

Digitales Assistenzsystem für das Product Lifecycle Management

Analyseansatz mit Fokus auf IT-Schnittstellen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der KIT-Fakultät für Maschinenbau
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

Klemens Haas

aus Schramberg

Tag der mündlichen Prüfung: 18.07.2019

Erster Gutachter: Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Franz-Josef Schneider



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-SA 4.0): <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>

Kurzfassung

Die Digitalisierung ist die treibende Kraft der aktuellen Entwicklungen unter dem Schlagwort Industrie 4.0. Heterogene und dezentral entstandene IT-Systeme in Unternehmen zu vernetzen ist derzeit eine der Hauptherausforderung in der Industrie. Erst auf Grundlage dieser Basis können Prozesse automatisiert und vernetzt realisiert werden. Besonders die Schnittstellen zwischen den IT-Systemen bilden eine Schlüsselrolle. Um diese effizienter zu gestalten, ist im Rahmen dieser Dissertation eine Methode vorgestellt, die Verantwortliche im Bereich der Digitalisierung unterstützt.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Ansatz zum IT-Schnittstellenmanagement entwickelt. Als Ausgangspunkt wurden die Aspekte des Produktlebenszyklusmanagements untersucht. Aufbauend auf den Erkenntnissen wurde ein Digitales Assistenzsystem (DAs) entwickelt. „DAs“ ist eine Methodik für die Analyse einer IT-Systemlandschaft mit Fokus auf die IT-Schnittstellen. Durch die Analyse können Schnittstellenpotenziale und Workflows identifiziert werden. Des Weiteren können IT-Systeme hinsichtlich monetären und nicht-monetären Faktoren verglichen werden. Die Methode ist mithilfe der IT-Systemlandschaft im Industrie 4.0 Collaboration Lab am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen verifiziert und validiert.

Abstract

Digitalization is the driving force behind current developments under the banner of Industry 4.0. Crosslinking heterogeneous and decentralized IT systems in companies is currently one of the main challenges facing industry. Only on this basis processes can be automated and interlinked. The interfaces between the IT systems in particular play a key role. In order to make them more efficient, this dissertation presents a method that supports those responsible in the field of digitisation.

In this paper, an approach to IT interface management was developed. As a starting point the aspects of product life cycle management have been examined. Based on these insights, a Digital Assistance system (DAs) has been developed. "DAs" is a methodology for the analysis of an IT system landscape with focus on IT interfaces. With this approach interface potentials and workflows can be identified. Furthermore, IT systems can be compared with respect to monetary and non-monetary factors. The method is verified and validated using the IT system landscape in the Industry 4.0 Collaboration Lab at the Institute for Information Management in Engineering.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	iii
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis.....	vii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis.....	xix
Abkürzungsverzeichnis.....	xxi
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Aufbau der Arbeit	6
2 Stand der Technik.....	8
2.1 Einführung	8
2.2 Product Lifecycle Management	9
2.2.1 Vision und Philosophie von PLM	12
2.2.2 Potenziale und Strategien von PLM	13
2.2.3 Hauptkomponenten des Produktlebenszyklusmanagment... 17	
2.2.4 Weitere IT-Systeme	30
2.3 Digitale Fabrik	34
2.3.1 Herausforderungen der Fabrik- und Prozessplanung.....	35
2.3.2 Methoden und Tools der Digitalen Fabrik.....	35
2.3.3 Virtual Engineering	41

2.4	Industrie 4.0.....	42
2.4.1	Theoretische Grundlagen von Industrie 4.0.....	44
2.4.2	Cyber-Physische-Systeme	45
2.4.3	IT-Infrastruktur.....	47
2.4.4	Datenqualität	49
2.5	Fazit	55
3	„DAs“-Grundlagen.....	56
3.1	Einführung.....	56
3.2	Anforderungen an „DAs“	56
3.3	Ontologie	59
3.3.1	Grundlagen von Ontologien	59
3.3.2	PLM-Ontologien	61
3.4	Enterprise Application Management	62
3.4.1	Methoden zur Analyse der IT-Systemarchitektur.....	64
3.4.2	Kriterien zur Softwareauswahl/ -migration	79
3.4.3	Product Lifecycle Analytics	92
3.5	Fazit	103
4	„DAs“-Konzept	105
4.1	Einführung.....	105
4.2	Methodik von „DAs“.....	105
4.2.1	Informationsklassifizierung.....	107
4.2.2	Informationsadaption.....	111
4.2.3	Analyse.....	117
4.2.4	Integration	128

4.3	Erweiterungen für das „DAs“	129
4.4	Fazit	130
5	„DAs“-Validierung	131
5.1	Einführung	131
5.2	Beschreibung der IT-Systemlandschaft im I4.0 Collaboration Lab	131
5.3	Anwendung der Methodik im I4.0 Collaboration Lab.....	136
5.3.1	Informationsklassifizierung im I4.0 Collaboration Lab.....	136
5.3.2	Informationsadaption an die IT-Systemlandschaft im I4.0 Collaboration Lab.....	141
5.3.3	Analyse der IT-Systemlandschaft im I4.0 Collaboration Lab.....	144
5.3.4	Integration einer Lösung im I4.0 Collaboration Lab	157
5.4	Fazit	158
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	159
6.1	Zusammenfassung	159
6.2	Ausblick.....	161
7	Literaturverzeichnis	163
8	Anhang.....	185
	Analytisches Verfahren	185
	Vorlagenkatalog.....	189

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Haupthindernisse der Systemintegration.....	4
Abbildung 2: Aufbau der Arbeit.....	6
Abbildung 3: Produktlebenszyklus.....	9
Abbildung 4: Vergleich der Lebenszyklusphasen im Bezug auf PLM und SE	11
Abbildung 5: Vorgehen zur Entwicklung einer PLM-Initiative	12
Abbildung 6: Vorteile durch PLM	17
Abbildung 7: Schnittstellen eines ERP-Systems	20
Abbildung 8: Eingesetzte ERP-Module in Unternehmen.....	21
Abbildung 9: Marktanteile am internationalen ERP-Markt	23
Abbildung 10: Supply Chain Process.....	26
Abbildung 11: Supply Chain Netzwerk mit den Akteuren.....	27
Abbildung 12: Elementare Bestandteile eines CRM-Systems	28
Abbildung 13: CRM-Komponenten	28
Abbildung 14: Funktionsumfang eines MES-Systems.....	29
Abbildung 15: Automatisierungsebene	29
Abbildung 16: Schnittstellen eines MES-System in der Systemlandschaft...	30
Abbildung 17: Weitere IT-Systeme im Produktlebenszyklus	30
Abbildung 18: 3D-Drucker am IMI (links), Slicing Software Cura (rechts).	33
Abbildung 19: 3D-Scaning; Kamera Microsoft Kinect (links), Mesh aus Scanning (rechts).....	33

Abbildung 20: Einteilung der Ziele der Digitalen Fabrik.....	34
Abbildung 21: Auswahl von Tools der Digitalen Fabrik	36
Abbildung 22: Layoutplanung: Aufgaben und Informationen	37
Abbildung 23: Montageplanung: Aufgaben und Informationen	37
Abbildung 24: Logistikplanung: Aufgaben und Informationen	38
Abbildung 25: Ergonomieuntersuchung: Aufgaben und Informationen	39
Abbildung 26: Virtuelle Inbetriebnahme: Aufgaben und Informationen	39
Abbildung 27: Robotik: Aufgaben und Informationen	40
Abbildung 28: Anlagenplanung: Aufgaben und Informationen	40
Abbildung 29: Digital und Virtual Engineering.....	41
Abbildung 30: Industrielle Revolutionen	43
Abbildung 31: Europäische Initiativen im Bereich Industrie 4.0 und Digital Factory	43
Abbildung 32: Internet der Dinge.....	44
Abbildung 33: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0.....	44
Abbildung 34: Auflösung der Automatisierungspyramide.....	45
Abbildung 35: Bestandteile eines Cyber Physischen Systems	46
Abbildung 36: Konzept eines Cyber Physical Production System.....	47
Abbildung 37: Semiotisches Dreieck	50
Abbildung 38: Datenqualitätsmodell nach der DGIQ	51
Abbildung 39: Datenqualitätsprobleme.....	51
Abbildung 40: Datenqualitätspyramide.....	53
Abbildung 41: Vergleich von Datenqualitätstools	54
Abbildung 42: Anforderungstypen.....	57

Abbildung 43: Anforderungen an die Methodik	58
Abbildung 44: Entwicklung von Enterprise Information Systems	63
Abbildung 45: Projektablauf DoPLMCon.....	66
Abbildung 46: Lifecycle Mapping	66
Abbildung 47: Detaillierter DoPLMCon Projektablauf	68
Abbildung 48: Flussarten durch das Value-Stream Mapping.....	69
Abbildung 49: Detaillierter Projektablauf des Vorgehensmodells für KMU	71
Abbildung 50: Ebenen des VDA-Modells.....	76
Abbildung 51: Architekturschichten kombiniert mit Aufgabenbereichen.....	78
Abbildung 52: IT-Softwareeinführung angelehnt an das Tal der Tränen.....	80
Abbildung 53: Übersicht über statische und dynamische Verfahren.....	81
Abbildung 54: Anwendungshäufigkeit statischer Verfahren.....	82
Abbildung 55: Anwendungshäufigkeit dynamischer Verfahren	82
Abbildung 56: Fälle der Kapitalwertrechnung	85
Abbildung 57: Grafische Bedeutung des internen Zinsfußes	86
Abbildung 58: Verdeutlichung der Annuitätenmethode.....	88
Abbildung 59: Zielkriteriengewichtung	90
Abbildung 60: Historie und Vorhersage der Datenspeicherung	94
Abbildung 61: Methoden der Datenanalyse	95
Abbildung 62: Data Mining Prozess	96
Abbildung 63: Struktur eines Entscheidungsbaums	97
Abbildung 64: Clusteranalyse	98
Abbildung 65: Voronoi-Diagramm für Nachbarschaftsbeziehungen	99
Abbildung 66: OLAP-Würfel.....	100

Abbildung 67: XOR-Funktion.....	101
Abbildung 68: Cased Based Reasoning Zyklus	102
Abbildung 69: Überblick der „DAs“-Methodik	106
Abbildung 70: Vorgehen zu der Methodik.....	107
Abbildung 71: DAs – Informationsklassifizierung	107
Abbildung 72: Klassifizierung der Informationen.....	109
Abbildung 73: Maßnahmen zur „DAs“-Klassifizierung der IT-Systemlandschaft	109
Abbildung 74: Dateiformatspezifizierung	110
Abbildung 75: Vorlagenkatalog für IT-Systemontologie-Bibliothek.....	111
Abbildung 76: DAs - Informationsadaption.....	112
Abbildung 77: Schritte der „DAs“-Adaption	112
Abbildung 78: Transfer der Informationsklassifizierung in die Ontologie .	114
Abbildung 79: Transfer der Unternehmensabteilungen in die Ontologie....	114
Abbildung 80: Systemübertragung in die Ontologie	115
Abbildung 81: Beispielhafte Verknüpfungen einer Software (CAD) mit Informationen und Abteilungen	116
Abbildung 82: Beispiel einer vernetzten Informationsstruktur der Klassen	117
Abbildung 83: DAs - Analyse	118
Abbildung 84: Übersicht der Analysetools	118
Abbildung 85: Problem der Softwareintegration.....	119
Abbildung 86: Hauptaspekte IT-Software Fitting	119
Abbildung 87: IT-Software Fitting Tool – Übersicht.....	120
Abbildung 88: IT-Software Fitting Tool – Kosten.....	121
Abbildung 89: IT-Software Fitting Tool – Kriterienbewertung	122

Abbildung 90: Informationstransfer mittels SPARQL	123
Abbildung 91: IT-Software Fitting Tool – IT-Schnittstellen Vergleich	123
Abbildung 92: IT-Software Fitting - Gesamtbewertung	124
Abbildung 93: Workflow Checker – Abteilungen und deren IT-Systeme ..	125
Abbildung 94: Zuordnung der IT-Systeme zu den Abteilungen in der Ontologie.....	125
Abbildung 95: Übersicht – Workflow Checker.....	126
Abbildung 96: Interface Optimization - Informationsmatrix	126
Abbildung 97: Interface Optimization – Anzahl der Schnittstellen zwischen den IT-Systemen.....	127
Abbildung 98: Interface Optimization – Checkliste	127
Abbildung 99: DAs - Integration.....	128
Abbildung 100: IT-Systemspezifische Schnittstelle.....	129
Abbildung 101: IT-Systeme der vernetzten Systemlandschaft am IMI.....	132
Abbildung 102: Schnittstellen im Demonstrationsszenario des Industrie 4.0 Collaboration Lab.....	132
Abbildung 103: Kategorisierung von Bearbeitungsoperationen	134
Abbildung 104: Verbesserungsprozess im Industrie 4.0 Collaboration Lab	135
Abbildung 105: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	135
Abbildung 106: Grundsätzliche Gesamtintegration am IMI-KIT	136
Abbildung 107: IT-Systeme des Validierungsszenarios.....	137
Abbildung 108: CPS des Validierungsszenarios	137
Abbildung 109: 3D-Drucker (links), Fräse (Mitte) und Montagetisch (rechts) am IMI	137
Abbildung 110: Datenklassifizierung im Industrie 4.0 Collaboration Lab..	138

Abbildung 111: Transfer der IT-Systeme, Abteilungen und CPS in die DAs-Ontologie	141
Abbildung 112: Transfer der Informationen in die DAs-Ontologie	142
Abbildung 113: Eingangs- und Ausgangsinformationen der Software Solidworks	143
Abbildung 114: Zuordnung der ObjectProperties am Beispiel eines CPS und einer Abteilung (links CPS, rechts Abteilung)	143
Abbildung 115: Vernetzung der Ontologie des Industrie 4.0 Collaboration Lab	144
Abbildung 116: CAD-Vergleich- Einmalige und jährliche Kosten.....	146
Abbildung 117: CAD-Vergleich – Kennzahlen der Alternativen	147
Abbildung 118: CAD-Vergleich - Differenzkennzahlen.....	148
Abbildung 119: CAD-Vergleich Gewichtung und Bewertung der Effizienz	148
Abbildung 120: CAD-Vergleich - Analyse der Effizienzwertanalyse	149
Abbildung 121: CAD-Vergleich Gewichtung und Bewertung der strategischen Faktoren.....	149
Abbildung 122: CAD-Vergleich - Analyse der strategischen Kriterien.....	150
Abbildung 123: Input- und Output Informationen der CAD-Alternativen..	150
Abbildung 124: Integrationsanalyse – Vergleich der CAD-Schnittstellen..	151
Abbildung 125: Vergleich der Hauptkennzahlen der CAD-Alternativen....	151
Abbildung 126: Vergleich des Durchschnitts von Effizienz- und Strategischem Wert mit dem Kapitalwert	152
Abbildung 127: Zuordnung der Systeme zu den Abteilungen	153
Abbildung 128: Workflow-Checker - Auswahl der Information	154
Abbildung 129: Workflow Checker – Verwaltung der Information “ConstructionImageData”	154

Abbildung 130: Workflow für ConstructionImageData	155
Abbildung 131: Interface Optimization - Mögliche Anzahl der Schnittstellen	155
Abbildung 132: Schnittstellen-Checkliste zwischen Abas und SWEPDM .	156
Abbildung 133: Schnittstelle – Abas und Elabo-SES.....	157
Abbildung 134: AHP Hierarchiebaum mit Alternativen	185
Abbildung 135: AHP Paarvergleich	186
Abbildung 136: AHP Vergleich der Kriterien der Effizienzanalyse	187
Abbildung 137: AHP Gewichtung der Kriterien der Effizienzanalyse	188

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurzfristige Nutzen durch PLM.....	14
Tabelle 2: Erläuterungen der Anforderungen.....	58
Tabelle 3: Vor- und Nachteile der DoPLMCon-Methode.....	69
Tabelle 4: Fragen zur IT-Systemarchitektur.....	73
Tabelle 5: Vor- und Nachteile des Vorgehensmodells für KMU.....	75
Tabelle 6: Vor- und Nachteile des VDA-Schichtenmodells.....	79
Tabelle 7: Zuordnung der Informationen zu den Systemen im Industrie 4.0 Collaboration Lab.....	139
Tabelle 8: Abteilungen mit Systemliste.....	153
Tabelle 9: PLM IT-Systeme: Informationen Input und Output.....	189
Tabelle 10: Digitale Fabrik IT-Systeme: Informationen Input und Output.	190
Tabelle 11: Cyber Physische Systeme: Informationen Input und Output....	193

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAPP	Computer-Automated Process Planning
CNC	Computerized Numerical Control
CPS	Cyber Physical System
CPPS	Cyber Physical Production System
CRM	Customer Relationship Management
DAs	Digitales Assistenzsystem
DQM	Data Quality Management
EIS	Enterprise Information System
ERP	Enterprise-Resource-Planning
EW	Endwert
EZÜ	Einzahlungsüberschüssen

IMI	Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen
IT	Informationstechnik
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KW	Kapitalwert
E-BOM	Engineering Bill of Material
MES	Manufacturing Execution System
MIS	Marketing Information System
NC	Numerical Control
OEM	Original Equipment Manufacturer
OLAP	Online Analytical Processing
OWL	Web Ontology Language
PDM	Produkt Data Management
PEP	Produktentstehungsprozess
PLM	Product-Lifecycle-Management
PPR	Product, Process and Resource
PPS	Produktionsplanung- und –steuerung
RAMI4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
ROI	Return on Investment
SCM	Supply-Chain-Management

SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
TDM	Total Data Management
TDM	Tool Data Management
TMS	Tool Management System
UML	Unified Modeling Language
VDA	Verband der Automobilindustrie
VE	Virtual Engineering
VR	Virtual Reality
W3C	World Wide Web Consortium
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

1 Einleitung und Motivation

„Die Rechenautomaten haben etwas von den Zauberern im Märchen. Sie geben einem wohl, was man sich wünscht, doch sagen sie einem nicht, was man sich wünschen soll.“

-Norbert Wiener, amerikanischer Mathematiker-

Die Digitalisierung nimmt rasant in allen Lebensbereichen zu. Autos fahren autonom und die Waschmaschine wird aktiviert, wenn der Energiepreis am niedrigsten ist. In Unternehmen soll das Produkt mit der Maschine kommunizieren und sich selbst durch die Fertigung schleusen. Mitarbeiter werden an einem smarten Arbeitsplatz durch einen technischen Assistenten unterstützt. Die Angst den industriellen Wandel mit der Digitalisierung zu verpassen ist groß. Daimler-Chef Dieter Zetsche fordert deshalb mehr Mut: "Gerade in Zeiten der digitalen Revolution gilt: Der Weg des geringsten Widerstandes ist oft der gefährlichste. Gerade jetzt haben wir ein ganzes Universum an Möglichkeiten vor uns - auch wenn manche die Digitalisierung als Bedrohung für unsere Branchen betrachten" (Zetsche 2016).

