. Verfügbar unter [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details\\_of\\_the\\_Asset\\_Administration\\_Shell\\_Part1\\_V2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part1_V2.pdf?__blob=publicationFile&v=6)
- Plattform Industrie 4.0 (2020b). *Verwaltungsschale in der Praxis. Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen (Version 1.0)* (1. Aufl.) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW), Hrsg.). Zugriff am 08.05.2023. Verfügbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-verwaltungsschale-in-der-praxis.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/industrie-4-0-verwaltungsschale-in-der-praxis.pdf?__blob=publicationFile&v=8)
- Ponn, J. & Lindemann, U. (2011). *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungsformen* (VDI-Buch, 2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20580-4>

- Probst, G. J. B., Raub, S. P. & Romhardt, K. (2006). *Wissen managen. Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen* (5., überarb. Aufl.). Wiesbaden: GABLER. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9343-4>
- Quadrini, W., Cimino, C., Abdel-Aty, T. A., Fumagalli, L. & Rovere, D. (2023). Asset Administration Shell as an interoperable enabler of Industry 4.0 software architectures. A case study. *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 23rd International Conference KES2019*, 217, 1794–1802. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.379>
- Rauh, L., Gärtner, S., Brandt, D., Oberle, M., Stock, D. & Bauernhansl, T. (2022). Towards AI Lifecycle Management in Manufacturing Using the Asset Administration Shell (AAS). *53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020*, 107, 576–581. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.028>
- Reich, J., Zentarra, L. & Langer, J. (2021). Industrie 4.0 und das Konzept der Verwaltungsschale – Eine kritische Auseinandersetzung. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 58 (3), 661–675. <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00645-4>
- Reidt, A., Pfaff, M. & Krcmar, H. (2018). Der Referenzarchitekturbegriff im Wandel der Zeit. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* (5).
- Reif, K. (2014). *Automobilelektronik. Eine Einführung für Ingenieure* (ATZ-MTZ-Fachbuch, 5., überarb. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Resch, J. & Weber, C. (2016). *Kontextorientierte Entwicklung und Absicherung von festen Verbindungen im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie* (Berichte aus dem Institut für Maschinen- und Gerätekonstruktion (IMGK), Band 27). Dissertation.
- Röpke, H., Hell, K., Zawisza, J., Lüder, A. & Schmidt, N. (2016). Identification of “Industrie 4.0” component hierarchy layers. In *2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). September 6-9, 2016 Berlin, Germany*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Roth, A., Siepmann, D., Merz, S. L., Schindler, M., Augustine, S., Bochmann, L. S. et al. (2016). *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis*. Berlin: Springer Gabler.
- Sakurada, L., Leitao, P. & La Prieta, F. D. (2022). Agent-Based Asset Administration Shell Approach for Digitizing Industrial Assets. *14th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2022*, 55 (2), 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.192>
- Scholer, M. (2018). *Wandlungsfähige und angepasste Automation in der Automobilmontage mittels durchgängigem modularem Engineering. Am Beispiel der Mensch-Roboter-Kooperation in der Unterbodenmontage*. Dissertation. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.

- Schuh, G. (2012). *Innovationsmanagement. Handbuch Produktion und Management 3* (VDI-Buch, 2., vollst. neu bearb. und erw. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25050-7>
- Schuh, G., Zeller, V. & Stich, V. (2022). *Digitalisierungs- und Informationsmanagement. Handbuch Produktion und Management 9* (Handbuch Produktion und Management, Bd. 9). Berlin, Germany: Springer Vieweg.
- Schweigert-Recksiek, S., Trauer, J., Engel, C., Spreitzer, K. & Zimmermann, M. (2020). CONCEPTION OF A DIGITAL TWIN IN MECHANICAL ENGINEERING – A CASE STUDY IN TECHNICAL PRODUCT DEVELOPMENT. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, 1*, 383–392. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.23>
- Seif, A., Toro, C. & Akhtar, H. (2019). Implementing Industry 4.0 Asset Administrative Shells in Mini Factories. *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 23rd International Conference KES2019, 159*, 495–504. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.204>
- Sheikh, Z. A., Singh, Y., Singh, P. K. & Ghafoor, K. Z. (2022). Intelligent and secure framework for critical infrastructure (CPS). Current trends, challenges, and future scope. *Computer Communications, 193*, 302–331. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.07.007>
- Siewert, J. L., Vogt, O., Wolf, M., Gerhard, D. & Bükrü, F. S. (2023). Implementation of the Asset Administration Shell Concept to Industrial Augmented Reality Applications. In N. M. Durakbaşa & M. G. Gençyılmaz (Hrsg.), *Towards industry 5.0. Selected papers from ISPR2022, October 06-08, 2022 Antalya* (Lecture notes in mechanical engineering ). Cham: Springer.
- Sølvberg, E., Øien, C. D., Dransfeld, S., Eleftheriadis, R. J. & Myklebust, O. (2020). Analysis-oriented structure for runtime data in Industry 4.0 asset administration shells. *30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021), 51*, 1106–1110. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.155>
- Sprenger, P. (2021). *Prozesse bei der strukturierenden Mengenwahrnehmung und strukturnutzenden Anzahlbestimmung von Kindern im Elementarbereich. Eine Eye-Tracking Studie* (1. Auflage 2021). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Standardization Council Industrie 4.0 (2023). *Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0. Version 5* (5. Aufl.) (Deutsches Institut für Normung & DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, Hrsg.). Zugriff am 21.05.2024. Verfügbar unter <https://www.dke.de/resource/blob/2244320/7954fb1eaf7265134b94f58e9fc919ff/deutsche-normungs-roadmap-industrie-4-0-version-5-data.pdf>
- Standardization Council Industrie 4.0, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik in DIN & VDE (2018). *Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing System Architecture*.

- Sino-German Industrie 4.0/Intelligent Manufacturing Standardisation Sub-Working Group* (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Hrsg.).
- Stuhde, S. & Panagos, G. (2023). *Müssen agile Transformationen scheitern? Validiertes Lernen als Merkmal einer erfolgreichen Agilisierung* (1. Auflage 2023). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tantik, E. & Anderl, R. (2017). Integrated Data Model and Structure for the Asset Administration Shell in Industrie 4.0. *53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020*, 60, 86–91. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.048>
- Teiwes, H. (2021). *Systematische Steigerung der Energieeffizienz im Karosseriebau* (AutoUni - Schriftenreihe, Bd. 150). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg.
- Ulrich, H., Dyllick, T. & Probst, G. J. B. (1984). *Management*. Hrsg. von Thomas Dyllick u. Gilbert J. B. Probst ((Schriftenreihe Unternehmung und Unternehmungsführung, 13)). Bern & Stuttgart: Haupt.
- University 4 Industry (2022). *Introduction to the Secure Retrieval of CAE Data*.
- Unverdorben, S. (2021). *Architecture Framework Concept for Definition of System Architectures based on Reference Architectures within the Domain Manufacturing*. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.
- Valarini, E. & Elias, F. (2022). Scrum in der Lehre: Von Praxen und Projekten. Berichte aus der soziologischen Praxis. In C. Onnen, R. Stein-Redent, B. Blättel-Mink, T. Noack, M. Opielka & K. Späte (Hrsg.), *Organisationen in Zeiten der Digitalisierung* (Sozialwissenschaften und Berufspraxis, 1st ed. 2022). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer VS.
- Van Erp, T., Pedersen, F. B., Larsen, N. P. L. & Lund, R. B. (2023). Industrial Digital Twin in Industry 4.0: Enabling Service Exchange Between Assets in Manufacturing Systems. In H. Kohl, G. Seliger & F. Dietrich (Hrsg.), *Manufacturing Driving Circular Economy. Proceedings of the 18th Global Conference on Sustainable Manufacturing, October 5-7, 2022, Berlin*. [S.I.]: SPRINGER INTERNATIONAL PU.
- VDI 4499 (2008). *Digitale Fabrik - Grundlagen*: Beuth Verlag GmbH.
- VDI/VDE 3695 (2010). *Engineering von Anlagen; Evaluieren und optimieren des Engineerings*.: Beuth Verlag GmbH.
- VDI 2221 (2019). *Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Modell der Produktentwicklung*: Beuth Verlag GmbH.
- VDI/VDE 3695 (2020). *Engineering von Anlagen Evaluieren und optimieren des Engineerings Grundlagen und Vorgehensweise*.
- VDI 2770 (2020). *Mindestanforderungen an digitale Herstellerinformationen für die Prozessindustrie*: Beuth Verlag GmbH.