1.1 Problemstellung

Das Thema Digitalisierung dominiert die aktuellen Entwicklungen. Die Digitalisierung sorgt für einen tiefgreifenden Wandel in allen Lebensbereichen. Für die Industrie eröffnen sich neue Möglichkeiten. Laut einer Studie von McKinsey nutzt Deutschland nur 10 Prozent seines digitalen Potenzials und die EU im Vergleich 12 Prozent. Würde Deutschland das Potenzial nutzen, wäre ein jährliches Wachstum des Bruttoinlandsprodukts von 1 % bis zum Jahr 2025 möglich. Das entspricht einem monetären Wert von 500 Milliarden Euro. Europa ist der Studie zufolge mehr Konsument als Produzent von digitalen Dienstleistungen. Dies beschreibt das Handelsbilanzdefizit von 5,6 Prozent des

gesamten Dienstleistungsverkehrs gegenüber der USA. (McKinsey&Company 2017)

Im Zuge der Digitalisierung sollen Arbeitsprozesse schneller, dynamischer und vernetzter ablaufen. Die Komplexität der Prozesse nimmt zu und ebenso der Bedarf nach Automatisierung (Kraewing 2017, 64ff). Die Vernetzung der Systeme stellt dabei eine große Herausforderung dar. Neue Systeme sind notwendig, die in die bestehende Systemlandschaft integriert werden müssen. Ebenso müssen Legacy-Systeme auf Ihre Nutzpotenziale untersucht werden. Die Rolle der Integration nimmt im Zuge der Digitalisierung eine Schlüsseldisziplin ein (Hecker et al. 2015, S. 67). Die EU investiert in ihrem Programm „Europe 2020“ in Vernetzung und Digitalisierung (European Commission 2016).

„Der Erfolgreichste im Leben ist derjenige, der am besten informiert wird“
Dieses Zitat stammt von Disraeli 1870 und ist in unserer heutigen Zeit nach wie vor gültig.

IT-Systemlandschaften bestehen meist aus vielen Einzellösungen, die unabhängig voneinander betrieben werden. Durch die Vernetzung der IT-Systeme kann die Komplexität reduziert werden und Potenziale können freigesetzt werden. Es gibt mehrere Haupthindernisse bei der Systemintegration, die nachfolgend aufgeführt werden. (Tiemeyer 2016, S. 5; Bieg et al. 2016, 32f; Schütz; Gernert und Ahrend 2001; Helmke und Uebel 2016, S. 151):

- **Autonomie:** Geschäftseinheiten entwickeln eine Eigendynamik und dabei eigene Prozesse und Systeme. Dies führt dazu, dass viele Daten redundant, inkonsistent und Geschäftsregeln widersprüchlich sind. Innerhalb der Geschäftseinheit funktioniert dies gut, aber im Zusammenspiel mit anderen Unternehmensteilen kommt es zu Unstimmigkeiten. Durch die Autonomie der Applikationen resultiert eine Inkonsistenz der Daten, die weitreichende Konsequenzen haben kann.
- **Heterogenität:** Eine Folge der Autonomie ist die Heterogenität der IT-Systemlandschaft. Verschiedene IT-Systeme im Unternehmen sind nicht kompatibel sowie auf verschiedenen Standards aufgebaut. IT-

Verantwortliche in Unternehmen versuchen unkoordiniert verschiedene IT-Lösungen und Trends aus. Es entsteht eine Systembasis auf Grundlage von verschiedenen Programmiersprachen, Datenbanken und Entwicklungsumgebungen. Einheitliche Standards, Normen und Datenhaltungsgrundsätze können Integrationen vereinfachen.

- **Verteilung:** Die Verteilung der Daten ist prinzipiell kein Hindernis. Es muss jedoch geregelt sein, welches System welche Daten verwaltet und wann diese mit anderen Systemen synchronisiert werden. Hindernisse für die Synchronisation sind Probleme mit der Interoperabilität und Kompatibilität. Fehlende Absprachen der Verantwortlichen und innerbetriebliche Machtkämpfe führen zu verteilten Systemen und inkompatiblen IT-Architekturen.
- **Komplexität:** Geschäfts- und IT-Architekturen werden durch die generelle Digitalisierung komplexer zu managen und zu planen. Des Weiteren steigen die Benutzerzahlen und der damit benötigte Support. Aus den hohen Anforderungen und individuellen Lösungen der einzelnen Unternehmensbereiche resultiert eine schwierig zu orchestrierende Systemlandschaft. Komplexität erzeugt Unsicherheit, Intransparenz und die Kontrolle über die Prozesse geht verloren. Eine Vereinfachung der eingesetzten IT-Systemumgebung ist eine große Herausforderung für die Unternehmen.
- **Rahmenbedingungen:** Verordnungen und Gesetze müssen beachtet und sichergestellt werden. Besonders Sicherheitsaspekte werden immer relevanter um das Knowhow und Daten zu schützen. Durch das Aufkommen von Clouds verändern sich Verantwortlichkeiten und Verträge müssen geschlossen werden. Alle diese relevanten Rahmenbedingungen müssen bei dem IT-Systemmanagement beachtet werden.

1.2 Zielsetzung

Die Thematik der Vernetzung von IT-Systemen in Unternehmen ist Kern dieser Dissertation. Komplexe Geflechte von IT-Strukturen finden sich in Unternehmen und eine neue Software ist schwer zu integrieren. Medienbrüche in der Informationskette verursachen Verzögerungen. In der Problemstellung sind die Haupthindernisse der Systemintegration aufgeführt. Das Bestreben diese Hindernisse zu reduzieren ist die Voraussetzung für eine vernetzte und smarte IT-Systemstruktur.

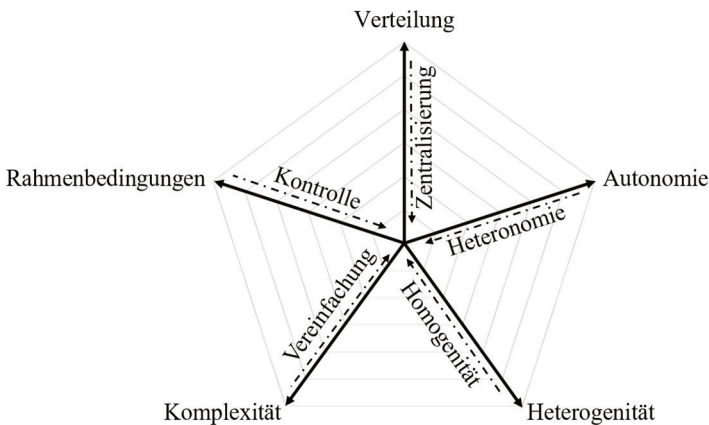


Abbildung 1: Haupthindernisse der Systemintegration

Aufbauend auf dieser Problematik soll diese Arbeit ein Ansatz zur Unterstützung und Analyse des IT-Systemmanagements liefern. Auf folgende Fragen soll die Methodik Antworten geben:

- Schnittstellenpotenziale
 - *Gibt es ungenutztes Vernetzungspotenzial in der IT-Systemlandschaft?* – In einer IT-Systemumgebung gibt es Schnittstellen

zwischen Systemen, die bisher nicht bekannt oder implementiert sind.

- *Wie können Cyber Physische Systeme in eine bestehende Systemlandschaft integriert werden?* – Immer mehr Cyber Physische Systeme gibt es in Unternehmen. Diese müssen in die Systemlandschaft integriert werden, um die Vorteile der bidirektionalen Kommunikation optimal zu nutzen.
- Systemintegration
 - *Wie kann die Auswahl eines neuen IT-Systems unterstützt werden?* - Die Integration eines IT-Systems ist ein komplexer Prozess. Das neue System muss die entsprechenden Funktionen abbilden und in einem entsprechenden Zeit- und Kostenrahmen umgesetzt werden.
 - *Wie können qualitative und quantitative Kriterien bewertet werden?* – Zur Bewertung eines IT-Systems müssen monetäre und nicht-monetäre Aspekte betrachtet werden. Für einen adäquaten Vergleich ist es notwendig für die Kriterien Key Performance Indikatoren zu erstellen.
- Informationsfluss
 - *Wie können die Informationen der IT-Systeme orchestriert werden?* – Bei einer Vielzahl von Systemen ist es schwierig einen Überblick zu behalten. Es gilt zu klären, welches System verwaltet welche Information. Desweiteren müssen Übergabe- beziehungsweise Synchronisationspunkte definiert werden.
 - *Können konkrete Workflows mit der aktuellen Systemlandschaft umgesetzt werden?* – Für die Umsetzung von automatisierten Workflows ist es notwendig, dass der Informationsfluss systemseitig umgesetzt werden kann.

1.3 Aufbau der Arbeit

Für die Konzeption einer Methodik ist es notwendig die aktuellen Entwicklungen und Technologien zu betrachten. Die Methodik muss zielgerichtete Ansätze zur Lösung der beschriebenen Problematik beinhalten. Die Dissertation ist in fünf Kapitel gegliedert. Der Aufbau ist nachfolgender Abbildung dargestellt.

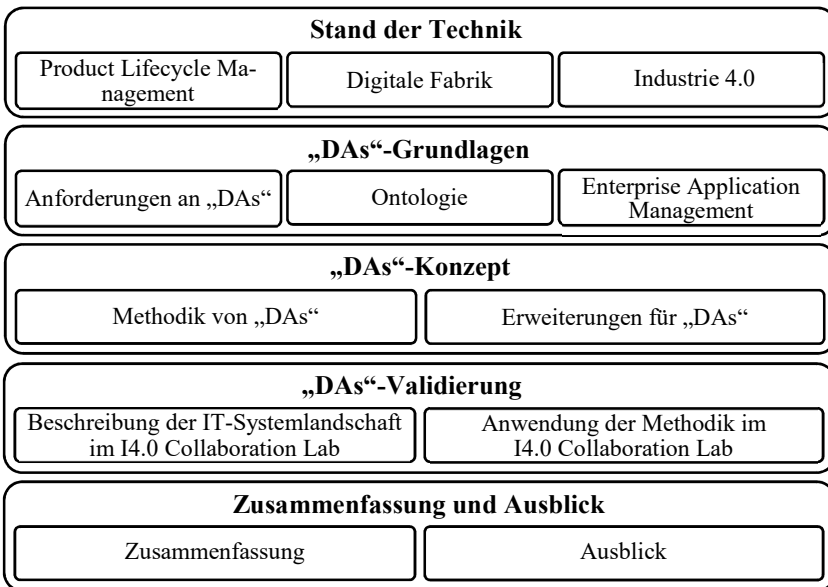


Abbildung 2 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Thesis ist der Stand der Technik zu den relevanten Themen, die in dieser Arbeit behandelt werden, dargelegt. Dabei werden die Grundlagen von Product Lifecycle Management, Digitaler Fabrik und Industrie 4.0 behandelt. Zuerst wird auf das Product Lifecycle Management eingegangen. Aufbauend darauf sind die Potenziale und Strategien von PLM erläutert. Für die Umsetzung von PLM werden gängige Softwaretools aufgeführt und die Funktionen erklärt. Ergänzend zu PLM wird analog das Themengebiet der Digitalen Fabrik thematisiert. Im Anschluss wird die Vision Industrie 4.0 wird

erklärt. Dabei wird vertieft auf die ergänzenden Themenbereiche Cyber Physische Systeme, IT-Infrastruktur und Datenqualität eingegangen.

Für die Umsetzung der Methodik sind theoretische Grundlagen für „DAs“ notwendig. Zuerst werden dabei Anforderungen zielgerichtet auf die Analysemethodik erörtert. Diese sollen den Leitfaden für die Methodik bilden. Als Grundlage für die Verwaltung der Informationen wird eine Ontologie eingesetzt. Dafür wird das Prinzip von Ontologien erklärt und aktuelle Einsatz-/Forschungsgebiete in Bezug auf PLM aufgeführt. Das Enterprise Application Management ist ein Oberbegriff für die Verwaltung und Analyse von IT-Systemumgebungen. Passend dazu sind relevante Verfahren und Methoden aufgeführt. Zur Bewertung von IT-Systemen werden die Grundlagen und Kriterien zur IT-Systemauswahl erklärt. Dabei wird unterschieden zwischen quantitativen, qualitativen und strategischen Aspekten. Ergänzend werden noch Methoden des Product Lifecycle Analytics vorgestellt.

In dem Kapitel „DAs“-Konzept ist eine Methodik für die Analyse einer IT-Systemlandschaft mit Fokus auf die IT-Schnittstellen vorgestellt. Die Methodik ist in vier Phasen eingeteilt. Die einzelnen Phasen und die eingesetzten Werkzeuge und Vorgehen werden dabei detailliert erklärt. Ergänzend zu der Methodik werden auch Erweiterungsmöglichkeiten vorgestellt, die auf dem Vorgehensmodell basieren.

Das Kapitel „DAs“-Validierung demonstriert die Anwendung der Methodik. Auf Basis der Systemlandschaft des Industrie 4.0 Collaboration Labs wird die Validierung durchgeführt. In dem Industrie 4.0 Collaboration Lab ist eine bereits durch Schnittstellen vernetzte IT-Systemlandschaft in Betrieb. Diese orientiert sich an einem mittelständischen spannenden Unternehmen. Die Systemlandschaft und deren Bestandteile wird in diesem Kapitel zuerst detailliert erläutert. Auf dieser Grundlage findet die Validierung der Methodik statt. Die einzelnen Phasen und die Ergebnisse werden dabei vorgestellt.

In dem letzten Kapitel ist die Thesis zusammengefasst und abschließend wird ein Ausblick gegeben. Es wird dabei insbesondere auf die Fragestellungen aus der Zielsetzung eingegangen. Im Ausblick werden mögliche Erweiterungen der Methodik und offene Forschungsthemen thematisiert.

2 Stand der Technik

Eine Investition in Wissen bringt immer noch die besten Zinsen.

-Benjamin Franklin, US-amerikanischer Staatsmann-

2.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der Thesis aufgeführt. Zuerst wird auf das Product Lifecycle Management eingegangen. Dabei wird die Vision und die Philosophie von PLM erklärt. Aufbauend darauf sind die Potenziale und Strategien von PLM erläutert. Für die Umsetzung von PLM werden gängige Softwaretools aufgeführt und die Funktionen erklärt.

Ergänzend zu PLM wird das Themengebiet der Digitalen Fabrik thematisiert. Dabei wird auf die Herausforderungen der Fabrik- und Prozessplanung eingegangen und die Tools zur Umsetzung vorgestellt.

Die Vision Industrie 4.0 steht für eine umfassende Digitalisierung der industriellen Produktion. Das Themengebiet Industrie 4.0 wird erklärt und die theoretischen Grundlagen vorgestellt. Dabei wird auch auf Cyber Physische Systeme eingegangen, die ein wichtiger Bestandteil von Industrie 4.0 sind. Als Grundlagen für eine gelungene Umsetzung einer vernetzten Systemumgebung, wird auf die IT-Infrastruktur eingegangen. Der Austausch von Informationen und Daten ist ein Kernelement von Industrie 4.0 und kann nur auf Basis einer adäquaten Datenqualität erfolgen. Die Erklärung des Begriffs Datenqualität und die Strategien diese zu kontrollieren bilden den Abschluss dieses Kapitels.

2.2 Product Lifecycle Management

Die Bedeutung der Informationstechnologie in Unternehmen nimmt eine immer wichtigere Rolle ein und ist ein kritischer Wettbewerbsfaktor. Die Integration von Arbeitsabläufen gewinnt neben dem Preis und der Qualität eines Produktes durch die resultierende Verkürzung der Produktentwicklungszeit und der Erhöhung der Arbeitsablaufflexibilität immer mehr an Bedeutung. Product Lifecycle Management ist ein Ansatz die unternehmensbezogenen Informationen entlang des Produktlebenszyklus zu organisieren und zu verwalten. „The Product Lifecycle Management (PLM) concept holds the promise of seamlessly integrating all the information produced throughout all phases of a product's life cycle to everyone in an organization at every managerial and technical level, along with key suppliers and customers“ (Sudarsan et al. 2005, S. 1399). Der Ursprung des Produktlebenszykluskonzepts geht zurück auf Dean, der ein Produkt in die verschiedenen Lebensphasen einteilt und daraus Preisstrategien ableitet (Jain und Jain 2009, S. 223). Der Produktlebenszyklus nach Brockhoff basiert auf der Annahme, dass der Produktlebenszyklus sich einem Prozess der Vergänglichkeit ähnlich wie Lebewesen verhält. Dabei werden verschiedene Lebensphasen durchlaufen. (Kuder 2005, S. 13)

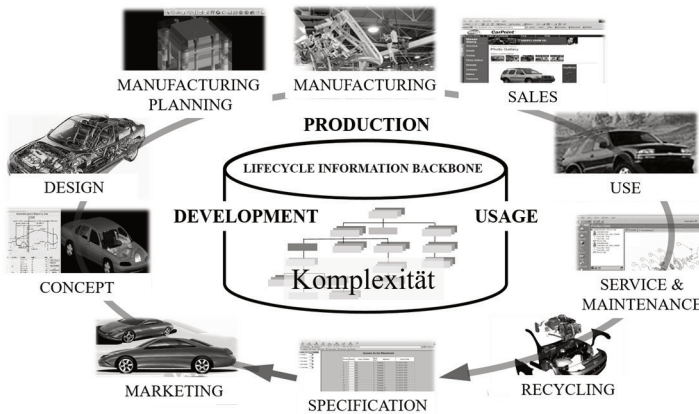


Abbildung 3: Produktlebenszyklus (Ovtcharova 2010)

Der Lebenszyklus eines Produktes beinhaltet die Gesamtheit aller Phasen und Prozesse, in denen sich das Produkt in verschiedenen zeitlichen Abschnitten befindet. Der Anfang stellt die Produktidee mit der anschließenden Anforderungsdefinition. Aufbauend darauf kommt die Phase der Forschung und Entwicklung des Produkts. Die Phase Produktionsplanung ist der Fertigung vorgelagert, in der das Produkt hergestellt wird. Das Marketing ist zuständig für die wettbewerbsorientierte Gestaltung des Produkts und durch den Vertrieb wird das Produkt in den Markt eingeführt. Das ist der Beginn der Nutzungsphase, in dem die Konsumenten das Produkt kaufen beziehungsweise konsumieren. In der Nutzungsphase geht der Kundenservice und die Wartung einher und endet mit dem Recycling. (Eigner et al. 2014, S. 269).

Der Informationsbedarf von Produktdaten der einzelnen Abteilungen für verschiedenste Funktionen nimmt in Zukunft noch zu (Lintala et al. 2012, S. 647). In der Literatur werden die Lebensphasen je nach Quelle unterschiedlich definiert und beschrieben. Der Ansatz des System Engineering kann ebenso auf den Lebenszyklusansatz ausgelegt werden.

Die Ansätze [(Ovtcharova 2010)¹ (Abramovici 2007)² (Stark 2015a)³ (Kiritsis et al. 2003)⁴ (Kossiakoff et al. 2011)⁵ (ISO/IEC/IEEE 15288:2015)⁶ (Defense Technical Information Center 2001)⁷ (Stevens 1998)⁸] des Product Lifecycle Managements (PLM) und des System Engineering (SE) durchlaufen ähnliche Phasen. Bei SE ist im Vergleich zum PLM die Requirementsphase der einzelnen Disziplinen stärker ausgebildet. Ein Vergleich der Phasen ist in der nachfolgenden Abbildung 4 aufgeführt.

	Produktidee	Entwicklung	Umsetzung	Betrieb & Wartung	Entsorgung & Recycling
Product Lifecycle Management	Ovtcharova ¹	Manufacturing Planning	Manufacturing Sales	Use Service & Maintenance	Recycling
	Abramovici ²	Product Development	Product Sourcing/Sales Product Manufacturing		Product Use & Recycling
	Stark ³	Define	Release	Support & Service	Retire
	Kritiisis ⁴		Beginning of Life (BOL)	Middle of Life (MOL)	End of Life (MOL)
System Engineering	Kossiakov ⁵	Needs Analysis Concept Exploration Concept Definition	Engineering Design Integration & Evaluation Production	Operation & Support	
	ISO 15288 ⁶	Conceptualization of a need for the system	Realization	Utilization Evolution	Disposal
	Dau ⁷	Concept and Technology Development	System Development and Demonstration	Production and Deployment	Sustainment & Disposal
	Stevens ⁸	User Requirements System Requirements	Architectural Design Component Development Integration & Verification Installation & Validation	Operational Capability	

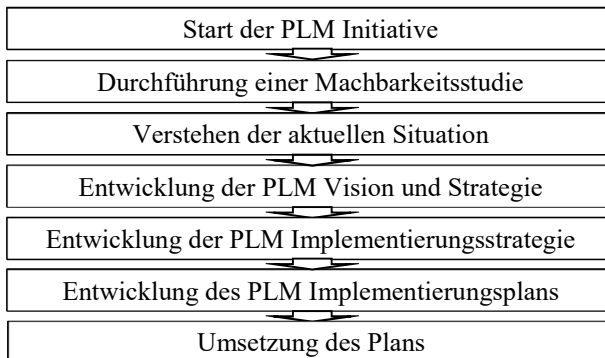
Abbildung 4: Vergleich der Lebenszyklusphasen im Bezug auf PLM und SE (Lintala et al. 2012, S. 654)

2.2.1 Vision und Philosophie von PLM

Produktlebenszyklusmanagement ist eine Vision, beziehungsweise eine Philosophie, die eine damit verbundene Strategie zum Erreichen der angestrebten Ziele umfasst. Es gibt keine allgemeine PLM Vision und Strategie. Jedes Unternehmen muss selber die eigene passende Strategie konzipieren. Es gibt Charakteristiken die eine PLM-Vision beschreiben. (Feldhusen und Gebhardt 2008, S. 23):

- Ein Nutzen für das Unternehmen ist erkennbar
- Die Vision ist anspruchsvoll
- Die Vision ist offen in der Umsetzung
- Die Vision ist klar formuliert
- Die Vision ist für jeden Mitarbeiter verständlich

Ein Vorgehen zur Entwicklung einer PLM-Initiative ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 5: Vorgehen zur Entwicklung einer PLM-Initiative
(Stark 2018, S. 21)**

Das Ziel, die Prozess- und Informationsabläufe optimal zu gestalten, lässt sich mit der 4R-Regel beschreiben: Die richtige Information, zur richtigen Zeit, in der richtigen Qualität, am richtigen Ort.

2.2.2 Potenziale und Strategien von PLM

Die Entscheidung für die Umsetzung mit einer PLM-Lösung ist kosten- und zeitintensiv. Die Erwartungen an einem Mehrwert für das Unternehmen sind hoch. In diesem Abschnitt wird ein Überblick über den kurzfristigen und langfristigen Nutzen gegeben.

PLM ist die integrative Speicherung von relevantem Wissen. Dabei ist die Verfügbarkeit des Wissens über alle Abteilungen hinweg notwendig. Besonders die Beeinflussung der frühen Phasen wie Konstruktion und Entwicklung wird durch Feedback aus späteren Phasen ergänzt. Dies führt dazu, dass Fehler bereits zu Beginn identifiziert und behoben werden können. (Feldhusen und Gebhardt 2008, 4f)

Potenziale von PLM

Die entscheidenden Treiber einer PLM-Lösung sind die Abläufe und Prozesse, die durch einen PLM-Ansatz effektiver gestaltet werden können. Nachfolgend sind die kurzfristigen und langfristigen Nutzen aufgeführt.

Kurzfristiger Nutzen

Bereits zeitnah nach der Einführung und Umsetzung einer PLM-Lösung können Verbesserungen auftreten. Vor allem in operativen Arbeitsschritten und im Tagesgeschäft. Durch effizientere Prozessgestaltungen hinsichtlich der Informationsbeschaffung in Bezug auf Produkt, Produktstruktur und Dokumentation. (Alemanni et al. 2008, S. 834) Nachfolgend ist aufgeführt, welche qualitativen und quantitativen Nutzenfaktoren sich auf bestimmte Bereiche und Prozesse positiv auswirken.

- **Kostenfaktor:** Der Faktor beschreibt die monetären Einsparungen der täglichen Prozesse. Darunter fallen vor allem die Kosten für das Änderungsmanagement und der Übergabe von Informationen. Ebenso die Ersparnisse, die durch effizienteres Vorausplanen erzielt werden (Schuh et al. 2008).

- **Zeitfaktor:** Der Faktor Zeit kann durch PLM laut CIMdata und der Gartner Group um 10-30% reduziert werden. Hervorzuheben sind hierbei die zeitlichen Einsparungen im Änderungsmanagement und das Dokumentenmanagement (Eigner und Stelzer 2009, S. 375).
- **Qualitätsfaktor:** Durch die PLM-Philosophie werden Fehler bereits in den frühen Phasen erkannt und verbessert. Dies bietet die Möglichkeit Sicherheitsstandards früh zu etablieren (Eigner und Stelzer 2009, S. 377).
- **Wiederverwendungsfaktor:** Durch das Produktdatenmanagement können Bauteile oder Baugruppen auf Ähnlichkeit untersucht werden und von Konstrukteuren in der Entwicklung wiederverwendet werden (Eigner und Stelzer 2009, S. 378).
- **Kommunikationsfaktor:** Durch PLM verbessert sich die unternehmensinterne und unternehmensexterne Kommunikation. Dies beinhaltet auch den Datenaustausch (Schuh et al. 2008).

Nachfolgend sind die verschiedenen Bereiche und Prozesse aufgeführt, in denen PLM eine erhebliche kurzfristige Verbesserung bringt. Die Faktoren werden dabei den einzelnen Nutzen zugeordnet.

Tabelle 1: Kurzfristige Nutzen durch PLM (Eigner und Stelzer 2013, 375ff; Alemanni et al. 2008)

Bereich/ Prozess	Nutzen	Einzuzuordnender Faktor
Änderungs- management	<ul style="list-style-type: none"> • schnelle Weiterleitung von Informationen bezüglich Änderungen (z.B. neue Versionen oder Alternativen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikationsfaktor • Kostenfaktor • Zeitfaktor
Innovations- management und Ideenge- winning	<ul style="list-style-type: none"> • Durch Zugriff auf alle Teile und relevante Daten können durch neue Kombinationen oder kleine Änderungen neue Innovationen entstehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendungs- faktorfaktor

Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> • Bessere und effizientere Gestaltung der Produktion durch genaue Anforderungsdefinition der Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenfaktor
Projekt Controlling	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit zur besseren Beurteilung Entscheidungsfindung von Projekten 	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenfaktor
Produktstrukturierung	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Entwicklungskosten und -Zeit durch frühere Fehlerbehebung • Geringere Komplexität und bessere Strukturierungsmöglichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitfaktor • Qualitätsfaktor • Kostenfaktor
Qualitätsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Bessere Produktqualität und damit Sicherstellung von Kundenzufriedenheit • Frühe Fehlerbehebung und somit Gewährleistung von guter Qualität 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätsfaktor • Kostenfaktor

Die Tabelle 1 zeigt, dass vor allem die Faktoren Zeit, Kosten und Qualität durch die PLM-Einführung betroffen sind.

Langfristiger Nutzen

Nach der Einführung von PLM gibt es Nutzen, welche erst nach einigen Jahren sichtbar werden. Diese bauen auf den kurzfristigen Nutzen auf. Im Folgenden werden diese näher erläutert:

- **Time-to-Market:** Der Ausdruck Time-to-Market beschreibt die Zeitspanne zwischen der Produktidee bis zur Markteinführung. Ziel der Unternehmen ist es, die Produkte möglichst zeitnah auf den Markt zu bringen. Dadurch können Marktanteile gewonnen werden. Durch die Anwendung von PLM kann unter anderem durch Simultaneous Engineering Zeit eingespart werden. (Scheer et al. 2006, 15ff)
- **Nachhaltigkeit:** Die Nachhaltigkeit beschreibt nicht nur wirtschaftliche Kriterien. Neben der Steigerung des Enterprise Values und innovative Ideen zu entwickeln, zählen auch ökologische und soziale Kriterien dazu. Bei den ökologischen Faktoren geht es um die Material und Ressourcenproduktivität, sowie um die Minimierung von Emissionen

und Abfällen. Die sozialen Aspekte beinhalten die Reduzierung der negativen Auswirkungen auf die Anspruchsgruppen eines Unternehmens. Dabei geht es um die langfristige Betrachtung dieser Bereiche. (Hardtke und Prehn 2013, S. 60)

- **Steigende Produktivität:** Durch die Nutzung von Synergien des gespeicherten Wissens und die ganzheitliche Verbesserung des Engineerings Prozess kann die Produktivität eines Unternehmen gesteigert werden (Saaksvuori und Immonen 2008; Cantamessa et al. 2012). Der Zusammenhang zwischen Einsatz und beschreibt die Produktivität.
- **Kundenkommunikation:** Die Kundenkommunikation beinhaltet den Aufbau und die Erhaltung der Kommunikationsbeziehung zwischen Kunden und Unternehmen. Als Orientierungswerte dienen Marke, Image und Reputation. (Mast et al. 2005, S. 22)
- **Lieferantenkommunikation:** Die Lieferantenkommunikation beschreibt die Kommunikation zwischen Lieferant und Unternehmen. Als Lieferantenkriterien können Lieferzuverlässigkeit, Preisgestaltung, Qualität und Innovationspotenzial betrachtet werden. (Vahrenkamp und Kotzab 2012, S. 218)

Strategischer Nutzen

Neben der wirtschaftlichen Betrachtung, die obenstehend thematisiert ist, sind die strategischen Faktoren ebenso relevant. Der Stellenwert eines Unternehmens kann durch die PLM-Einführung zu einem positiven Image führen. PLM zielt darauf ab das Unternehmen langfristig in eine bessere wettbewerbsfähige Marktposition zu bringen und die Umsätze beziehungsweise den Gewinn zu maximieren (Arnold et al. 2011, 18ff). In einer Umfrage wurden die strategischen Ziele im Kontext von PLM erörtert. Dazu gehört der schnellere Markteintritt, Senkung der Entwicklungskosten, Verbesserung der Produktqualität und die Verbesserung der Innovationsfähigkeit.

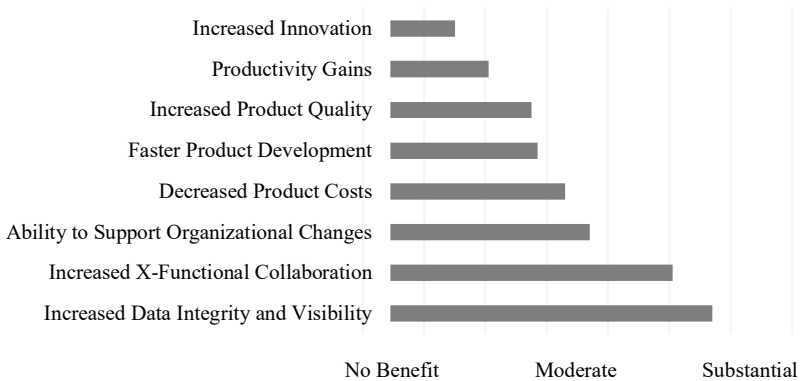


Abbildung 6: Vorteile durch PLM(Salmon 2013, S. 3)

2.2.3 Hauptkomponenten des Produktlebenszyklusmanagement

Produktlebenszyklusmanagement befasst sich mit den Informationsflüssen des gesamten Produktlebenszyklus. Um die Informationsflüsse möglichst effizient zu steuern, zu analysieren und zu verwalten sind IT-Systeme notwendig. Die vier Hauptsysteme in produzierenden Unternehmen sind:

- Produktdatenmanagement (PDM)
- Enterprise Resource Planning (ERP)
- Supply Chain Management (SCM)
- Customer Relationship Management (CRM)

Die zentrale Kernkomponente eines PLM Systems bildet die klassische Produktdatenverwaltung. Diese basiert auf der Produktstruktur und der Stammdatenverwaltung. Aufgabe der Produktstruktur ist es, alle Komponenten, die für die Abbildung eines Produktes notwendig sind zu umfassen. Die Produktstruktur kann als mehrdimensionales Netz interpretiert werden, welches die Bauteile und Baugruppen eines Produktes umfasst. Dies kann in Form von CAD-Daten sein, aber gleichzeitig auch die verschiedenen Versionen, Änderungs-

stände, Dokumente zu den entsprechenden Bauteilen, Informationen über Material und anderen Anforderungen der Entwicklung umfassen. Die gängigste Darstellungsform der Produktstruktur ist trotz diverser Einschränkungen die hierarchische Darstellung in Form von Listen.

Die klassische Produktdatenverwaltung bildet die zentrale Kernkomponente eines PLM Systems. Dabei werden die Produktstruktur und die Stammdaten verwaltet. Die Produktstruktur umfasst alle Komponenten eines Produktes. Diese kann im Falle einer E-BOM (Bill of Material) in Form von CAD-Dateien angelegt sein. Dazu werden noch die entsprechenden Metadaten (z. B. Versionen, Änderungsstände) und Dokumente zu den einzelnen Bauteilen gespeichert.