- VDI/VDE 2206 (2021). *Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme*.
- Weber, C., Wieland, M. & Reimann, P. (2018). Konzepte zur Datenverarbeitung in Referenzarchitekturen für Industrie 4.0 Konsequenzen bei der Umsetzung einer IT-Architektur. *Datenbank-Spektrum* (1).
- Weber, H. (2021). *Data Engineering 4.0. Kompositionale Informationsmodelle für industrielle Anwendungen*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Weidemann, U. (2017). *Montagecluster zur Strukturierung der Fahrzeugendmontage – Eine Methode zur frühzeitigen Planung und Auslegung von Endmontagelinien*. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Wenger, M., Zoitl, A. & Müller, T. (Hrsg.). (2018). *Connecting PLCs With Their Asset Administration Shell For Automatic Device Configuration*. 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN).
- Werner, J. (2009). *Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie* (Forschungsberichte IWB, Bd. 225). Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2008. München: Utz.
- Westkämper, E. & Decker, M. (2006). *Einführung in die Organisation der Produktion* (Springer-Lehrbuch). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-30764-8>
- Winkler, D., Novák, P., Meixner, K., Vyskočil, J., Rinker, F. & Biffel, S. (Hrsg.). (2021). *Product-Process-Resource Asset Networks as Foundation for Improving CPPS Engineering*. 2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA ).
- Wollert, J. (2018). Industrie 4.0 – warten bis die Revolution vorbei ist? Ängste und Chance rund um Industrie 4.0. In J. Jasperneite & V. Lohweg (Hrsg.), *Kommunikation und Bildverarbeitung in der Automation. Ausgewählte Beiträge der Jahreskolloquien KomMA und BVAu 2016 zum 10jährigen Jubiläum des inIT - Institut für industrielle Informationstechnik* (Technologien für die intelligente Automation, Band 7, Bd. 7, S. 177–186). Berlin: Springer Vieweg.
- Wünsche, M. (2007). *BWL für IT-Berufe. Ein praxisorientierter Leitfaden für kaufmännische Berufsfelder* (IT erfolgreich lernen, 1. Aufl.). Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag.
- Ye, X., Hong, S. H., Song, W. S., Kim, Y. C. & Zhang, X. (2021). An Industry 4.0 Asset Administration Shell-Enabled Digital Solution for Robot-Based Manufacturing Systems. *IEEE Access*, 9, 154448–154459. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128580>
- Zezulka, F., Jirsa, J., Venkrbec, L., Marcon, P., Benesl, T., Kaczmarczyk, V. et al. (2022). The Ideas of Industry 4.0. Seven Years After. *14th IFAC Workshop on Intelligent*

---

*Manufacturing Systems IMS* 2022, 55 (4), 145–150.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.06.024>

## 10 Anhang

Anhang A: Experteninterview Leitfaden

Anhang B: Metamodell Asset Administration Shell

Anhang C: Metamodell Human Administration Shell

Anhang D: Metamodell Product Administration Shell

Anhang E: Metamodell Process Administration Shell

Anhang F: Package Explorer Umsetzung AAS

Anhang G: Package Explorer Umsetzung HAS

Anhang H: Package Explorer Umsetzung PtAS

Anhang I: Package Explorer Umsetzung PcAS

Anhang J: Verschwendungsarten

Anhang K: Auswertung Chancen und Risiken der Verwaltungsschale

Anhang L: Submodelle laut IDTA (Stand 23.05.2024)

Anhang M: Interviewleitfaden Anwendungsfälle Pilotanlage

## **Anhang A: Experteninterview Leitfaden**

### **Experteninterview – Daten im Anlagenengineering**

#### **Erläuterung**

Sie erklären sich dazu bereit, im Rahmen des Dissertationsprojektes „Modularisiertes und standardisiertes Vorgehen in der Auslegung von Montageanlagen hinsichtlich der Maschinendatennutzung auf Basis des digitalen Zwillings“ von Robert Werner an einem Interview teilzunehmen. Sie wurden über Art, Umfang und Ziel sowie den Verlauf des o. g. Forschungsvorhabens informiert.

Das Interview wird mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und sodann in Schriftform gebracht.

Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interviewtextes werden alle Angaben, die zu einer Identifizierung Ihrer Person oder von im Interview erwähnten Personen und Institutionen führen könnten, anonymisiert. Das Transkript des Interviews dient nur zu Analyse Zwecken und wird lediglich in Ausschnitten zitiert.

Ihre personenbezogenen Kontaktdaten werden von Interviewdaten getrennt für Dritte unzugänglich gespeichert und vertraulich behandelt.

#### **Einverständnis**

Sie sind damit einverstanden, im Kontext des o. g. Forschungsvorhabens an der Befragung teilzunehmen. Darüber hinaus akzeptieren Sie die o. g. Form der anonymen Weiterverarbeitung und wissenschaftlichen Verwertung des geführten Interviews und der daraus entstehenden Daten.

Ihre Teilnahme an der Erhebung und Ihre Zustimmung zur Verwendung der Daten sind freiwillig. Durch die Ablehnung entstehen Ihnen keine Nachteile. Ihnen ist bekannt, dass Sie diese Einwilligung jederzeit gegenüber dem Interviewer widerrufen können mit der Folge, dass die Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten, nach Maßgabe der Widerrufserklärung, für die Zukunft unzulässig wird. Dies berührt die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung jedoch nicht.

Unter diesen Bedingungen erklären Sie sich bereit, das Interview zu geben und sind damit einverstanden, dass es aufgezeichnet, verschriftlicht, anonymisiert und ausgewertet wird.

---

Vorname, Nachname in Druckschrift

---

Ort, Datum / Unterschrift

## **Einleitung**

Meine Dissertation soll sich mit der Standardisierung der Datenlandschaft von Montageanlagen befassen.

In einem ersten Teil schaue ich auf bestehende Standards und Referenzstrukturen bezüglich Daten von Produktionsanlagen. Mit diesem Leitfadeninterview möchte ich die Datenlage in der Engineering Phase von Montageanlagen untersuchen und einen möglichen Handlungsbedarf in der Praxis aufzeigen. Parallel werde ich eine Literaturrecherche zu dem Thema durchführen, um einen Handlungsbedarf in der Theorie aufzuzeigen.

In diesem Termin werden Sie als Experte durch ein Leitfadeninterview geführt. In ca. 60 min werde ich als Interviewer durch den Leitfaden navigieren und ihre Aussagen transkribieren. Nach einer ersten Einführung soll keine weitere inhaltliche Beeinflussung seitens des Interviewers erfolgen.

*Der Betrachtungsrahmen, der mit diesem Interview abgedeckt werden soll, umfasst die erzeugten und benötigten Daten einer Montageanlage in der Konstruktionsphase sowie der Nutzungsphase.*

*Zur Abgrenzung welche Daten relevant sind:*

- *Alle Daten, die konkret der Anlage zugeordnet sind*
- *Alle Daten, die nach einer beispielsweise 5-jähriger Nutzung der Anlage benötigt werden, um sämtliche Fragestellungen zu der Anlage beantworten zu können*

*Daten einer Anlage entstehen während des gesamten Entwicklungsprozesses sowie in der Nutzungsphase. Diese Daten können von uns als OEM erzeugt werden, vom Anlagenlieferanten mitgeliefert werden oder vom Komponentenlieferanten bereitgestellt werden.*

In der anschließenden Auswertung sollen Potentiale der Datenlandschaft einer Montageanlage aufgezeigt werden.