Produkte werden immer mehr individualisiert. Dies erfordert eine dynamische Struktur der PLM Systeme entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Um dies zu unterstützen, muss das System mit unterschiedlichen Zugriffsfunktionalitäten und entsprechenden Systemsichten ausgestattet sein. Dieser Ansatz lässt sich sowohl horizontal als auch vertikal über den Produktlebenszyklus erweitern, sodass auch Lieferanten und Kunden der entsprechende Zugang gewährt werden kann. Ein aktueller Forschungsbereich ist die user-spezifische Visualisierung, die durch Interaktionsmodelle erweitert werden kann (Hopf und Ovtcharova 2016, S. 493). Auch durch den Wandel hin zu einer service-orientierten Marktausrichtung bekommt dieser Teil des PLM Systems immer höhere Relevanz.

Diese Anforderungen werden um die Funktionalität des Freigabewesens ergänzt. Diese erfordert die Möglichkeit alle Freigabeprozesse und die damit verbundenen Aufgaben der Mitarbeiter abzubilden und zu koordinieren.

Das Workflowmanagement erweitert das PLM System um Arbeitsabläufe zu automatisieren. Dabei können die verschiedenen Aktivitäten der Mitarbeiter definiert werden, sowie automatisierte Meldungen, Benachrichtigungen und Aufgaben definiert werden, um so die Produktivität der Systeme zu verbessern. (Eigner und Stelzer 2009).

Für die Entscheidungsunterstützung von Projekten besteht in diversen Systemen die Möglichkeit Managementberichte zu erstellen. Zum einen mit Projektverwaltungssoftware und zum anderen mit Kosten, Budget und Ressourcenplanungssoftware. Diese basieren in der Regel auf groben Schätzungen und Vergleichsdaten. Es besteht auch die Möglichkeit die Daten für Material und Herstellungsprozess aus angrenzenden Systemen (z. B. ERP System) zu importieren. Dadurch können exakte Berechnungen durchgeführt werden.

Durch das Anforderungsmanagement werden die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt im Rahmen eines Entwicklungs- oder Kundenauftrags definiert. Um das Fehlerniveau zu reduzieren werden diese vertraglich verbindlichen Dokumente sowohl in den Systemen von Lieferant als auch im System der OEM mittels Softwareunterstützung in die PLM Systeme integriert. Dabei ist es möglich die Anforderungen der Produkte sowohl mit Prozessschritten des Workflowmanagements als auch mit Produktdaten direkt zu verknüpfen. In diesem Zusammenhang ist die technische Dokumentation der Produkte zu erwähnen. Durch den Einsatz von mobilen Endgeräten mit AR Software und derzeit noch Markups wird der Echtzeitsupport ermöglicht (Eigner und Stelzer 2009).

Die Vorverlagerung von Tätigkeiten in der Entwicklungsphase „Frontloading“ ermöglicht eine erhebliche Zeitreduktion der Prozesse. Damit dies realisiert werden kann werden Produkte inzwischen rund um die Uhr in verschiedenen Ländern parallel weiterentwickelt. Dieser Anspruch an das PLM System sorgt für diverse Herausforderungen, welche von den gängigen Systemen bereits erfüllt werden. Ebenso muss das System gängigen Datenschutzvorschriften entsprechen und den benötigten Sicherheitsstandard für die hoch sensiblen Daten ermöglichen. Hinzu kommt die Anforderung an das System, Zugriff und Verwaltung in Form eines Dokumentenmanagementsystems für die im Unternehmen verwendeten Dokumententypen zu gewährleisten.

Einige dieser Bereiche der Datenverwaltung können auch durch Produktdatenmanagement-Systeme (PDM) realisiert werden, die deutlich kostengünstiger sind und schneller eingesetzt werden können. Dies stellt zusätzlich eine notwendige Grundlage für eine PLM-Strategie dar.

Produktdatenmanagementsysteme

Produktdatenmanagementsysteme (PDM) speichern und verwalten alle relevanten produktspezifische Daten im Produktentwicklungsprozess. PDM-Systeme verfügen über Integrationen zu den CAD-Lösungen. Dadurch ergeben sich folgende Anforderungen an PDM- und resultierende PLM-Konzepte (PROCAD 2018):

- Multi-CAD-Fähigkeit: Verwaltung von Daten und Dokumenten im jeweiligen Format des OEMs.
- Rückverfolgbarkeit von Änderungen: Jede Änderung an Dokumenten und Modellen muss exakt dokumentiert werden.
- Mandantensicherung: Zwischen konkurrierenden Automobilherstellern muss eine abgeschirmte Daten- und Dokumentenverwaltung gewährleistet sein.

Enterprise Resource Planning System

Enterprise Resource Planning (ERP) Systeme werden mit dem zentralen Nervensystem eines Unternehmens verglichen (Leiting 2012). Dieser Vergleich demonstriert die Bedeutung und den Grad der Vernetzung eines ERP-Lösung. ERP-Lösungen ermöglichen verschiedene Unternehmensbereiche zu verknüpfen, um relevante Informationen und Prozessdaten auszutauschen (Klaus et al. 2000). Bei internationalen Unternehmen findet dies länderübergreifend statt (Su und Yang 2010). Alleinstehende Systemlösungen wie zum Beispiel Vertrieb, Lager und Einkauf werden durch die durchgängigen ERP-Lösungen ersetzt (Luszczak et al. 2013; Gärtner und Feldbauer-Durstmüller 2013). Ein ERP-System ist oft das dominante System in Unternehmen. Dadurch hat es viele Schnittstellen zu anderen IT-Systemen. Nachfolgend ist die Einordnung in den Produktlebenszyklus dargestellt.

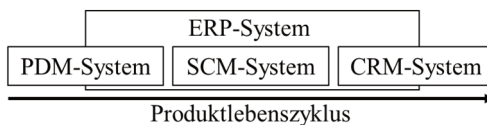


Abbildung 7: Schnittstellen eines ERP-Systems

Zentrale Schnittstellen bestehen zu dem Product Data Management System, Supply Chain Management System und dem Customer Relationship Management System. Die nachfolgende Abbildung zeigt die meist verbreiteten Module eines ERP-Systems.

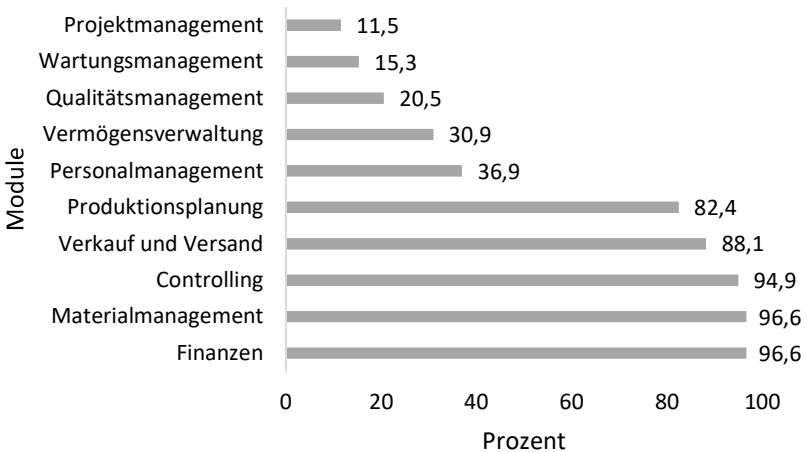


Abbildung 8: Eingesetzte ERP-Module in Unternehmen (Steiner 2014, S. 30)

Als Kernelemente einer ERP-Lösung können in der Abbildung 8 folgende Module identifiziert werden:

- Finanzen
- Verkauf und Versand
- Materialmanagement
- Produktionsplanung
- Controlling

Je nach den Bedürfnissen eines Unternehmens sollten die Module ausgewählt werden. Die Modularität ist ein wichtiger Faktor der ERP-Systeme. Modularität soll zu flexibleren Systemen, einfacheren Softwareupdates und zur geringeren Komplexität bei der Implementierung führen. (Nwankpa 2015)

Die Einführung eines ERP-Systems ist nicht nur als technische oder IT-Lösung zu verstehen (Beheshti und Beheshti 2010). ERP-Systeme unterscheiden sich

von klassischen IT-Projekten durch folgende Merkmale (Mishra und Mishra 2011):

- IT-Systeme haben Einfluss auf das gesamte Unternehmen.
- Mitarbeiter müssen sich nicht nur in Software einarbeiten, sondern auch neuen Prozessen folgen.
- Die Einführung ist eine strategische Entscheidung.

Bei einem Vergleich der Erwartung im Zuge einer ERP-Einführung in Relation zum Ergebnis ist festzustellen, dass der Zeitplan und die Kosten deutlich über den Erwartungen liegen. Der Funktionsumfang jedoch deutlich unter den Erwartungen (Momoh und Shehab 2010, S. 539). Die Gründe, dass die monetären und zeitlichen Erwartungen nicht erfüllt werden, liegt an der Komplexität der ERP-Systeme (Salajegheh et al. 2011; Nikookar et al. 2010). Die komplexe Aufgabe ist es, alle Unternehmensbereiche zu verknüpfen. Bei größeren Unternehmen ist dies mit einem ERP-System nicht immer möglich. In diesem Fall müssen für die Nischenbereiche weitere Systeme verknüpft werden (Leiting 2012).

ERP - Kritische Erfolgsfaktoren

Bei der Einführung werden mehrere kritische Erfolgsfaktoren in der Literatur erwähnt. Dabei spielt die Unterstützung des Managements eine wichtige Rolle (Nwankpa 2015; Yeoh und Koronios 2010). Eine gut durchdachte Strategie und ein gutes Projektmanagement sind dabei Voraussetzungen (Beheshti und Beheshti 2010). Ein weiterer Faktor ist die Unsicherheit und Unwissenheit von Unternehmen über ERP-Systeme (Momoh und Shehab 2010). Dafür empfiehlt sich eine fachliche Projektgruppe zu gründen und dem Thema zu widmen (Amid et al. 2012). Dabei können auch externe Consulting-Unternehmen involviert sein (Pollard und Cater-Steel 2009). Des Weiteren sind Schulungen der Mitarbeiter notwendig. Eine gute Einarbeitung vermeidet Probleme in dem späteren Alltag und die Unzufriedenheit der Mitarbeiter wird reduziert (Nwankpa 2015). Faktoren wie Teamfähigkeit, Alter und Bereitschaft sollten ebenso beachtet werden. Die technische Umsetzung allein ist nicht ausreichend (Amid et al. 2012). Nachfolgend sind kritische Erfolgsfaktoren für die Einführung von ERP-Systemen aufgeführt (Shatat 2015, S. 41):

- Unterstützung des Top-Managements
- Überwachung und Bewertung der Performance
- Klare Ziele und Vorgaben
- Schulungen zu neuen Geschäftsprozessen
- User Training und Ausbildung
- Strategische IT-Planung
- Teamarbeit
- Lieferantensupport
- Einbeziehung der User
- Projektleiter

ERP - Marktübersicht

Die internationalen Marktanteile sind in Abbildung 9 dargestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass ein Unternehmen mehrere Systeme im Einsatz haben kann. SAP ist Marktführer mit 24% gefolgt von Oracle mit 12%. Die Anbieter, die zusammengefasst wurden als „Andere“, haben jeweils einen Marktanteil unter einem Prozent.

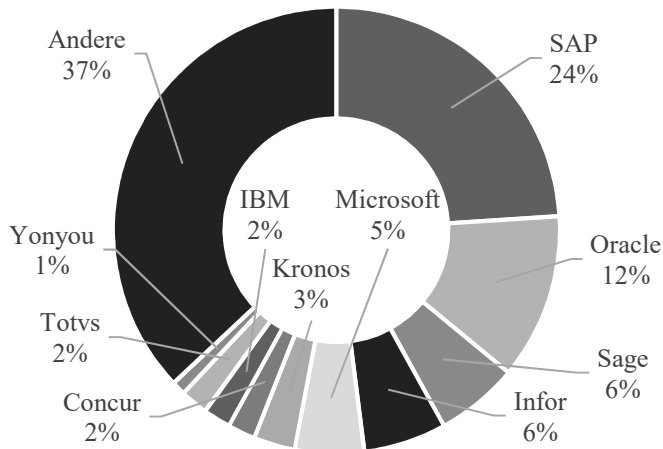


Abbildung 9: Marktanteile am internationalen ERP-Markt (Columbus 2014)

Der ERP-Markt in Deutschland wird von SAP dominiert. Viele Unternehmen entscheiden sich durch die Marktdominanz von SAP für diesen Anbieter. Die Vorteile dabei liegen in den hohen Erfahrungswerten mit der Software und in

der Sicherheit mit einem finanzstarken Anbieter zusammenzuarbeiten. Kleinere ERP-Anbieter versuchen durch kürzere Reaktionszeiten auf Kundenwünsche, Preisnachlässen und besseren persönlichen Kontakten Marktanteile zu gewinnen (Leimeister 2015, S. 242).

ERP-Systeme werden Branchenübergreifend eingesetzt. In Unternehmen können dabei mehrere Systeme, darunter auch Eigenentwicklungen, zum Einsatz kommen.

ERP - Einführung

Die grundsätzliche Art der Einführung kann in drei Vorgehen eingeteilt werden (Beheshti und Beheshti 2010):

- **Big Bang:** Das Hauptmerkmal einer Big Bang Einführung ist die kurze Einführungsphase. Dadurch ist diese Art der Einführung sehr komplex und bedarf großen Fachwissens. (Beheshti und Beheshti 2010; Vathanophas 2007)
- **Modular Implementation:** Diese Einführungsart wird auch „phase by phase“ genannt. Die einzelnen Module werden nacheinander eingeführt. Die Modulare Einführung dauert länger und ist kostspieliger als die Big Bang Methode. (Vathanophas 2007; Pollard und Cater-Steel 2009)
- **Process-Oriented Implementation:** Diese Art ist besonders für kleine und mittelständische Unternehmen geeignet, die einfache und einige kritische Prozesse haben. Bei dieser Implementation wird mit einem Geschäftsprozess gestartet, bis später sämtliche Geschäftsprozesse involviert sind. (Filinovich 2017)

Prinzipiell ist das Vorgehen immer angepasst an das Unternehmen zu gestalten. Ein beispielhaftes Vorgehen zur Einführung in einem Unternehmen wird nachfolgend nach Sun et al. vorgestellt (Sun et al. 2015, S. 42):

Phase 1: ERP-Organisationsbereitschaft

Bevor eine geeignete ERP-Lösung ausgewählt wird, wird zuerst die Einsatzbereitschaft bezüglich Ressourcen und Management bewertet. Ein Lenkungsausschuss definiert die Zielwerte der Unternehmensbereitschaft und führt dann eine Analyse durch. Dies ermöglicht dem Unternehmen frühzeitig Probleme zu eliminieren. (Sun et al. 2015, S. 42)

Phase 2: ERP-Auswahl

In dieser Phase wird die Auswahl eines geeigneten ERP-Pakets und Implementierungspartners getroffen. Ein Arbeitsausschuss wird eingerichtet, um alle Geschäftsanforderungen zu identifizieren. Ein detaillierter Bewertungsprozess für die potenziellen Pakete und Partner wird durchgeführt und ein Vertrag abgeschlossen. (Sun et al. 2015, S. 42)

Phase 3: ERP-Einführung

In dieser Phase wird der Projektumfang für die Systeminstallation festgelegt. Dazu gehört die Auswahl der Mitglieder des Projektteams und die Standards und Verfahren des Projekts. Auf Basis von Kundenanforderungen werden Geschäftsprozesse gemäß den Anforderungen neugestaltet. Darüber hinaus werden Systemkonfiguration, Test, Anwenderschulung und Installation durchgeführt und abgeschlossen. (Sun et al. 2015, S. 42)

Phase 4: ERP-Vorlauf

Die Phase ERP-Vorlauf wird sichergestellt, dass System, Prozess, Management und Benutzer auf den ERP-Live-Lauf vorbereitet sind. (Sun et al. 2015, S. 42)

Phase 5: ERP-Live-Lauf

In dieser Phase wird die Systemleistung durch Leistungsüberwachung und Kundenfeedback bewertet. Durch einen iterativen Verbesserungsprozess können Probleme erkannt und behoben werden. (Sun et al. 2015, S. 42)

Supply Chain Management System

Supply Chain Management befasst sich mit der Verbesserung und Sicherung von Güter- und Werteflüssen. Ebenso werden im Gegensatz zur Logistik auch Geldflüsse berücksichtigt. Die Komponenten innerhalb der Supply Chain beziehen sich auf die komplette Wertschöpfungskette von der Anlieferung über die Fertigung bis zum Recycling. (Werner 2010, S. 6)

Der Supply Chain Prozess umfasst zwei Hauptgeschäftsprozesse:

- Materialmanagement (innerbetrieblich)
- Warenverteilung (außerbetrieblich)

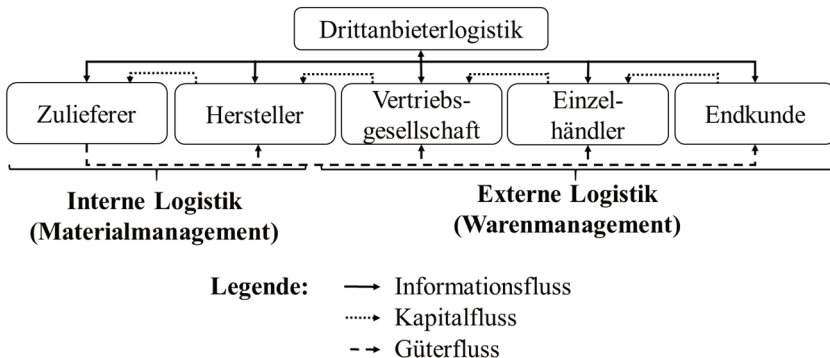


Abbildung 10: Supply Chain Process (Min 2015)

Dabei beschäftigt sich das Materialmanagement mit dem Kauf und der Lagerung der Rohmaterialien, der Teile und der Lieferungen. Dabei wird der gesamte Materialfluss, von dem Warenkauf über das Planen und Kontrollieren des Arbeitsprozesses, bis zum fertigen Produkt beachtet.

Der Fokus der Warenverteilung liegt auf der Organisation der außerbetrieblichen Logistik und dem damit verbundenen Kundenservice. Dazu gehören unter anderem Auftragsmanagement, Inventarverwaltung, Lagerhaltung, Transportsteuerung, Preisfestlegung, Rücksendungsmanagement.

Eine Supply Chain besteht aus einem Netzwerk verschiedener Akteure. Dazu gehören zum Beispiel verschiedene Kunden, Lieferanten, Produzenten, Vertriebsgesellschaften, Logistikunternehmen, Einzelhändler und Endkunden (Min 2015). In der nachfolgenden Abbildung wird beispielhaft ein Supply Chain Netzwerk dargestellt.

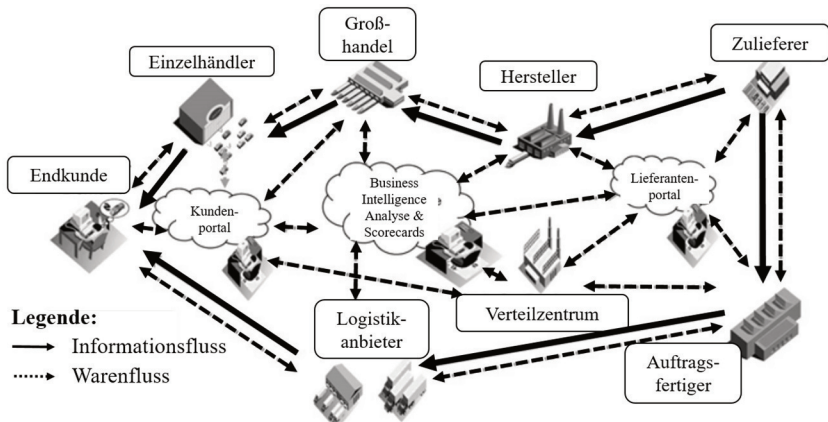


Abbildung 11: Supply Chain Netzwerk mit den Akteuren (Sherman 2014)

Die Supply Chain „Wertschöpfungskette“ orientiert sich am Wertschöpfungsgedanken. Zur internen Wertschöpfungskette gehören nach Porter die Eingangslogistik, die Operations, das Marketing, der Vertrieb, die Ausgangslogistik und der Kundendienst. Dazu gehören die Funktionen der Infrastruktur, der Personalwirtschaft, der Technologieentwicklung und der Beschaffung. (Porter 2008, S. 37)

Customer Relationship Management System

Mit Customer Relationship Management (CRM) wird die Kundenbetreuung unterstützt. Dabei wird versucht die Beziehung zu den Kunden positiv auszubauen und anhaltende Kundenverhältnisse zu gewährleisten. Dafür müssen Prozesse kundengerecht ausgerichtet sein und entsprechende Serviceleistungen zur Verfügung gestellt werden. Die Kundenzufriedenheit ist dabei die zentrale Kenngröße. (Helmke et al. 2017, S. 7)

Ein CRM-System bietet eine organisatorische und technologische Plattform für Kundenbetreuung, Marketing, Einkauf und Vertrieb. Eine Kundendatenbank bildet dabei das Fundament. Elementare Bestandteile eines CRM-Systems sind in der Abbildung 12 aufgeführt:

Zentrale Adressverwaltung	Kontakt und Terminmanagement	Angebots- und Auftragsverwaltung
Opportunity Management	Standardisierte Verkaufsmethodik	Projekt- und Kampagnenmanagement
Wettbewerbsdatenbank	Knowledge Management	Objektverwaltung
Absatzplanung und Forecasting	Produktkonfigurator	Marketingunterstützung

Abbildung 12: Elementare Bestandteile eines CRM-Systems (Brendel 2003, S. 46)

Bei der informationstechnologischen Unterstützung kann unterschieden werden zwischen operativen, kollaborativen und analytischen Ansätzen. In den jeweiligen Disziplinen werden verschiedene Methoden eingesetzt. Diese sind in der nachfolgenden Abbildung aufgeführt.

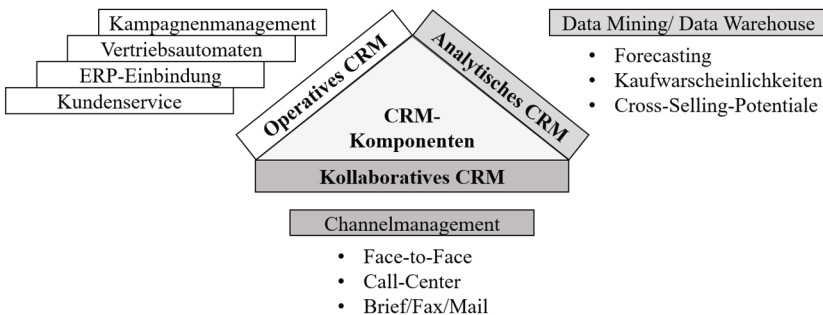


Abbildung 13: CRM-Komponenten (Helmke et al. 2017, S. 11)

Manufacturing Execution System

Die Anwendungen eines Manufacturing Execution System umfassen die Steuerung und Kontrolle der Produktion, die Bereitstellung und Verwendung von Real-Time-Daten über den Produktlebenszyklus und die schnelle Reaktionsfähigkeit bei Abweichungen des Soll-Zustandes und die Integration der Produktionsprozesse in die ERP-Systeme. (Louis 2009, S. 18)

Der Funktionsumfang heutiger MES-Systeme ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

Fertigung	Personal	Qualitätssicherung
<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsdaten • Maschinendaten • DNC • Fertigungsleitstand • Material • Traceability • Prozessdatenverarbeitung • Werkzeugmanagement • Energiemanagement 	<ul style="list-style-type: none"> • Personalzeiterfassung • Zeitwirtschaft • Personaleinsatzplanung • Leistungslohnermittlung • Zugriffskontrollsysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigungsprüfung • Reklamationsmanagement • SPC • Wareneingang/Warenausgang • Prüfmittelverwaltung • Prozessdaten • Eskalationsmanagement • Messdatenerfassung

Abbildung 14: Funktionsumfang eines MES-Systems (Kletti 2015, S. 20)

Ein MES-System schließt die Lücke zwischen ERP und Maschinensteuerung. Dadurch stellt sich die Automatisierungsebene in abstrakter Ausprägung folgendermaßen dar:



Abbildung 15: Automatisierungsebene (Dimitrov 2015, S. 14)

Im Kontext der betrieblichen Anwendungslandschaft hat das MES-System viele Schnittstellen zu anderen Systemen. Die grundsätzlichen Schnittstellen eines MES-Systems sind in der nachfolgenden Abbildung aufgeführt. Die MES-Funktionalitäten können auch von Modulen eines ERP-Systems abgedeckt werden.

Product Data Management	Manufacturing Execution System	Enterprise Resource Planning
Supply Chain Management		Customer Relationship Management
Computer Aided X		NC-Code

Abbildung 16: Schnittstellen eines MES-System in der Systemlandschaft (Kurbel 2016, S. 348)

2.2.4 Weitere IT-Systeme

Entlang des Produktlebenszyklus gibt es eine Vielzahl an unterstützenden IT-Anwendungen. Nachfolgend werden beispielhaft IT-Systeme aufgezählt.

Compliance Management	Requirements Management	Computational Fluid Dynamics	CA-Production Engineering	CA-Process Planning
CA-Software Engineering	Computer-Aided Styling	Computer-Aided Design	Computer-Aided Engineering	Computer-Aided Manufacturing
Office Systems	Parts Library	Phase-Gate Applications	Portfolio Management	Project Management
Knowledge Based Systems	Lifecycle Analysis	Haptic Applications	Model Based Design	Numerical Control
Translations Management	Virtual Engineering	Virtual Prototyping	Werkzeugdatenmanagement	3D Scanning
Electronical Data Interchange	Innovation Management	Technical Publication	Digital Manufacturing	Digital Mock-up
Computer Integrated Manufacturing	Marketing Information System	Electronical Design Automation	Customer Information System	Intellectual Property Management

Abbildung 17: Weitere IT-Systeme im Produktlebenszyklus (Eigner und Stelzer 2009; Stark 2015b; Broy et al. 2011)

In dieser Arbeit werden nur für die Ausarbeitung relevante Systeme näher erläutert. Die Tools und Methoden der Digitalen Fabrik werden in Kapitel 2 erläutert.

Computer-Aided Design

Computer Aided Design unterstützt bei der Erstellung, Analyse und Optimierung einer Konstruktion (Sarcar et al. 2008, S. 3). Von Konstrukteuren wird CAD zum Entwerfen einzelner Bauteile bis hin zum kompletten Produkt genutzt. In der Fertigung bilden CAD-Modelle die Grundlage für Stücklisten und Produktionsdaten.

Computer-Aided Engineering

Computer-Aided Engineering (CAE) ist ein Sammelbegriff für unterstützende Anwendungen durch Simulation, Validierung und Optimierung von Produkten, Prozessen und Herstellungsverfahren (Raphael und Smith 2013). Es kommen Methoden verschiedener Ingenieursdisziplinen zum Einsatz. Dazu zählen u. a. die Finite-Elemente-Analyse (FEA), die Mehrkörperdynamik, die numerische Strömungsmechanik und die Simulation von Fertigungsprozessen.

Computer-Aided Manufacturing

Computer-Aided Manufacturing (CAM) Systeme können in zwei Gruppen gegliedert werden (Elanchezhian und Sundar 2007, S. 5).

- Rechnergestützte Überwachung und Steuerung des Fertigungsprozesses
- Fertigungsunterstützende Applikationen

Anwendungen zur rechnergestützten Überwachung und Steuerung des Fertigungsprozesses unterstützen durch Kennzahlen den Fertigungsprozess.

Fertigungsunterstützende Applikationen erstellen Pläne, Anweisungen und Anforderungen bereit, um eine unterbrechungsfreie Fertigung zu ermöglichen. Neben dem Computer-Automated Process Planning (CAPP), der Fertigungsplanung und der Materialbedarfsplanung zählt vor allem Numerical Control-

Software zur Erstellung von Anweisungen für CNC-Maschinen zu den wichtigsten Anwendungen des Computer-Aided Manufacturing (Elanchezhian und Sundar 2007, S. 6).

Marketing Information System

Marketing Informationssysteme (MIS) kumulieren alle verfügbaren marketingbezogenen Daten und bieten Analysen sowie Auswertungen, auf deren Basis strategische Entscheidungen getroffen werden können (Kotler et al. 2016, 365f).

Offices-Systeme

Office Systeme zeichnen sich durch ein großes Medienspektrum aus. Mit Office Systemen können Texte, Grafiken, Bilder, Emails, Termine integriert bearbeitet werden. Des Weiteren können Office-Applikationen Daten verwalten, kommunizieren und analysieren.

Produktionsplanung und -steuerung

Die Produktionsplanung- und -steuerung (PPS) ist für die termin-, mengen- und kapazitätsbezogene Planung und Realisierung des Montage- und Fertigungsprozesses verantwortlich. Um den immer anspruchsvolleren Kundenwünschen und der erwarteten Kosteneffizienz gerecht zu werden, zählen zu den Zielen von PPS unter anderem eine hohe Termintreue, eine hohe und gleichmäßige Kapazitätsauslastung, kurze Durchlaufzeiten, geringe Lager- und Warenbestände sowie eine hohe Flexibilität (Eigner et al. 2014, 301f; Schuh und Stich 2012, S. 29). Während der Produktionsplanung wird der Ablauf der Prozesse in der Fertigung und Montage geregelt. Die Produktionssteuerung ist anschließend für die zielgerechte Zuteilung der Produktionsfaktoren zu den einzelnen Teilprozessen verantwortlich (Schuh und Stich 2012, S. 29).

Rapid Prototyping

Rapid Prototyping beschreibt Fertigungsverfahren, die das Ziel haben Geometrien schnell in Werkstücke umzusetzen. Ein Fertigungsverfahren davon ist die additive Fertigung, umgangssprachlich 3D-Druck genannt. Bei dem Verfahren wird das Werkstück schichtweise generativ erstellt.

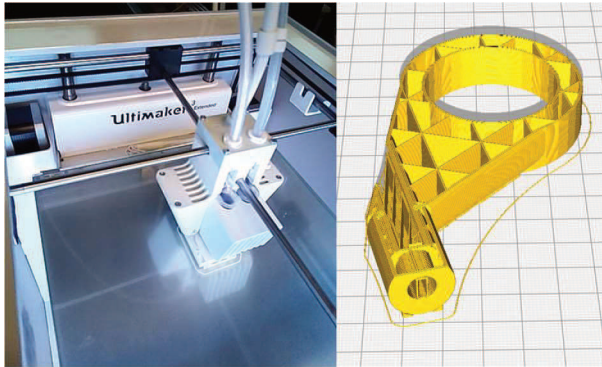


Abbildung 18: 3D-Drucker am IMI (links), Slicing Software Cura (rechts)

3D-Scanning

3D-Scanning ist der Überbegriff für verschiedene Verfahren zur Erfassung der dreidimensionalen Struktur und gegebenenfalls der Farbe von Oberflächen und Gegenständen, ohne diese zu berühren (Hinton 2017, 20f). Sehr verbreitet ist das Laserscanning, bei welchem ein Laser über das zu erfassende Objekt geführt wird und mit Hilfe von zwei Kameras die Entfernung der einzelnen Laserpunkte zueinander gemessen wird. Diese Punkte werden in einer Punktwolke festgehalten, aus welcher anschließend das Objekt digital nachgebildet wird (Bartolo 2005, 245f)



Abbildung 19: 3D-Scanning; Kamera Microsoft Kinect (links), Mesh aus Scanning (rechts)

2.3 Digitale Fabrik

Die Werkzeuge der digitalen Fabrik sind Schlüsselkomponenten von Industrie 4.0. Die digitale Unterstützung der Fabrik beinhaltet viel Potenzial bei der Optimierung von Produktionsprozessen und ist der Schritt Richtung „Smarte Fabrik“. Der Verein Deutscher Ingenieure versucht den Begriff mit folgender Definition gerecht zu werden:

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und der drei dimensional Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ (VDI 4499-1, S. 3).

Der Einsatz von Werkzeugen der digitalen Fabrik benötigt zunächst einen größeren Ressourceneinsatz. Dieser wird später belohnt durch einen reduzierten Planungs- und Abstimmungsaufwand.

Die Ziele der digitalen Fabrik lassen sich in drei Übergruppen einteilen: Kosten, Qualität und Zeit. Dabei werden jeweils Planung und Produkt/Produktion unterschieden (Abbildung 20).

		Planung	Produkt/Produktion		
	Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung redundanter Tätigkeiten • Kontinuierliche Planung und Optimierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung des Materialflusses • Verbesserung der Produktionsabläufe 		
		Unterstützung interner & externer Kommunikation			
Qualität	Planung	Produkt/Produktion		Planung	Produkt/Produktion
	<ul style="list-style-type: none"> • Einheitliche Daten- und Wissensbasis • Digitale Absicherung der Planungsergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von fehlerhaften Teilen • Standardisierung der Produktionsprozesse 		<ul style="list-style-type: none"> • Partizipative Arbeitsweise • Wiederverwendung von Daten, Informationen und Wissen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkürzung der Durchlaufzeit • Optimierung der Rüst- und Instandhaltungszeiten
				Zeit	

Abbildung 20: Einteilung der Ziele der Digitalen Fabrik (Westkämper et al. 2013, S. 112)

2.3.1 Herausforderungen der Fabrik- und Prozessplanung

Die Methoden der Fabrik- und Prozessplanung entwickeln sich weiter, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Im Folgenden sind die Herausforderungen der Unternehmen aufgeführt (Grafmüller und Habicht 2017, 269f):

- Zunehmende Variantenvielfalt
- Starke Kundenintegration
- Modularisierung der Produktion
- Steigender Preisdruck
- Turbulentes und dynamisches Marktumfeld

Aus diesen Herausforderungen können Anforderungen an die Fabrik- und Prozessplanung abgeleitet werden (Schenk et al. 2014):

- Wandlungsfähigkeit:
- Reduzierung der Komplexität
- Flexibilität
- Attraktivität der Arbeitsbedingungen
- Mobilität

2.3.2 Methoden und Tools der Digitalen Fabrik

Die Werkzeuge der Digitalen Fabrik dienen der Simulation, Visualisierung, Optimierung und Validierung von Prozessen und Planungen. Die Tools bilden immer ein Modell der Wirklichkeit nach. Eine „Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt“ (VDI 3633-1). Westkämper und Bracht identifizieren folgende Methoden (Westkämper et al. 2013; Bracht et al. 2011):

- Modellierung
- Dokumentation
- Simulation
- Kommunikation
- Optimierung
- Künstliche Intelligenz
- Visualisierung
- Datenerhebung

Die Anwendungsbereiche betreffen jeden Geschäftsbereich eines Unternehmens. Im Folgenden werden ausgewählte Tools (Abbildung 21) auf Ihre Aufgaben, sowie die eingehenden und ausgehenden Daten aufgeführt. Dabei orientiert sich die Auflistung und deren Inhalt an der VDI-Studie: Informationsmodell der Digitalen Fabrik (Haas und Ovtcharova 2016).