### Leitfaden

Datenerzeuger	Konstruktionsphase	Inbetriebnahme/Übergabe	Nutzungsphase	End of Produktion
Lieferant (Anlagen-, Komponentenlieferant)	Frage 1	Frage 3	Frage 5	Frage 7
VW (Markenplanung, Serienplanung, Betreiber,...)	Frage 2	Frage 4	Frage 6	Frage 7

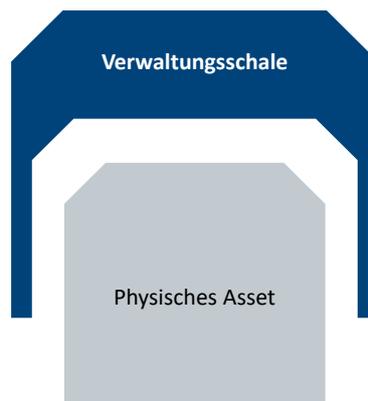
1. Welche Daten erhalten Sie vom Lieferanten während der Konstruktionsphase und in welchen Formaten liegen sie vor?
  - a. Welche der Daten sind nur für die Planung relevant? Welche Daten sind für den Betreiber relevant?
  
2. Welche Daten erzeugen Sie in der Konstruktionsphase und in welchen Formaten liegen sie vor?
  - a. Welche der Daten sind nur für die Planung relevant? Welche Daten sind für den Betreiber relevant?
  
3. Welche Daten erhalten Sie vom Anlagenlieferanten mit Inbetriebnahme und Übergabe der Anlage und in welchen Formaten liegen sie vor?
  - a. Welche der Daten sind nur für die Planung relevant? Welche Daten sind für den Betreiber relevant?
  
4. Welche Daten erzeugen Sie mit Inbetriebnahme und Übergabe der Anlage und in welchen Formaten liegen sie vor?
  - a. Welche der Daten sind nur für die Planung relevant? Welche Daten sind für den Betreiber relevant?
  
5. Welche Daten erzeugen Sie bei Betrieb der Anlage und in welchen Formaten liegen sie vor?

6. Welche Daten erhalten Sie vom Lieferanten bei Betrieb der Anlage und in welchen Formaten liegen sie vor?
7. Welche Gedanken machen Sie sich zum End of Production der Anlage?  
Werden bereits Daten zum Recycling, Weiterverwendung der Anlage abgelegt?

In einem zweiten Teil meiner Doktorarbeit, soll die Asset Administration Shell (AAS) als Lösung des Handlungsbedarfes betrachtet werden. Sie wird laut Industrial Digital Twin Association (IDTA) bezeichnet als die Realisierung des digitalen Zwillings in der Produktion. Die AAS bietet ein Metadatenmodell, welches Daten bezüglich eines Assets (Produktionsanlage) eindeutig beschreibt und zugänglich macht. Hierbei sprechen wir von einem Industriestandard, der das Asset von der Entwicklung einer Komponente beim jeweiligen Lieferanten, über die Systemintegration beim Anlagenlieferanten bis zum Betreiber der Anlage begleitet. Die Daten werden zentral in einem repository gespeichert (bzw. verlinkt) und mittels einer registry eindeutig zugänglich gemacht.

Eigenschaften der AAS:

- Zusammensetzung aus verschiedenen Teilmodellen
- Einfache Kommunikation durch herstellerübergreifende branchenneutrale Standards
- Einfaches Datenmanagement für alle Gerätearten
- Begleitung des gesamten Lebenszyklus



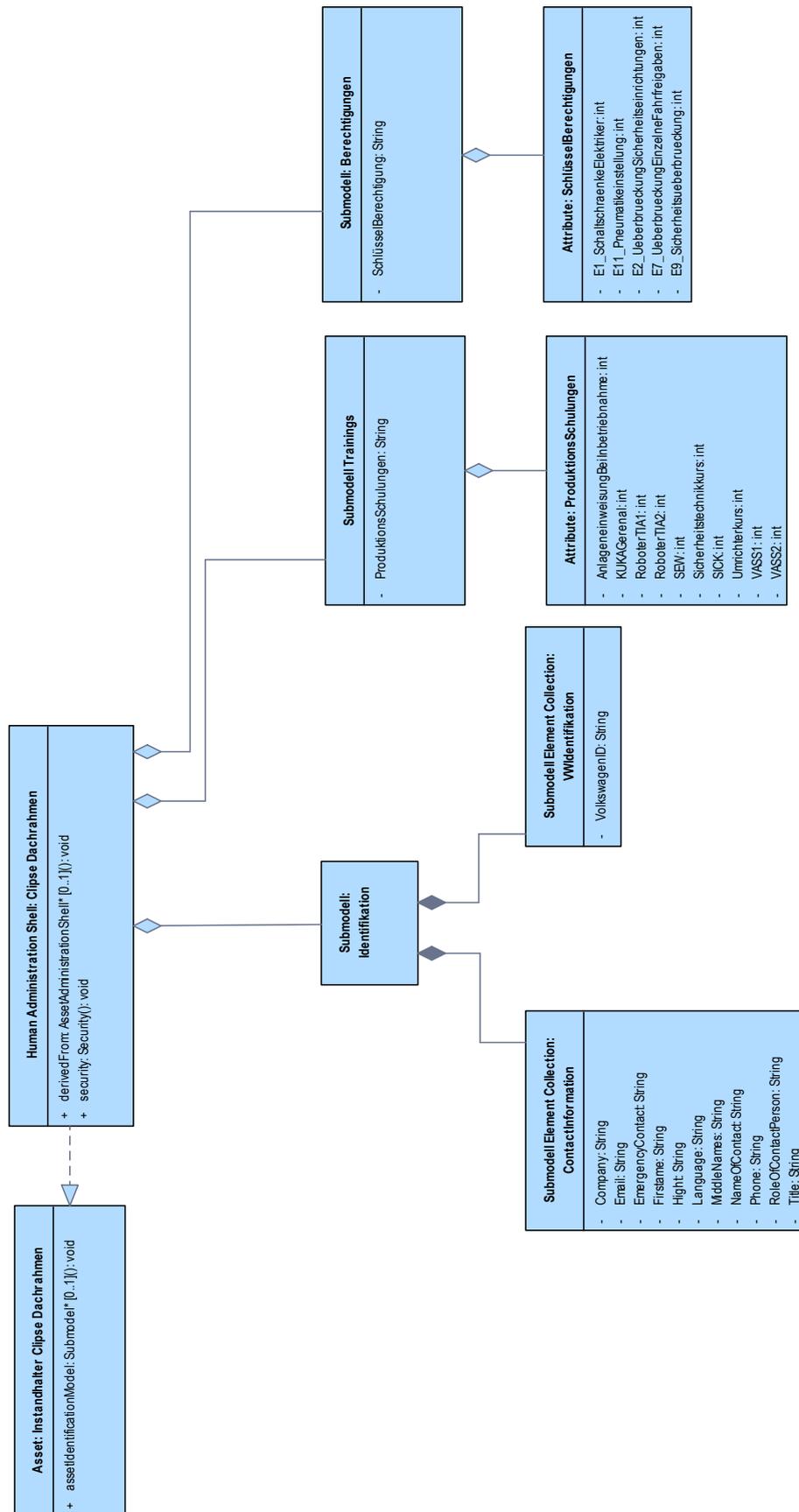
Das heißt es handelt sich um einen Standard, der weit über einen VASS Standard hinaus geht. Betrachtet man eine Halle in der alle Anlagen mit einer Verwaltungsschale ausgestattet sind, so kann jede Anlage eindeutig identifiziert werden, und Fragestellungen zu den Anlagen können zentral gelöst werden. Sollen konkrete Daten zu einer Anlage erhoben werden, so stellt sich nicht mehr die Frage, wie die Daten

abgegriffen werden können, bzw. wo diese liegen. In der registry können die Daten herausgesucht werden und über das repository darauf zugegriffen werden.