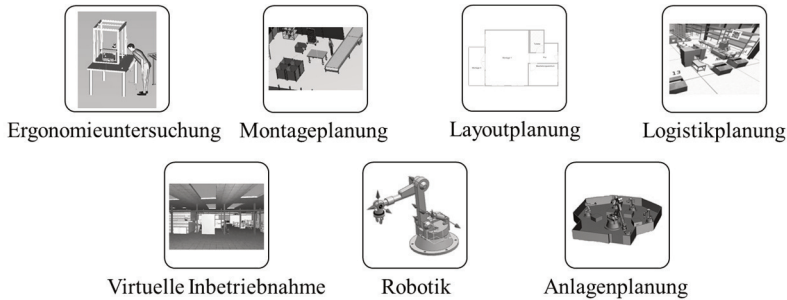


Abbildung 21: Auswahl von Tools der Digitalen Fabrik

Layoutplanung

Die Aufgabe der Layoutplanung (innerbetriebliche Standortplanung) ist es, eine möglichst optimale Anordnung von Ressourcen für den Produktionsprozess zu gestalten. Diese können anhand von Kosten oder Zeitkriterien ausgerichtet sein (Scholz 2010, S. 1). Neben der Gestaltung der Fertigungseinrichtung gehört auch die Planung der Gebäudearchitektur dazu. Dabei ist die technische Gebäudeausrichtung zu beachten (Heizung, Klima, Lüftung, Elektronik, Gas, Wasser, Druckluft) (Weinert 2005, S. 514). Bei der Layoutplanung gibt es sechs verschiedene Planungsfälle (Plümer und Steinfatt 2017, S. 210):

- Neuplanung
- Erweiterungsplanung
- Strukturerneuerungsplanung
- Reduzierungsplanung
- Verlagerungsplanung
- Ausgliederungsplanung

Zu den Zielen der Layoutplanung gehören neben den Kosten und Zeitaspekten auch schwer quantifizierbare Ziele. Dazu zählt die Reduzierung der Durchlauf-

zeit. Die Arbeitssicherheit und humane bzw. attraktive Arbeitsplätze sollen gewährleistet sein. Eine geringe Störanfälligkeit trotz hoher Flexibilität der Fertigung soll gewährleistet sein. (Plümer und Steinfatt 2017, S. 210)

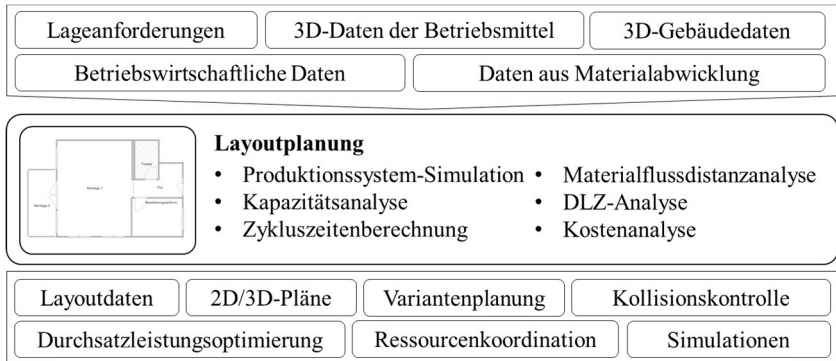


Abbildung 22: Layoutplanung: Aufgaben und Informationen

Montageplanung

Bei der Montageplanung können Montageabläufe simuliert werden. Daraus kann eine optimale Gestaltung von Montagesystemen abgeleitet werden. Eine wichtige Rolle dabei spielt die Flexibilität der Produktionsstruktur. Dadurch soll eine schnelle Anpassung an neue Produkte gewährleistet werden.

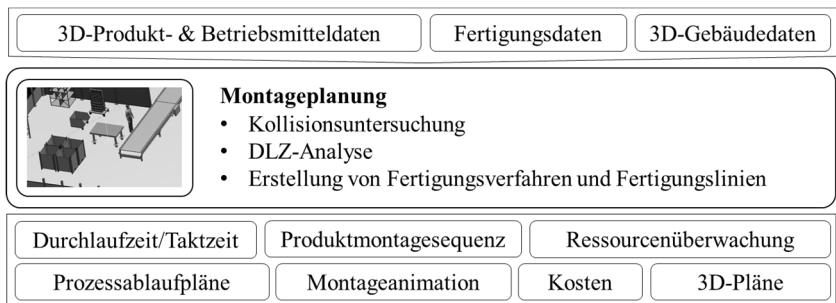


Abbildung 23: Montageplanung: Aufgaben und Informationen

Logistikplanung

Unter Logistikplanung ist die „[...] marktorientierte, integrierte Planung, Gestaltung, Abwicklung und Kontrolle des gesamten Material- und dazugehörigen Informationsflusses zwischen einem Unternehmen und seinen Lieferanten, innerhalb eines Unternehmens, sowie zwischen einem Unternehmen und seinen Kunden“ (Schulte 2013). Neben der operativen Bedeutung beinhaltet die Logistik auch strategische Aspekte.

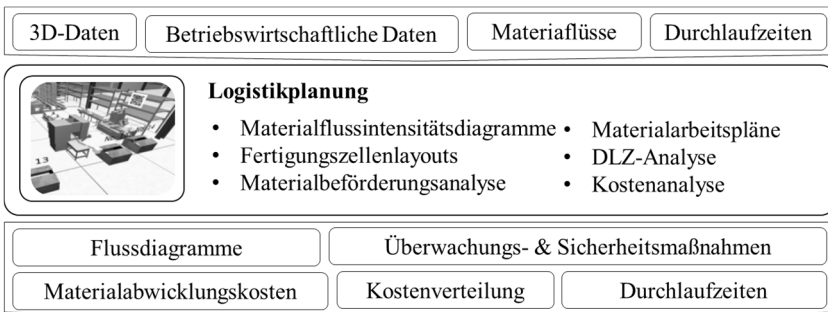


Abbildung 24: Logistikplanung: Aufgaben und Informationen

Ergonomieuntersuchung

Ergonomieuntersuchungen nutzen um geplante Montagevorgänge und deren Auswirkungen auf die körperlichen Beanspruchungen zu überprüfen. Dadurch können Konzepte für die Arbeitsplatzgestaltung abgeleitet werden (Bracht et al. 2011, S. 41). Eine Ergonomieuntersuchung wird häufig mit zur Hilfenahme von Menschmodellen realisiert. Anwendungsfelder sind unter anderem Arbeitsplätze, Fahrzeuginnenräume, Cockpits. Dabei werden biomechanische, digitale menschliche Modelle in virtuellen Umgebungen platziert. Dabei können verschiedene Analysen durchgeführt werden. Dazu gehören die Ermittlung des Platz- oder Raumbedarfs, Erreichbarkeitsstudien, Simulation der Kräfte und Zeitermittlungen (Tümmeler, S. 16).

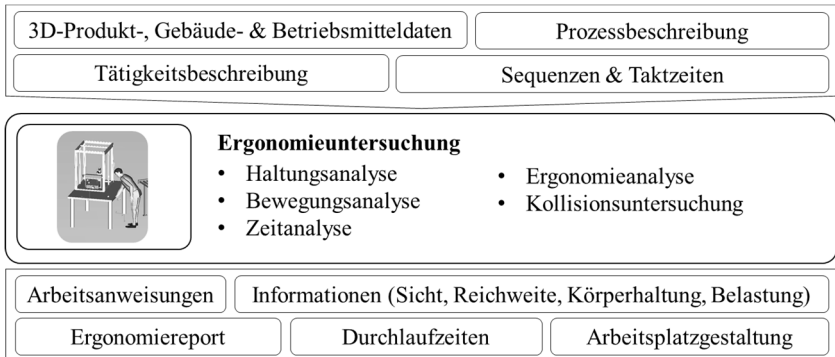


Abbildung 25: Ergonomieuntersuchung: Aufgaben und Informationen

Virtuelle Inbetriebnahme

Die virtuelle Inbetriebnahme ermöglicht durch Simulationstechniken eine Inbetriebnahme bevor die Anlage realisiert wird. Dabei können sowohl Hardware als auch Softwaresimulationen durchgeführt werden. Durch die Tests können Trainingsszenarios und Fehleranalysen durchgeführt werden. Durch diesen Prozess können Fehler früh erkannt werden. Des Weiteren kann die virtuelle Einarbeitung erhebliche Zeiteinsparungen bei der Inbetriebnahme zur Folge haben. (Schreiber und Zimmermann 2011, S. 213; Zäh et al. 2006)

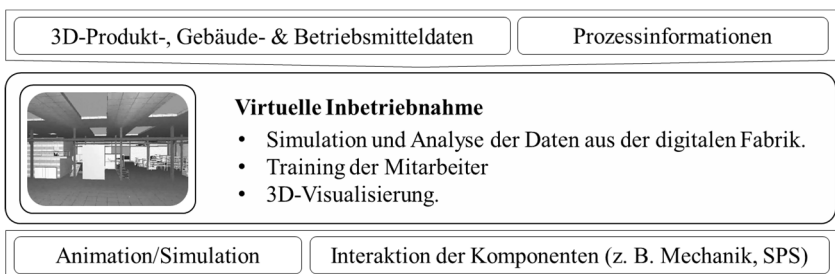


Abbildung 26: Virtuelle Inbetriebnahme: Aufgaben und Informationen

Robotik

Bei der Planung von Roboterzellen sind Vorgaben (Robotertyp, Umgebung), sowie betriebliche Restriktionen (Räume, Standorte) und produktionsspezifische Gegebenheiten entscheidende Faktoren.

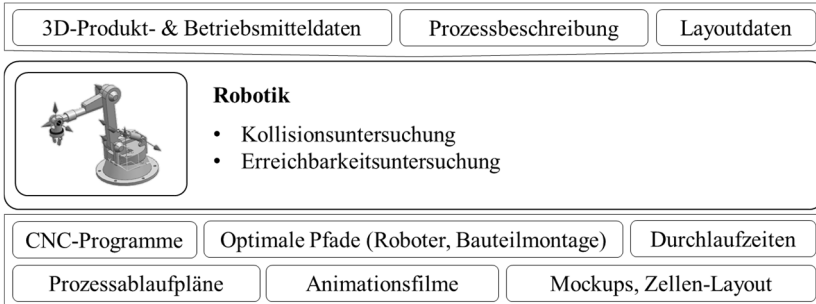


Abbildung 27: Robotik: Aufgaben und Informationen

Anlagenplanung

Bei der Anlagenplanung wird gesteuert, wie technische Komponenten zu einem Gesamtsystem zusammengefügt werden. Bei der Realisierung spielen verschiedene Fachbereiche eine Rolle (z. B. Elektrotechnik, Mechanik, Produktionstechnik, Verfahrenstechnik).

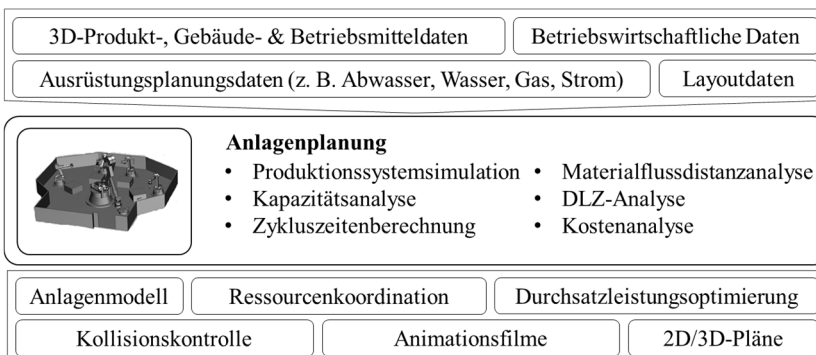


Abbildung 28: Anlagenplanung: Aufgaben und Informationen

2.3.3 Virtual Engineering

Die Weiterentwicklung von konventionellem Engineering zum Virtual Engineering ist aufgrund der neuen Modellierungs- und Interaktionsparadigmen, Technologielösungen und Arbeitskulturen ein notwendiger Fortschritt. Virtual Engineering bietet eine integrierte Prozess-System-Sicht auf das Ganze und schafft die Möglichkeit noch nicht existierende Produkte virtuell handzuhaben und zu analysieren. (Ovtcharova et al. 2015, 111f)

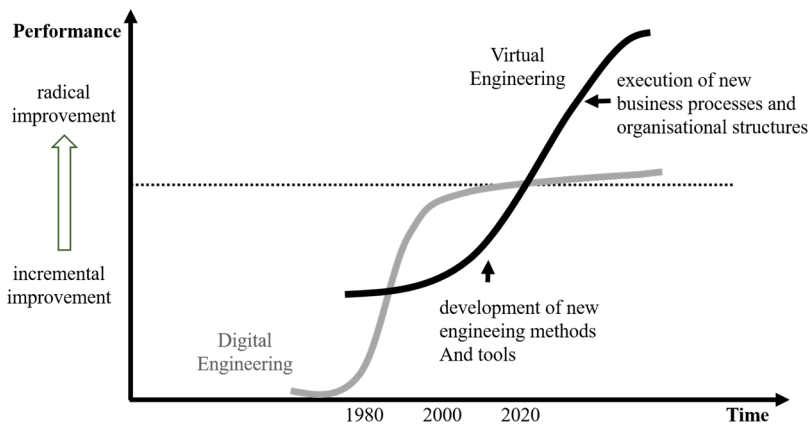


Abbildung 29: Digital und Virtual Engineering (Ovtcharova 2010)

Die Technik für die Nutzung von Virtual Engineering wird immer erschwinglicher und bietet viel Potenzial im Bereich Engineering. Die Einsatzgebiete sind entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu finden. Von der Entwicklung über die stetige Validierung bis zur Verkaufsunterstützung.

2.4 Industrie 4.0

"Times is not passing faster than in earlier times, but we do walk by faster"

-George Orwell, Schriftsteller-

Die Initiative „Industrie 4.0“ hat als Ziel, die deutsche Industrie für die Zukunft wettbewerbsfähig zu machen. Die Kernelemente von Industrie 4.0 sind (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2017):

- Die Individualisierung der Produkte unter Bedingungen einer flexiblen Produktion.
- Einbindung von Kunden und Geschäftspartnern in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse.
- Verbindung der Produkte mit Dienstleistungen.
- Steuerung der Produktion in Echtzeit mit intelligenten Monitoring- und Entscheidungsprozessen.

Auf Basis von intelligenten und vernetzten Systemen soll eine selbstorganisierte Produktion ermöglicht werden. Dabei spielen Cyber Physische Systeme (CPS) eine elementare Rolle (2.4.2).

Die Initiative „Industrie 4.0“ wird auch als vierte industrielle Revolution bezeichnet. Eine industrielle Revolution bedeutet einen Meilenstein bei der Entwicklung und hat gesellschaftliche Folgen. Die Grundlage der Digitalisierung bildet auch die extreme Leistungssteigerung der Hardware im IT-Umfeld. Das Mooresche-Gesetz sagt, dass die Leistung der digitalen Hardware exponentiell wächst (Broy 2010, S. 19).

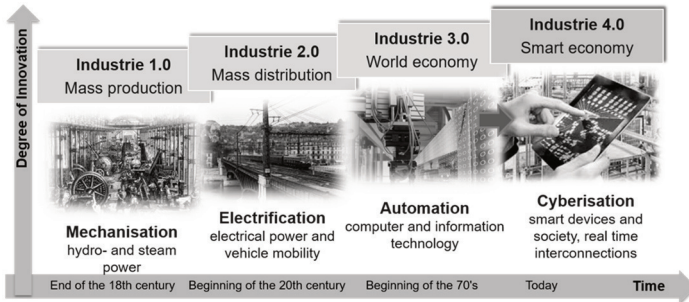


Abbildung 30: Industrielle Revolutionen (Ovtcharova und Gabler 2017)

Nach Ovtcharova bedeutet die vierte industrielle Revolution die „Cyberisierung“ (Abbildung 30). Dieser Begriff beschreibt treffend die aktuelle Entwicklung. Smarte Geräte unterstützen, automatisieren und analysieren dabei in Echtzeit Vorgänge. Die physische Welt verschmilzt mit der virtuellen Welt und alles wird vernetzt über das Internet. Weltweit werden Anstrengungen unternommen und Programme finanziert, die die Digitalisierung vorantreiben sollen. Nachstehend sind die europäischen Aktivitäten in diesem Bereich dargestellt (Abbildung 31).