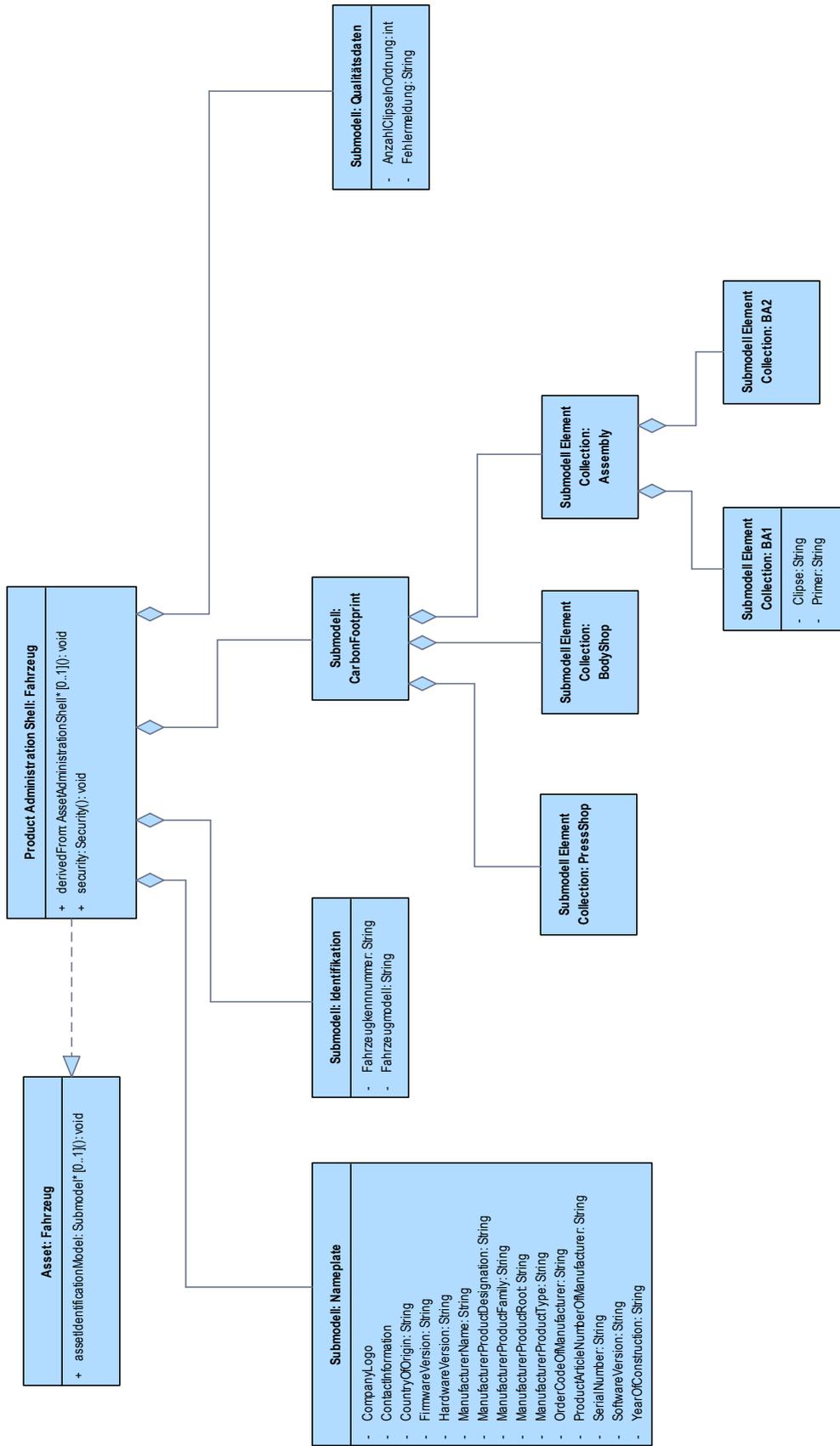
8. Welche Chancen sehen Sie durch einen Industriestandard wie der Asset Administration Shell?
  
9. Welche Risiken / Probleme / Hürden sehen Sie bei einem Industriestandard wie der Asset Administration Shell?



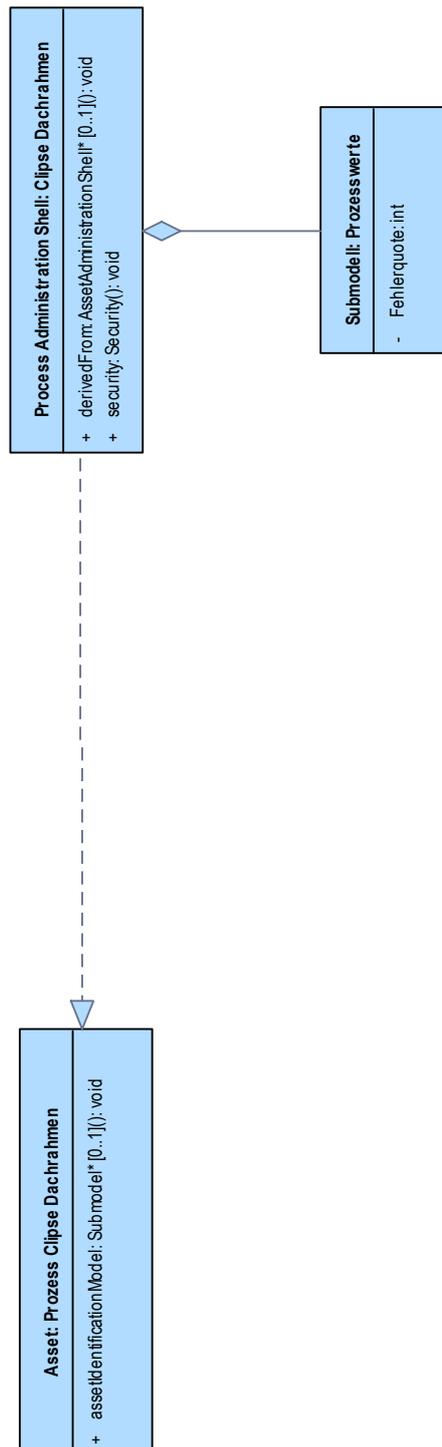
Anhang C: Metamodell Human Administration Shell



Anhang D: Metamodell Product Administration Shell



## Anhang E: Metamodell Process Administration Shell



## Anhang F: Package Explorer Umsetzung AAS

The screenshot displays the Package Explorer for an AAS (Asset Administration Shell) implementation. The left pane shows a graphical representation of the AAS structure, including a 'Submodel' and two 'Submodel element' boxes, with a URL: `https://example.com/ids/asset/0102_8070_8032_0402`.

The right pane shows the detailed implementation of the AAS, organized into submodels (SM) and submodel classes (SMC). The structure is as follows:

- AAS "AASClipseDachrahmen\_EMD"** [IRI, AssetAdministrationShell---002FAD30] of [IRI, https://example.com/ids/asset/0102\_8070\_8032\_0402]
  - SM "Nameplate"** [IRI, www.example.com/ids/sm/1225\_9020\_5022\_1974]
    - MLP "ManufacturerName" -> Sturm Gruppe @(Multiplicity=One)
    - MLP "ManufacturerProductDesignation" -> Dachrahmen Clipse @(Multiplicity=One)
    - SMC "ContactInformation" (17 elements) @(Multiplicity=One)
      - MLP "ManufacturerProductRoot" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - MLP "ManufacturerProductFamily" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - MLP "ManufacturerProductType" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - MLP "OrderCodeOfManufacturer" -> 9530447 @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - MLP "ProductArticleNumberOfManufacturer" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - Prop "SerialNumber" = 15-96D319688 @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - Prop "YearOfConstruction" = 2021 @(Multiplicity=One)
      - MLP "HardwareVersion" -> 1.0.0 @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - MLP "FirmwareVersion" -> 1.0 @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - MLP "SoftwareVersion" -> 1.0.0 @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - Prop "CountryOfOrigin" = DE @(Multiplicity=ZeroToOne)
      - File "CompanyLogo" -> /aasx/files/364806319\_749740883825199\_3220504575955115688\_n.jpg @(Multiplicity=ZeroToOne)
    - SMC "Markings" (1 elements) @(Multiplicity=ZeroToOne)
    - SMC "AssetSpecificProperties" (2 elements) @(Multiplicity=ZeroToOne)
  - SM "VWIdentifikation"** [IRI, https://example.com/ids/sm/5254\_7010\_1132\_6731]
    - Prop "ProfinetName"
    - Prop "E-Plan/VASSName"
    - Prop "BEMINummer"
  - SM "HandoverDocumentation" V1.2** [IRI, https://admin-shell.io/IDTA02004-1-2]
    - Prop "numberOfDocuments" = 10 @(Relevance=optional)
    - SMC "Bedienungsanleitung kurz" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
      - SMC <T> "DocumentId" (3 elements) @(Cardinality=OneToMany)
      - SMC <T> "DocumentClassification" (3 elements) @(Cardinality=OneToMany)
      - SMC <T> "DocumentVersion" (15 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
      - Ref <T> "DocumentedEntity" -> [, not Local, , ] @(Cardinality=ZeroToMany)
      - File "File" -> /aasx/files/Kapitel\_0\_Bedienungsanleitung.docx
    - SMC "Anlagenbeschreibung" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Sicherheitsbestimmungen" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Sicherheitseinrichtungen" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Inbetriebnahme" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Betriebsanleitung" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Wartung" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Störungen" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Konformitätserklärung" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Risikobeurteilung" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Ersatzteilliste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Stückliste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - Ent "Entity" @(Cardinality=ZeroToMany)
  - SM "Maintenance"** [IRI, https://example.com/ids/sm/0412\_7013\_0132\_9473]
    - SMC "Wartung" (1 elements)
    - SMC "Instandhaltung" (1 elements)
    - Prop "Ersatzteilliste-LinkDokumentation"
  - SM "EnergyMonitoring"** [IRI, https://example.com/ids/sm/9562\_7013\_0132\_3079]
    - Prop "Energiedaten-Submodell"
  - SM "PlanningData"** [IRI, https://example.com/ids/sm/5255\_8010\_1132\_7417]
    - SMC "Layout" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Konstruktionsdaten" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Prozessbeschreibung" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Prozesszeitendiagramm" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Elektronik Pläne" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Pneumatik Pläne" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "FMEA" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Bilder" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Stückliste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
    - SMC "Hardware Liste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)

https://example.com/ids/asset/0102\_8070\_8032\_0402

- SMC "Stückliste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Hardware Liste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Medienanschlüsse" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Besprechungsprotokolle" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Dokumentengesamtlste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Strukturdaten" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Erprobungsdaten" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Freigabeliste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Projektunterlagen" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "PDMBlätter" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "LessonsLearned" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Abnahmeprotokoll" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Mängelliste" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Berichtswesen" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "SicherheitstechnischeFreigabe" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Vorabnahme" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SMC "Endabnahme" (5 elements) @(Cardinality=ZeroToMany)
- SM "Provision of 3D Models" [IRI, https://example.com/ids/sm/2063\_8030\_4042\_4745]
- SM "Spare parts and consumables lists" [IRI, https://example.com/ids/sm/5363\_8030\_4042\_5279]
- SM "Planning data for operators and maintenance" [IRI, https://example.com/ids/sm/4073\_8030\_4042\_4058]

### Anhang G: Package Explorer Umsetzung HAS (anonymisierte Daten)

AssetAdministrationShell---002FAD30

**Submodel**

Submodel element

Submodel element

https://example.com/ids/asset/0102\_8070\_8032\_0402

- AS "AASAnlagenführer\_ClipseDachrahmen" [IRI, AssetAdministrationShell---002FAD30] of [IRI, https://example.com/ids/as/...]
- SM "ContactInformations" [IRI, https://example.com/ids/sm/1231\_6162\_1022\_9579]
  - SMC "ContactInformation" (23 elements) @({Multiplicity=OneToMany})
    - Prop <T> "RoleOfContactPerson" = 0173-1#07-AAS931#001 @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - MLP <T> "NationalCode" -> DE @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - Prop <T> "Language" = de @({Multiplicity=ZeroToMany})
    - Prop <T> "TimeZone" = Z @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - MLP <T> "CityTown" -> Wolfsburg @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - MLP <T> "Company" -> VolkswagenAG @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - MLP <T> "Department" -> PWG-1/2 @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - SMC <T> "Phone" (3 elements) @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - SMC <T> "Fax" (2 elements) @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - SMC <T> "Email" (4 elements) @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - SMC <T> "IPCommunication(00)" (3 elements) @({Multiplicity=ZeroToMany})
      - MLP <T> "Street" -> Berliner Ring 2 @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "Zipcode" -> 38440 @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "POBox" -> @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "ZipCodeOfPOBox" -> @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "StateCounty" -> Niedersachsen @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "NameOfContact" -> Mustermann @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "FirstName" -> Max @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "MiddleNames" -> @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "Title" -> @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "AcademicTitle" -> @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - MLP <T> "FurtherDetailsOfContact" -> @({Multiplicity=ZeroToOne})
      - Prop <T> "AddressOfAdditionalLink" @({Multiplicity=ZeroToOne})
    - SMC "VolkswagenID" (1 elements)
      - Prop "UserID" = ZUD3KL
  - SM "Trainings" [IRI, https://example.com/ids/sm/6022\_8013\_0132\_8349]
  - SM "Permissions" [IRI, https://example.com/ids/sm/0322\_8013\_0132\_9548]

AssetAdministrationShell---002FAD30

Submodel

Submodel element

Submodel element

https://example.com/ids/asset/0102\_8070\_8032\_0402

```

MLP <T> "Zipcode" -> 38440 @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "POBox" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "ZipCodeOfPOBox" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "StateCounty" -> Niedersachsen @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "NameOfContact" -> Mustermann @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "FirstName" -> Max @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "MiddleNames" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "Title" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "AcademicTitle" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP <T> "FurtherDetailsOfContact" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
Prop <T> "AddressOfAdditionalLink" @(Multiplicity=ZeroToOne)
SMC "VolkswagenID" (1 elements)
Prop "UserID" = ZUD3KL
SM "Trainings" [IRI, https://example.com/ids/sm/6022_8013_0132_8349]
Prop "Anlageneinweisung bei Inbetriebnahme" = ja
Prop "RobotTIA1" = ja
Prop "RoboterTIA2" = ja
Prop "KUKAGeneral" = ja
Prop "VASS1" = ja
Prop "VASS2" = ja
Prop "Umrickerkurs" = ja
Prop "Sicherheitstechnikkurs" = ja
Prop "SEW" = nein
Prop "SICK" = nein
SM "Permissions" [IRI, https://example.com/ids/sm/0322_8013_0132_9548]
Prop "E1_SchaltstraenkeElektriker" = ja
Prop "E2_UeberbrueckungSicherheitseinrichtungen" = ja
Prop "E7_UeberbrueckungEinzelneFahrerfreigaben" = ja
Prop "E9_Sicherheitsueberbrueckung" = ja
Prop "E11_Pneumatikeinstellung" = ja
                
```

## Anhang H: Package Explorer Umsetzung PtAS

AssetAdministrationShell---002FAD30

Submodel

Submodel element

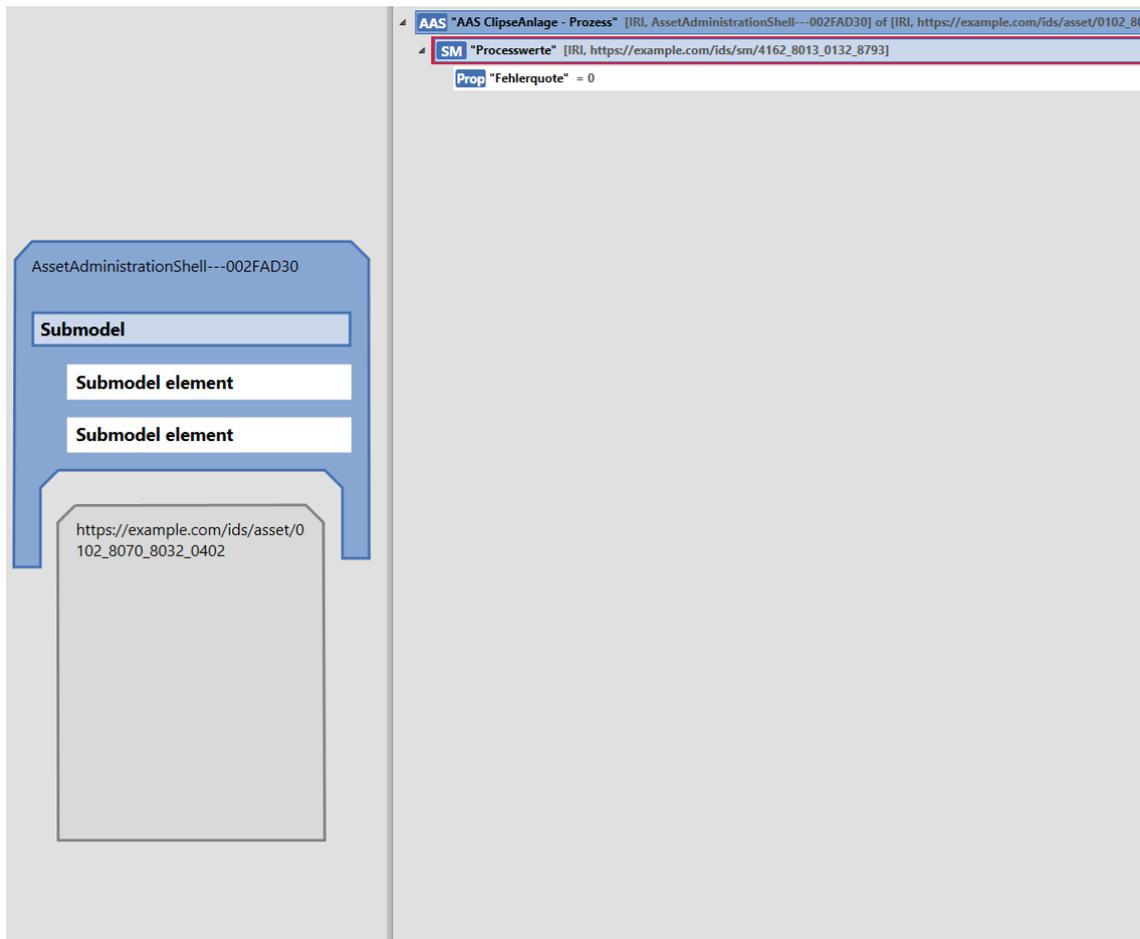
Submodel element

https://example.com/ids/asset/0102\_8070\_8032\_0402

```

AAS "AASFahrzeug_PAKXCHVZTUALD" [IRI, AssetAdministrationShell---002FAD30] of [IRI, https://example.com/ids/asset/0102_8070_8032_0402, Instance]
SM "Nameplate" [IRI, www.example.com/ids/sm/1225_9020_5022_1974]
MLP "ManufacturerName" -> Volkswagen @(Multiplicity=One)
MLP "ManufacturerProductDesignation" -> Fahrzeug @(Multiplicity=One)
SMC "ContactInformation" (17 elements) @(Multiplicity=One)
MLP "ManufacturerProductRoot" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP "ManufacturerProductFamily" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP "ManufacturerProductType" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP "OrderCodeOfManufacturer" -> @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP "ProductArticleNumberOfManufacturer" -> // @(Multiplicity=ZeroToOne)
Prop "SerialNumber" = ALSFKHEU87eHEL @(Multiplicity=ZeroToOne)
Prop "YearOfConstruction" = 2023 @(Multiplicity=One)
MLP "HardwareVersion" -> 1.0.0 @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP "FirmwareVersion" -> 1.0 @(Multiplicity=ZeroToOne)
MLP "SoftwareVersion" -> 1.0.0 @(Multiplicity=ZeroToOne)
Prop "CountryOfOrigin" = DE @(Multiplicity=ZeroToOne)
File "CompanyLogo" -> /aass/files/364806319_749740883825199_3220504575955115688_n.jpg @(Multiplicity=ZeroToOne)
SMC "Markings" (1 elements) @(Multiplicity=ZeroToOne)
SMC "AssetSpecificProperties" (2 elements) @(Multiplicity=ZeroToOne)
SM "Identifikation" [IRI, https://example.com/ids/sm/9142_8013_0132_5953]
Prop "Fahrzeugkennnummer" = KLEU45
Prop "Modell" = VW276
SM "CarbonFootprint" [IRI, https://example.com/ids/sm/0252_8013_0132_4966]
SMC <T> "PressShop" (0 elements)
SMC <T> "BodyShop" (0 elements)
SMC <T> "PaintShop" (0 elements)
SMC <T> "Assembly" (8 elements)
SMC <T> "Logistics" (0 elements)
SMC <T> "Others" (0 elements)
SM "Qualitätsdaten" [IRI, https://example.com/ids/sm/1045_9010_1132_2584]
Prop "AnzahlClipselnOrdnung" = 13
Prop "Fehlermeldung" = /
                
```

## Anhang I: Package Explorer Umsetzung PcAS



## **Anhang J: Verschwendungsarten**

### W1 Fehl-Information

Verschwendung kann sich in der Quantität (zu viele Daten, zu wenig Daten), aber auch in qualitativ unzureichenden Daten oder Informationen für den spezifischen Zweck oder einer beliebigen Kombination davon sowie im Prozess der Datenerhebung zeigen. Eine nicht an den Bedürfnissen des Kunden orientierte Datenauswahl löst alle anderen Arten von Verschwendung aus.

### W2 Wartezeit und Suche

Das Warten auf Daten, Informationen, Prozesse, Entscheidungen, Softwaretools, Geräte oder Kollegen und der Suchaufwand sind Verschwendung.

### W3 Daten- und Informationstransfer

Der Datentransfer beinhaltet den Austausch von Daten zwischen einer oder mehreren Datenquellen und -senken und ist nicht wertschöpfend. Fehlinformationen oder Fehler können durch die Art der Datenübertragung (manuell oder automatisiert) oder die Konvertierung der Daten entstehen.

### W4 Unstimmigkeiten im Arbeitsablauf

Ein Arbeitsablauf basiert auf einer chronologischen Abfolge verschiedener Aktivitäten. Wenn diese Abläufe unklar oder schwierig zu handhaben sind, kann es zu Verschwendung kommen.

### W5 Bestandsaufnahme und Rückstände

Datensätze, die nicht in einem bestimmten Zusammenhang oder für einen bestimmten (Analyse-) Zweck gesammelt und gespeichert werden, sind Verschwendung. Bei der Verarbeitung von Daten und Informationen entsteht Verschwendung durch nicht oder unvollständig geleistete Arbeit.

### W6 Überbearbeitung

Eine Tätigkeit, die keine Wertschöpfung für den Kunden beinhaltet, gilt als Verschwendung.