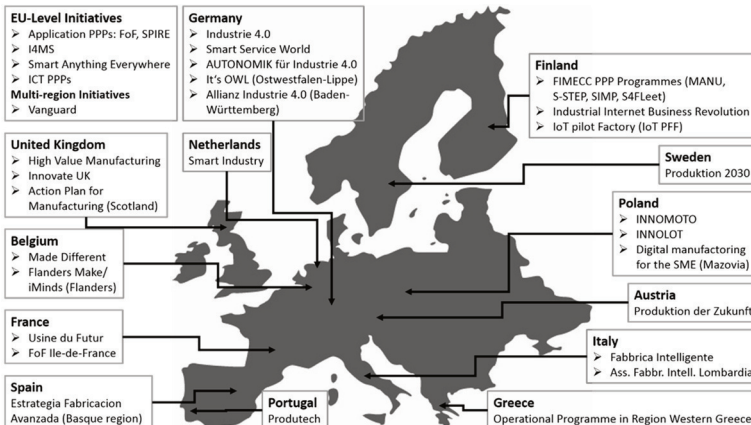


Abbildung 31: Europäische Initiativen im Bereich Industrie 4.0 und Digital Factory (European Commission 2015)

2.4.1 Theoretische Grundlagen von Industrie 4.0

Eine Grundlage für Industrie 4.0 ist das Internet der Dinge. Das Internet der Dinge zeichnet sich aus durch die technologische Konvergenz, die informationstechnische Vernetzung und die Autonomie (Abicht und Spöttl 2012, S. 30).

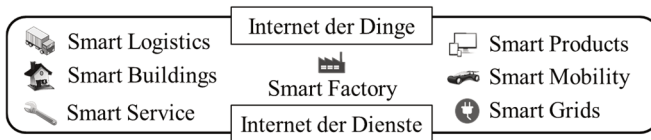


Abbildung 32: Internet der Dinge (Huber 2016)

Zur Vernetzung sind eingebettete Systeme, die in Objekten integriert werden, wichtig. Diese können mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattet werden. Diese „smarten Objekte“ können dann Daten erfassen, auswerten, über das Internet kommunizieren und aktiv werden (Vogel-Heuser et al. 2017, 236f). Zur Entwicklung von neuen Produkten und Geschäftsmodellen entwickelte der ZVEI das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0).

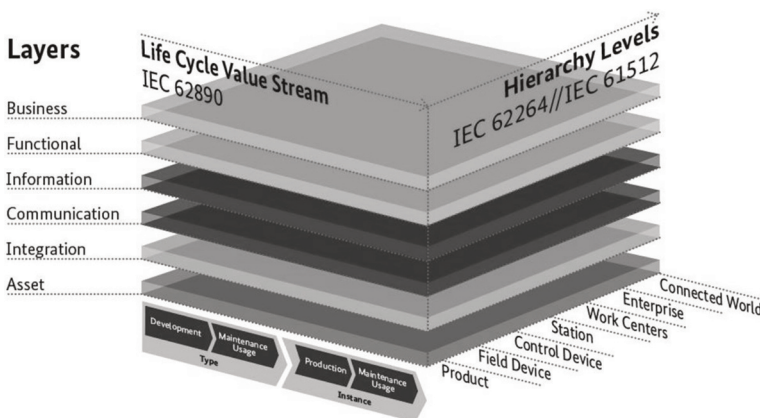


Abbildung 33: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Plattform Industrie 4.0 2019)

Entlang der linken horizontalen Achse ist der Lebenszyklus von Anlagen und Produkten dargestellt. In der Lebensphase wird dabei zwischen Typ und Instanz unterschieden. Sobald ein Typ die Entwicklungs- und Prototypenphase durchlaufen hat, wird daraus eine Instanz. Auf der rechten horizontalen Achse sind die Hierarchiestufen aufgeführt. Die Stufen stellen die Funktionalitäten im Unternehmen dar und sind eine Erweiterung der Automatisierungspyramide. Entlang der vertikalen Achse sind die Layer dargestellt. Diese stellen die IT-Repräsentanz (digitales Abbild) der Objekte dar (Hankel 2015). Das RAMI-Modell hat als Basis das Referenzarchitekturmodell für Smart Grid und basiert dadurch auf entwickelten Best Practice Lösungen (Wollert 2016).

2.4.2 Cyber-Physische-Systeme

Ein essentieller Bestandteil der holistischen Vernetzung der Fabrik sind Cyber Physische Systeme. CPS sind Assets (reale „Ding“), die über das Internet in die Informationsstruktur des Unternehmens eingebunden sind. „Cyber Physische Systeme sind hochkomplexe Produktionsstrukturen, die zu einem wesentlichen Anteil auf dem Grundgedanken der Integration und Kommunikation der beteiligten Teilsysteme beruhen“ (Schuh und Stich 2014, S. 73). Durch die Integration von Cyber Physischen Systemen wandelt sich die ursprüngliche Automatisierungspyramide zu einem Netzwerk dezentraler Systeme.

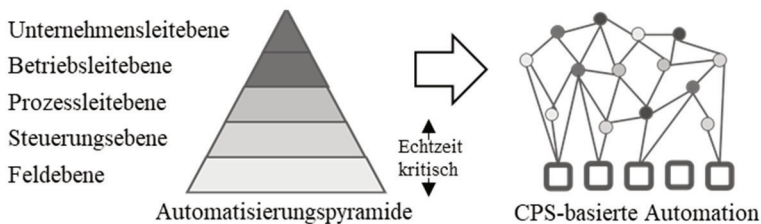
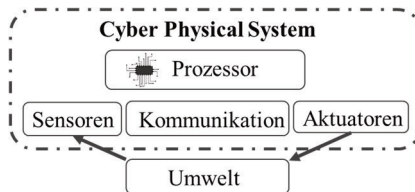


Abbildung 34: Auflösung der Automatisierungspyramide (VDI/VDE-Gesellschaft 2013, S. 4)

CPS sind Maschinen, Anlagen und Geräte, die miteinander vernetzt sind. Sensoren sind dabei ein Schlüsselement, die Daten erfassen und verarbeiten. Aus

den erfassten Daten können durch entsprechende Analysen Prognosen (Predictive Maintenance) und Gesamtüberblicke (Condition Monitoring) abgeleitet werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die grundsätzlichen Bestandteile eines Cyber-Physischen Systems.



**Abbildung 35: Bestandteile eines Cyber Physischen Systems
(Wiesner und Thoben 2017, S. 68)**

Cyber-Physische Systeme bestehen auf der physischen Ebene aus Sensoren, Aktoren und weiteren Schnittstellen. Die Sensoren und Aktoren sind eingebettete Systeme, die mit der Umwelt interagieren. In der Verarbeitungseinheit werden die Informationen erfasst und weiterverarbeitet. Die Vernetzung wird durch Kommunikationsschnittstellen ermöglicht. Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten der Vernetzung (Vogel-Heuser et al. 2017, S. 79):

- Horizontale Vernetzung: Vernetzung zwischen mehreren CPS auf der gleichen Ebene.
- Vertikale Vernetzung: Vernetzung zwischen mehreren CPS auf unterschiedlichen Skalen der Fabrik

Die Integration von CPS in die bestehende Systemlandschaft ist die Voraussetzung für eine „smarte“ & untereinander kommunizierende Fabrik. Die Vernetzung beziehungsweise Integration ist mit zwei Haupthindernissen verbunden (Jirkovsky et al. 2017, S. 661):

- Die Low-Level Integration ist die Vernetzung zwischen den Komponenten eines Cyber Physischen Systems. Die verschiedenen Schichten benutzen unterschiedliche Semantik und verursachen damit Schnittstellenprobleme.

- Die High-Level Integration betrifft die Vernetzung von mehreren Cyber Physischen Systemen. Die Schwierigkeit liegt dabei in der Systemwartung, Störungsbehebung, hinzufügen und entfernen von Komponenten und Wiederverwendbarkeit.

Cyber Physische Systeme, die in der Produktion eingesetzt werden, nennen sich Cyber Physische Produktionssysteme (CPPS). CPPS bestehen aus autonomen und kooperativen Elementen, die über alle Ebenen hinweg, von Produktion, Prozessen über Maschinen bis hin zu Produktions- und Logistiknetzwerken, miteinander kommunizieren (Monostori 2014, S. 10). Nachfolgend ist das Konzept eines CPPS dargestellt.

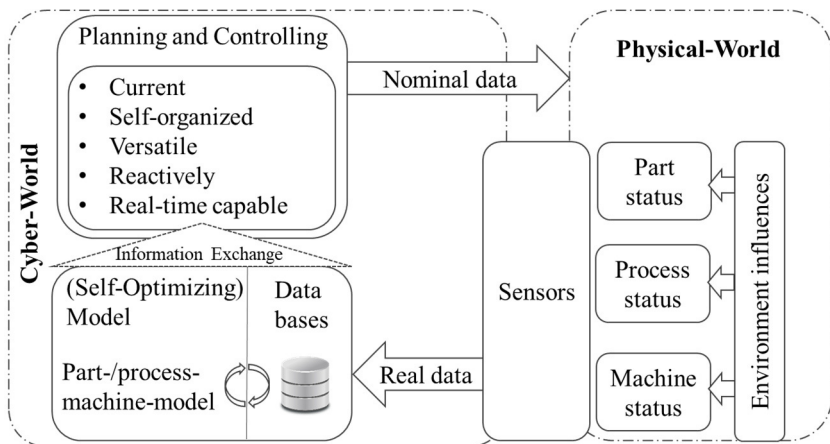


Abbildung 36: Konzept eines Cyber Physical Production System (Imkamp et al. 2016, S. 326)

2.4.3 IT-Infrastruktur

Eine gut ausgebaute IT-Infrastruktur ist die Grundlage um den Herausforderungen für Industrie 4.0 gerecht zu werden. Laut dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) ist der Ausbau der digitalen Netze nicht zufriedenstellend. Bei der Netzabdeckung und der Geschwindigkeit befindet sich Deutschland von den Industriestaaten im Mittelfeld (Donaukurier 2016). Mit

der "Digitalen Agenda 2014" hat die Bundesregierung die ersten Schritte zum Ausbau des deutschen Breitbandausbaus gemacht. Im Jahr 2018 sollen allen deutschen Haushalte mindestens eine 50 Mbit/s Leitung zur Verfügung stehen. Weiter sollen in Zukunft bei jeder Baumaßnahme an Verkehrswegen Glasfaserkabel mit verlegt werden, um so den digitalen Netzausbau zu beschleunigen (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.html (BMVI) 2017). In ländlichen Gebieten besteht ein Defizit der Breitbandnetze und digitalen Netze. Die sinkende Einwohnerdichte in ruralen Gebieten senkt die Investitionsbereitschaft eines IT-Netzausbaus. Somit haben Regionen mit geringerer Einwohnerdichte tendenziell eine geringere Datenübertragungsgeschwindigkeit als Regionen mit höherer Einwohnerdichte. Außerdem ist ein Ost-West Gefälle zu registrieren (Schlag 2012).

Durch Industrie 4.0 ändert sich die Art der Datenspeicherung. Daten werden nicht mehr lokal auf Server gespeichert, sondern in ‚Clouds‘ (Reinheimer 2017, 31f). Cloud-Computing ist folgendermaßen definiert: „Unter Ausnutzung virtualisierter Rechen- und Speicherressourcen und moderner Web-Technologien stellt Cloud-Computing skalierbare, netzwerk-zentrierte, abstrahierte IT-Infrastrukturen, Plattformen und Anwendungen als on-demand Dienste zur Verfügung. Die Abrechnung dieser Dienste erfolgt nutzungsabhängig“ (Baun et al. 2011, S. 4). Auf dem deutschen Cloudmarkt gibt es nur wenige einheimische Anbieter. Die größten davon sind die "JiffyBox" von der Domainfactory GmbH, die "ccloud" von der Centron GmbH, eine Cloud von Nionex und eine Cloud von Strato. All diese Cloudanbieter haben ihre Hardwarekomponenten in Deutschland. Die Konkurrenz aus dem Ausland ist groß. Die Anbieter aus den USA unterscheiden sich hauptsächlich von den deutschen Anbietern durch leistungsfähigere Speicherkapazitäten und Arbeitsspeicherkapazitäten (Hähle 2017).

Das Internet als Basis für eine weltweite Vernetzung unterliegt länderspezifischen Einschränkungen. In Deutschland basiert die Gesetzeslage auf dem Schutz vor Gewalt und Missbrauch. Hauptsächlich werden Internetseiten mit verbotenen pornographischen Inhalten, Gewalt und Musikinhalten, welche nicht der Lizenz der Gema unterliegen, gesperrt (Informatik und Gesellschaft

2015). Es sind zum Beispiel 60% der weltweit 1000 beliebtesten Youtube Videos nicht verfügbar, da diese Musik enthalten, welche von der Gema in Deutschland nicht lizenziert ist (welt 2013). Am 30.06.2017 wurde ein Gesetz gegen die Verbreitung von "Fakenews" vom Bundestag beschlossen.

Eine wichtige Rolle spielt die IT-Sicherheit. Die weltweiten Ausgaben für die IT-Security stiegen um 7,9% im Jahr 2016 und summierten sich auf etwa 81,6 Milliarden Dollar (Maier 2016). Auch in Zukunft ist zu erwarten, dass vor allem aufgrund eines wachsenden Open Cloud Marktes die Nachfrage nach Firewall Produkten weiter steigen wird und sich die Ausgaben für IT-Sicherheit weiter erhöhen. Der letzte größere bekannte Angriff war der sogenannte "Wanna Cry"-Angriff im Mai 2017. Insgesamt waren 302 000 Computer in 150 Ländern betroffen (Höhne 2017).

2.4.4 Datenqualität

Daten sind in der Digitalisierung ein wertvolles Gut. Täglich werden in Unternehmen Millionen von Datensätzen erzeugt (Helmis und Hollmann 2009). Durch den Einsatz von Sensoren und detailliertere Simulationen der Prozesse kommt es zu einer regelrechten Datenflut, bekannt unter der Bezeichnung Big Data. Diese Daten effizient auszuwerten und die gewonnenen Informationen zu nutzen ist ein entscheidender Erfolgsfaktor für Unternehmen. Bei einer mangelhaften Datenqualität (z. B. Unvollständigkeit, Inkonsistenz oder Überalterung der Daten) führt dies schnell zu Fehlentscheidungen und dies kann weitreichende Folgen haben.

In der Literatur sind verschiedene Definitionen der Datenqualität zu finden. Dabei werden die Begriffe Daten und Qualität oft zuerst getrennt betrachtet. Qualität ist gemäß der DIN EN ISO 9000:2015 definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“ (DIN EN ISO 9000). In der DIN 55350-100 wird die Datenqualität als „[...] die an der geforderten Beschaffenheit gemessene realisierte Beschaffenheit“ definiert (DIN EN ISO (Deutsches Institut für Normung e. V.) 55350-100. Beuth Verlag GmbH, S. 16).

Daten versus Informationen

Die Unterscheidung von Daten und Informationen kann mithilfe der allgemeinen Lehre von Zeichen, Zeichensystemen und Zeichenprozessen definiert werden. Hierbei werden Syntaktik, Semantik und Pragmatik getrennt betrachtet. Daten bilden die syntaktische Ebene und sind eine maschinenlesbare Aneinanderreihung von Zeichen, ohne Betrachtung ihrer Bedeutung. Das Hinzufügen der Bedeutung einer Zeichenfolge führt zur semantischen Ebene, den Informationen. Die letzte Stufe stellt die Pragmatik dar. Hier werden Informationen zu Wissen, indem sie um die Absicht und den Wert für die Benutzer ergänzt werden (Apel, D., R. et al. 2015, S. 4). Der Zusammenhang dieser drei Aspekte wird in Abbildung 37 in Form eines semiotischen Dreiecks veranschaulicht.

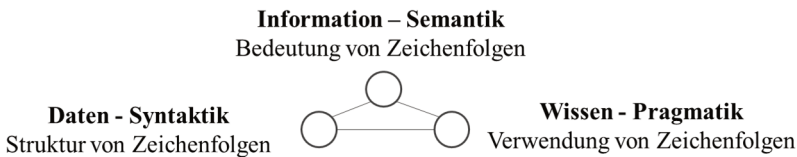


Abbildung 37: Semiotisches Dreieck (Apel, D., R. et al. 2015, S. 4)

Datenqualitätsdimensionen

Datenqualität kann in verschiedene Dimensionen unterteilt werden (Apel, D., R. et al. 2015, S. 7). Eines der ersten Datenqualitätsmodelle lieferten Wang und Strong 1996. Sie unterteilten Datenqualität in die vier Unterpunkte (Wang und Strong 2015, S. 20):

- Intrinsische Qualität
- Kontextbezug
- Repräsentation
- Zugänglichkeit

Im Jahr 2007 veröffentlichte die Deutsche Gesellschaft für Informations- und Datenqualität (DGIQ) eine praxisorientierte Aufteilung (Abbildung 38). Es werden insgesamt 15 Qualitätsmerkmale in die vier Kategorien System, Nutzung, Darstellung und Inhalt unterteilt (Apel, D., R. et al. 2015, S. 11).

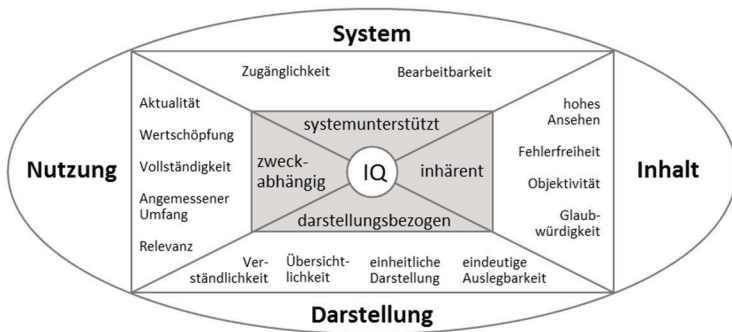


Abbildung 38: Datenqualitätsmodell nach der DGIQ (Apel, D., R. et al. 2015, S. 11)

Die DIN EN ISO 9000:2015-11 definiert einen Mangel im Rahmen des Qualitätsmanagements als Nichtkonformität bzw. Nichterfüllung einer Anforderung „in Bezug auf einen beabsichtigten oder festgelegten Gebrauch“ (DIN EN ISO 9000. Beuth Verlag GmbH).