### W7 Fehler und Nacharbeit

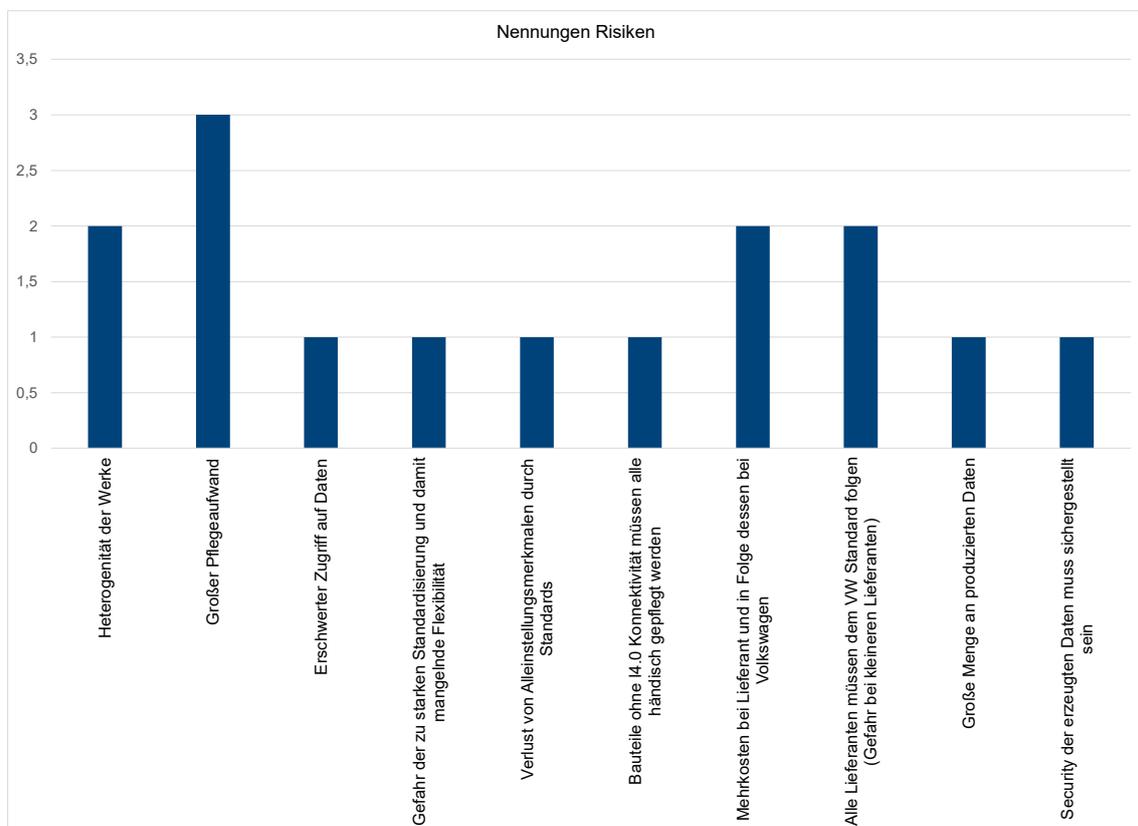
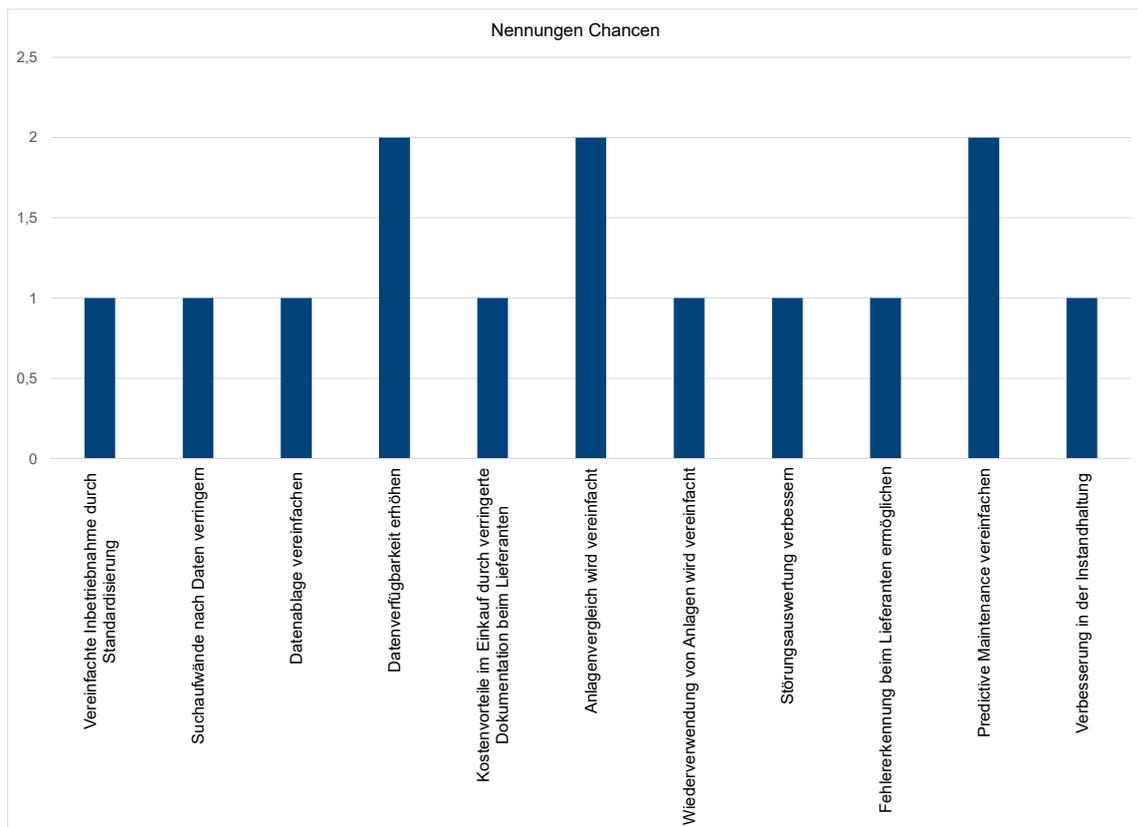
Die Erstellung und Verwendung falscher Daten und Informationen oder Fehlinterpretationen führen zu falschen Ergebnissen, die durch den Einsatz zusätzlicher Ressourcen korrigiert werden müssen.

### W8 Fähigkeiten und Potenzial

Nichtnutzung von Talenten sowie mangelnde Führung oder Qualifikation werden als Verschwendung angesehen. Im übertragenen Sinne stellt auch das ungenutzte

Potenzial von Daten und Informationen Verschwendung dar.

## Anhang K: Auswertung Chancen und Risiken der Verwaltungsschale



**Anhang L: Submodelle laut IDTA (Stand 07.08.2024)**

Submodel Template	IDTA Number	Version	Status
Inclusion of Module Type Package (MTP) Data into Asset Administration Shell	2001	1.0	Veröffentlicht
Contact Information	2002	1.0	Veröffentlicht
Generic Frame for Technical Data for Industrial Equipment in Manufacturing	2003	1.2	In Entwicklung
Generic Frame for Technical Data for Industrial Equipment in Manufacturing	extern	1.1	Veröffentlicht
Handover Documentation	2004	1.2	Veröffentlicht
Provision of Simulation Models	2005	1.0	Veröffentlicht
Digital Nameplate for Industrial Equipment	2006	2.0	In Entwicklung
Digital Nameplate for Industrial Equipment	extern	1.0	Veröffentlicht
Nameplate for Software in Manufacturing	2007	1.0	Veröffentlicht
Time Series Data	2008	1.1	Veröffentlicht
OPC UA Server Data Sheet	2009	1.0	In Entwicklung
Service Request Notification	2010	1.0	Veröffentlicht
Hierarchical Structures enabling Bills of Material	2011	1.0	Veröffentlicht
Information Model for P&I Diagrams based on DEXPI Standard	2012	1.0	Veröffentlicht
Reliability	2013	1.0	Veröffentlicht
Functional Safety	2014	1.0	Veröffentlicht
Control Component Type	2015	1.0	Veröffentlicht
Control Component Instance	2016	1.0	Veröffentlicht
Asset Interfaces Description	2017	1.0	Veröffentlicht
Maintenance	2018	1.0	In Entwicklung
Plant Asset Management	2019	1.0	In Entwicklung
Capability Description	2020	1.0	In Entwicklung
Sizing of power drive trains	2021	1.0	Veröffentlicht
Wireless Communication	2022	1.0	Veröffentlicht
Carbon Footprint	2023	0.9	Veröffentlicht
Material Integration	2024	1.0	In Entwicklung
Batch Process	2025	1.0	In der Warteschleife
Provision of 3D Models	2026	1.0	Veröffentlicht
Asset Interfaces Mapping Configuration	2027	1.0	Veröffentlicht

Submodel Template	IDTA Number	Version	Status
Security Engineering	2028	1.0	In Entwicklung
Sensor 4.0	2029	1.0	In Entwicklung
Production of the wiring harness	2031	1.0	In Entwicklung
Inspection Documents of Steel Products	2032	1.0	In Entwicklung
Metal 3D Printing Machine	2033	1.0	In Entwicklung
Creation and classification of materials in an ERP, PDM/PLM and PIM system	2034	1.0	Veröffentlicht
Battery Data Template	2035	1.0	In Entwicklung
Product Change Notifications for Industrial product types and items in manufacturing	2036	1.0	In Entwicklung
Automation Engineering	2037	1.0	In Entwicklung
Plastics & Rubber Moulds	2038	1.0	In Entwicklung
Handover information for engineering authoring systems	2039	1.0	Vorschlag eingereicht
Spare parts and consumables lists	2040	1.0	Vorschlag eingereicht
Replacement and successor product	2041	1.0	Vorschlag eingereicht
Software Bill of Materials	2042	1.0	In Entwicklung
Vulnerability Management	2043	1.0	In Entwicklung
Technical Data for Injection Molding	2044	1.0	In Entwicklung
Data Model for Asset Location	2045	1.0	Veröffentlicht
Workstation Matching Data	2046	1.0	Veröffentlicht
Technical Data for Automated Guided Vehicles in Intralogistics	2047	1.0	In Überprüfung
Predictive Maintenance	2048	1.0	In Entwicklung
Quality Control for Machining	2049	1.0	In Entwicklung
Purchase Order Creation	2050	1.0	In Entwicklung
Purchase Request Notification	2051	1.0	In Entwicklung
Purchase Request Response	2052	1.0	In Entwicklung
Control configuration and parametrization for NC/CNC machines	2053	1.0	In Entwicklung
Semiconductor Datasheet	2055	1.0	In Entwicklung
Data Retention Policies	2056	1.0	Veröffentlicht
Explosion Safety	2057	1.0	In Entwicklung
Artificial Intelligence Dataset	2058	1.0	In Entwicklung

Submodel Template	IDTA Number	Version	Status
Artificial Intelligence Deployment	2059	1.0	In Entwicklung
Artificial Intelligence Model Nameplate	2060	1.0	In Entwicklung
Technical Data for Fiber Optic Microduct Cabling for Broadband Expansion	2061	1.0	In Entwicklung
Interface Connectors	2062	1.0	In Entwicklung
Intelligent Information for Use	2063	1.0	In Entwicklung
Safety instrumented functions (SIF) for the process industries	2064	1.0	In Entwicklung
Digital Quality Document	2065	1.0	In Entwicklung
Part Traceability		1.0	Vorschlag eingereicht
Automation Project Configuration		1.0	Vorschlag eingereicht
Material Handling		1.0	Vorschlag eingereicht
Provisioning for MES and ERP		1.0	Vorschlag eingereicht
Communication		1.0	Vorschlag eingereicht
Detailed structure of production systems		1.0	Vorschlag eingereicht
Planning data for operators and maintenance		1.0	Vorschlag eingereicht
Layout planning		1.0	Vorschlag eingereicht
Value chain, material flow, and process simulation		1.0	Vorschlag eingereicht
MCAD		1.0	Vorschlag eingereicht
ECAD		1.0	Vorschlag eingereicht
Virtual commissioning		1.0	Vorschlag eingereicht
PLC programming		1.0	Vorschlag eingereicht
Robot online programming and simulation		1.0	Vorschlag eingereicht
Building automation data for plant planning		1.0	Vorschlag eingereicht
Digital Standards Datasheet		1.0	In Entwicklung
Software Paket Manager		1.0	In Entwicklung
Facility Related Environmental Data		1.0	In Entwicklung
Product Related Environmental Data		1.0	In Entwicklung
Switching Relays for Integration in Automation Technology		1.0	In Entwicklung
Machine signals		1.0	Vorschlag eingereicht
Production Calendar		1.0	Vorschlag eingereicht
Provision of Company Data		1.0	Vorschlag eingereicht

## **Anhang M: Interviewleitfaden Anwendungsfälle Pilotanlage**

### **Experteninterview – Use Cases Anlage Clipse Dachrahmenleiste**

#### **Erläuterung**

Sie erklären sich dazu bereit, im Rahmen des Dissertationsprojektes „Modularisiertes und standardisiertes Vorgehen in der Auslegung von Montageanlagen hinsichtlich der Maschinendatennutzung auf Basis des digitalen Zwillings“, von Robert Werner, an einem Interview teilzunehmen. Sie wurden über Art, Umfang und Ziel sowie den Verlauf des o. g. Forschungsvorhabens informiert.

Das Interview wird mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet und sodann in Schriftform gebracht.

Für die weitere wissenschaftliche Auswertung des Interviewtextes werden alle Angaben, die zu einer Identifizierung Ihrer Person oder von im Interview erwähnten Personen und Institutionen führen könnten, anonymisiert. Das Transkript des Interviews dient nur zu Analysezwecken und wird lediglich in Ausschnitten zitiert.

Ihre personenbezogenen Kontaktdaten werden von Interviewdaten getrennt für Dritte unzugänglich gespeichert und vertraulich behandelt.

#### **Einverständnis**

Sie sind damit einverstanden, im Kontext des o. g. Forschungsvorhabens an der Befragung teilzunehmen. Darüber hinaus akzeptieren Sie die o. g. Form der anonymen Weiterverarbeitung und wissenschaftlichen Verwertung des geführten Interviews und der daraus entstehenden Daten.

Ihre Teilnahme an der Erhebung und Ihre Zustimmung zur Verwendung der Daten sind freiwillig. Durch die Ablehnung entstehen Ihnen keine Nachteile. Ihnen ist bekannt, dass Sie diese Einwilligung jederzeit gegenüber dem Interviewer widerrufen können mit der Folge, dass die Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten, nach Maßgabe der Widerrufserklärung, für die Zukunft unzulässig wird. Dies berührt die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung jedoch nicht.

Unter diesen Bedingungen erklären Sie sich bereit, das Interview zu geben und sind damit einverstanden, dass es aufgezeichnet, verschriftlicht, anonymisiert und ausgewertet wird.

---

Vorname, Nachname in Druckschrift

---

Ort, Datum / Unterschrift

### **Einleitung**

Meine Dissertation soll sich mit der Standardisierung der Datenlandschaft von Montageanlagen befassen.

In einem zweiten Teil der Arbeit möchte ich den Industrie 4.0 Standard der Verwaltungsschale auf eine Pilotanlage anwenden. Mit diesem Leitfadenterview möchte ich die aktuellen Anwendungsfälle der ausgewählten Anlage identifizieren, die eine Datenbasis benötigen.

In diesem Termin werden Sie als Experte durch ein Leitfadenterview geführt. In ca. 60 min werde ich als Interviewer durch den Leitfaden navigieren und ihre Aussagen transkribieren. Nach einer ersten Einführung soll keine weitere inhaltliche Beeinflussung seitens des Interviewers erfolgen.

*Der Betrachtungsrahmen, der mit diesem Interview abgedeckt werden soll, umfasst alle Use Cases, die diese teilweise oder ausschließlich betreffen.*

In der anschließenden Auswertung sollen potentielle Use Cases und daraus resultierende Submodelle der Pilotanlage für das Validierungsprojekt erzeugt werden.

### **Leitfaden**

Welche Problemstellungen lösen Sie aktuell mit der Hilfe von Anlagendaten?

Welche Anwendungsfälle haben Sie in der Halle, die auch die Pilotanlage betreffen?

Use Case	Beschreibung
Identifikation	Identifikation von Anlagen und gute Zugänglichkeit grundlegender Informationen
Energieverbrauch	Aufzeichnen, Speichern und Analysieren des Energieverbrauchs über den Lebenszyklus
Umwelt	Nachverfolgung der CO2 Emissionen
Integration	Vereinfachte Integration und Inbetriebnahme neuer Anlagen in die Produktionsstruktur
Condition Monitoring	Datenzugänglichkeit für das Condition Monitoring
Single Point of Truth	Datenablage und Datenzugriff auf eine Quelle beschränken
Engineering	Zugang zu bestehenden Engineering Daten für OEM und Lieferant
Diagnose	Automatisierte Fehlerdiagnose anlagenübergreifend
Wartung	Vereinfachter Zugang zu entsprechenden Anlagendaten bei Fehlersuche und Wartung
Optimierung	Prozessoptimierung auf Basis von Big Data
Wandlungsfähige Fabrik	Modularität und Interoperabilität in der Fabrik realisieren
Wiederverwendung	Wissen über Anlagenfähigkeiten für eine mögliche Wiederverwendung

Nach Berücksichtigung der hier vorgestellten beispielhaften Use Cases, welche betreffen aktuell die Pilotanlage?

Welche Use Cases würden Sie gerne an der Pilotanlage umsetzen, wenn die Datenbasis da wäre?

Welche Use Cases können Sie sich in Zukunft für die Pilotanlage vorstellen?