Datenqualitätsmängel

Fehler bei den Daten können sowohl bei einer einzelnen Datenquelle als auch bei mehreren Datenquellen auf zwei verschiedenen Ebenen vorkommen – der Instanz- und der Schemaebene (Helmis und Hollmann 2009, S. 9).

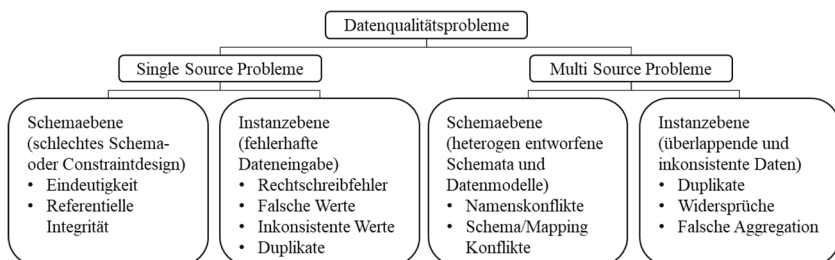


Abbildung 39: Datenqualitätsprobleme (Helmis und Hollmann 2009, S. 111)

Fehler auf Instanzebene sind oft auf eine manuelle Dateneingabe zurückzuführen. (Helmis und Hollmann 2009, S. 9). Auf Schemaebene hingegen liegen die Fehler in der Datenstruktur selbst. (Helmis und Hollmann 2009, S. 110).

Bei Daten, die aus mehreren Quellen stammen, beziehen sich die Probleme zusätzlich auf die Integration der Daten unterschiedlicher Datenbanken. Schwierigkeiten auf der Schemaebene liegen bei der Heterogenität der Datenquellen. Synonyme und homonyme Bezeichnungen der Attribute können schnell zu Konflikten führen. Auf der Instanzebene ist auf Duplikate, Widersprüche, unterschiedliche Repräsentationsformen gleicher Inhalte zu achten. Oftmals kommen bei verschiedenen Datenquellen teilweise interferierende Datensätze vor (Helmis und Hollmann 2009, S. 10). Grundlegende Fehler bei der Datenerfassung können zumeist auf Bedien- und Eingabefehler (z. B. Rechtschreibfehler, verschiedene Abkürzungen, Fehlinterpretationen) zurückgeführt werden. Mitarbeitern fehlt oft die nötige Sensibilität für das Thema Datenqualität (Apel, D., R. et al. 2015, 28f; Helmis und Hollmann 2009, S. 112). Bei der Erfassung müssen die Inhalte auf das richtige Format, sowie auf die Plausibilität und Duplikate geprüft werden (Helmis und Hollmann 2009, S. 112). Eine weitere Fehlerquelle ist der Datenverfall. Im Laufe der Zeit werden Daten ungültig und müssen überarbeitet werden. Eine fehlende Prozessunterstützung von Korrekturen in Kombination mit einem fehlenden Problembewusstsein und mangelnden Ressourcen führen zum Verlust der Aktualität (Apel, D., R. et al. 2015, S. 33). Sowohl strategische oder operativen Fehlentscheidungen und Fehlplanungen können auf Basis inkorrekt, nicht aktueller und unvollständiger Informationen, zu hohen Verlusten führen (Hildebrand et al. 2015, S. 104).

Datenqualitätsmessung

Die gezeigte Datenqualitätspyramide (Abbildung 40) stellt den grundlegenden Aufbau eines Datenqualitätsmesssystems dar. Um den Erfüllungsgrad der einzelnen Merkmale objektiv auswerten zu können, müssen aussagekräftige Metriken verwendet werden. Diese dienen dazu, die Kriterien zu operationalisieren und in entsprechenden interpretierbaren Kennzahlen widerzuspiegeln. Um jedoch geeignete Metriken definieren zu können, werden Geschäftsregeln

benötigt, die verschiedene Objekte in einen auf Fachwissen basierten Zusammenhang bringen. (Hildebrand et al. 2015, S. 92)

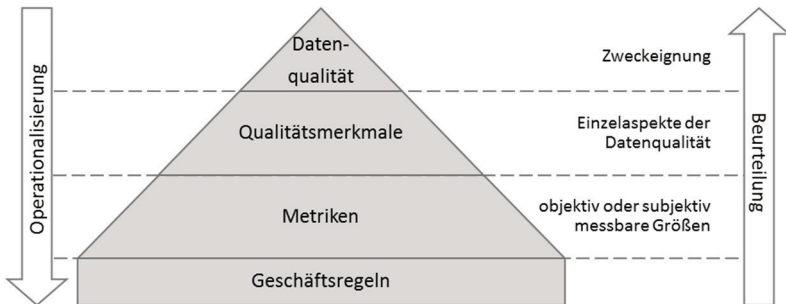


Abbildung 40: Datenqualitätspyramide (Hildebrand et al. 2015, S. 92)

Nachfolgend werden die einzelnen Bausteine der Datenqualitätspyramide erklärt. Die Geschäftsregeln dienen zur automatisierten Überprüfung der Datenqualität. Sie bilden eine Brücke zwischen dem Geschäftsprozess- und dem Datenmanagement (Otto und Österle 2015, 33f; Sadiq 2013, 133f). Die Regeln können sich hinsichtlich ihrer Komplexität stark unterscheiden. Komplexere Regeln müssen für die Validierung eine Vielzahl von Datensätzen betrachten (Sadiq 2013, S. 133). Das Datenmanagement ist dafür zuständig, relevante Regeln zu identifizieren, sie festzuhalten und bei Bedarf zu überarbeiten. Um ein gutes Verständnis für mögliche Bedingungen zu bekommen, ist es notwendig eine ausführliche Datenanalyse durchzuführen. Sind die Regeln zu allgemein definiert, verliert das Ergebnis an Aussagekraft. Sind diese zu restriktiv festgelegt werden Prozesse in ihrer Flexibilität gestört. (Otto und Österle 2015, 34ff) Die Geschäftsregeln bilden die Basis für jegliche Datenqualitätsanalysen und entscheiden darüber, ob die Ergebnisse einer Analyse belastbar sind oder nicht. (Otto und Österle 2015, S. 36)

Datenqualitätsmetriken

Metriken liefern eine Projektion der Güte objektiver DQ-Merkmale auf einen quantitativen Wert (Klier 2008). So lassen sich Verstöße einzelner Datenfelder in großen Datenmengen in einer Kennzahl zusammenfassen und in einem zeit-

lichen Verlauf abbilden (Sadiq 2013, S. 133). Eine einfache und oft angewendete Metrik ist die prozentuale Angabe der Nichteinhaltung. Um einen effizienten Einsatz der Metriken zu ermöglichen werden verschiedene Anforderungen gestellt (Klier 2008; Hildebrand et al. 2015):

- Normierung: Für den Vergleich von Metrik-Ergebnissen, müssen diese normiert werden (z.B. auf das Intervall $[0; 1]$).
- Kardinale Skalierung: Um die zeitliche Entwicklung bemessen zu können, müssen die Unterschiede verschiedener Merkmalsausprägungen bestimmbar sein.
- Sensibilisierbarkeit: Metriken müssen auf den genauen Anwendungszweck anpassbar sein (z.B. eine flexible Gewichtung).
- Aggregierbarkeit: In relationalen Datenbanken kann eine Analyse auf Attribut-, Tupel-, Relationen- und Datenbankebene stattfinden, wofür jeweils eine Aggregierbarkeit der Ergebnisse einer Ebene zu der nächsthöheren Ebene möglich sein soll.
- Fachliche Interpretierbarkeit: Die Möglichkeit einer sowohl fachlichen als auch reproduzierbaren Interpretation muss gewährleistet sein.

Datenqualitätssoftware

Der Markt von Datenqualitätstools wächst aufgrund steigender Nachfrage. Das Marktforschungsunternehmen Gartner analysierte die wichtigsten DQM-Tool Anbieter auf diesem Segment.



Abbildung 41: Vergleich von Datenqualitätstools (Judah et al. 2016)

2.5 Fazit

Ziel dieses Kapitel ist es, einen Überblick über den Stand der Technik im Bereich des Produktlebenszyklusmanagements und der Digitalen Fabrik zu geben. Des Weiteren werden die neuen Herausforderungen durch Industrie 4.0 thematisiert. Zunächst ist das Konzept des Product Lifecycle Managements erklärt. Das kurzfristige und langfristige Potenzial durch den Lebenszyklusansatz wird dabei hervorgehoben. Neben dem Konzept sind die Werkzeuge und IT-Systeme zur Umsetzung von Product Lifecycle Management erörtert. Eine Vielzahl von IT-Systemen wird in Unternehmen eingesetzt. Es gibt dabei keinen einheitlichen Aufbau und Inhalt der Systeme. Je nach Vendor können diese unterschiedliche Funktionen umfassen. Die Hauptsysteme sind PLM, PDM, ERP, SCM, CRM und MES. Analog zum Themenbereich Product Lifecycle Management wird das Gebiet der Digitalen Fabrik thematisiert. Nach einer Beschreibung der Digitalen Fabrik sind die Werkzeuge erklärt. Es zeigt sich, dass die eingesetzten Tools schwer zu klassifizieren sind, da diese oft Überschneidungen haben und es eine Vielzahl von speziellen Nischenprodukte gibt.

Zur Betrachtung der aktuellen Entwicklungen ist der Leitbegriff „Industrie 4.0“ erklärt. Es geht dabei um die Verzahnung der Produktion mit den Information- und Kommunikationstechnologien. Bei der vierten industriellen Revolution dreht sich alles um die Digitalisierung. Cyber physische Systeme sind ein wichtiger Bestandteil zur Umsetzung dieser Vision. Durch die Integration können Maschinen, Anlagen, IT-Systeme und Geräte vernetzt werden. Zu einer erfolgreichen Umsetzung gehört eine strukturierte IT-Infrastruktur. Diese kann auch auf Basis einer Cloud umgesetzt werden. Um die Kommunikation zwischen den einzelnen Systemen zu gewährleisten ist es wichtig die Datenqualität zu berücksichtigen. Diese kann durch entsprechende Metriken kontrolliert werden.

3 „DAs“-Grundlagen

„To join in the industrial revolution, you needed to open a factory; in the Internet revolution, you need to open a laptop.“

-Alexis Ohanian, Unternehmer-

3.1 Einführung

Für die Umsetzung der Methodik sind theoretische Grundlagen notwendig. Zuerst werden die Anforderungen zielgerichtet auf die Analysemethodik erörtert. Diese sind in Kriterien strukturiert aufgegliedert und beschrieben. Als Grundlage für die Verwaltung der Informationen wird eine Ontologie eingesetzt. Dafür wird das Prinzip von Ontologien erklärt und aktuelle Einsatz-/Forschungsgebiete in Bezug auf PLM aufgeführt. Das Enterprise Application Management ist ein Oberbegriff für die Verwaltung und Analyse von IT-Systemumgebungen. Passend dazu sind relevante Verfahren und Methoden aufgeführt. Zur Bewertung von Systemen werden die Grundlagen und Kriterien zur Systemauswahl erklärt. Dabei wird unterschieden zwischen quantitativen, qualitativen und strategischen Aspekten. Zuletzt werden noch Methoden des Product Lifecycle Analytics vorgestellt.

3.2 Anforderungen an „DAs“

Durch Anforderungen werden zu erfüllende Eigenschaften des zu erstellenden Produktes beziehungsweise Systems beschrieben. Die Aufgabe des Anforderungsmanagements ist es, diese zu ermitteln, zu analysieren, zu spezifizieren und zu verifizieren. Die Anforderungen können in unterschiedliche Anforderungstypen gegliedert werden.

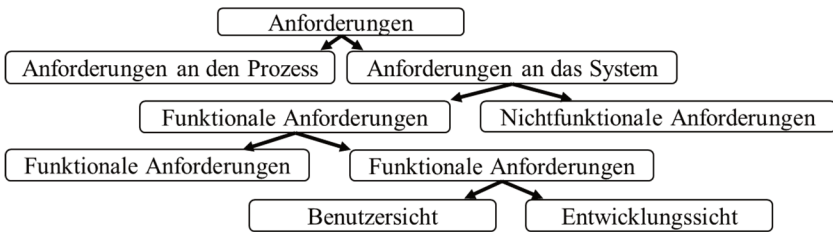


Abbildung 42: Anforderungstypen (Krcmar 2015, S. 67)

Die Trennung zwischen funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen können folgendermaßen beschrieben werden (Balzert 2011, S. 109):

- Funktionale Anforderungen beschreiben die Funktion oder das Verhalten, die das Produkt oder System, unter definierten Randbedingungen erfüllen soll.
- Nichtfunktionale Anforderungen beschreiben Aspekte, die mehrere funktionale Anforderungen betreffen können. Diese können einen Einfluss auf die gesamte Softwarearchitektur haben.

Zur Sicherung der Qualität von Anforderungen gibt es fünf grundsätzliche Qualitätskriterien. Diese sollen sicherstellen, dass das Anforderungsdokument alle Kriterien zum produktiven Einsatz erfüllt. Nachfolgend werden die Kriterien kurz erläutert. (Grande 2014, S. 64)

- Struktur: Die Struktur des Anforderungsdokuments stellt die Basis, für ein schnelles finden der Inhalte dar.
- Eindeutigkeit: Die Eindeutigkeit stellt sicher, dass die Anforderungen eindeutig und widerspruchsfrei sind.
- Vollständigkeit: Alle relevanten Anforderungen und die dazugehörigen Referenzen müssen im Anforderungsdokument enthalten sein.
- Erweiterbarkeit und Modifizierbarkeit: Anforderungen können sich im Produktleben verändern. Daher ist Erweiterbarkeit und Modifizierbarkeit ein wichtiges Kriterium.

- **Verfolgbarkeit:** Die Verfolgbarkeit erlaubt die Anforderungen nachzuvollziehen. Dafür müssen alle Referenzen dokumentiert werden.

Die nachfolgend definierten Anforderungen sollen als Grundlage für die zu entwickelnde Methodik dienen. Die Anforderungen an „DAs“ ergeben sich aus Diskussionen und Gesprächen mit Fachleuten aus der Industrie und eigenen Erfahrungen, die im Rahmen der IT-Systemlandschaft des Industrie 4.0 Collaboration, gesammelt wurden.

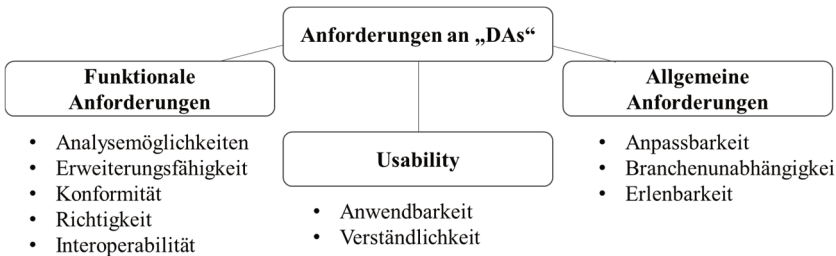


Abbildung 43: Anforderungen an die Methodik

In der nachfolgenden Tabelle werden die einzelnen Anforderungen genauer erläutert.

Tabelle 2: Erläuterungen der Anforderungen

	Kriterium	Beschreibung
1. Allgemeine Anforderungen	1.1 Anpassbarkeit	Eine flexible Struktur der Methodik soll Anpassungen und Änderungen ermöglichen.
	1.2 Branchenunabhängig	Die Methodik soll unabhängig von der Branche anwendbar sein.
	1.3 Erlernbarkeit	Die Methodik soll nachvollziehbar aufgebaut sein. Das Lernen der verwendeten Werkzeuge soll ohne großen Mehraufwand möglich sein.

1. Funktionale Anforderungen	2.1 Analysemöglichkeiten	Verschiedene Analysemöglichkeiten sollen mit der Methodik realisiert werden.
	2.2 Erweiterungsfähigkeit	Die Methodik soll funktional erweiterbar sein.
	2.3 Konformität	Die Methodik soll einheitlich ohne Widersprüche aufgebaut sein.
	2.4 Richtigkeit	Die Methodik und benutzten Werkzeuge sollen korrekt eingesetzt werden.
	2.5 Interoperabilität	Die Methodik soll die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Systemen ermöglichen.
3. Usability	3.1 Anwendbarkeit	Die Methodik und eingesetzten Werkzeuge sollen leicht anwendbar sein.
	3.2 Verständlichkeit	Die Methodik und deren Aufbau soll verständlich sein.

3.3 Ontologie

Mit Ontologien können Wissensbereiche und Begriffe mit einer konzeptionellen Formalisierung digitalisiert werden. Durch eine Terminologie und die semantischen Beziehungen zwischen Begriffen kann ein Wissensbereich beschrieben werden. Das Vokabular von Ontologien besteht aus Klassen, Relationen, Funktionen und Axiomen. Ehrig und Studer beschreiben Ontologien als „[...] formale Modelle eines Anwendungsbereichs, die die Kommunikation zwischen menschlichen und/oder maschinellen Akteuren unterstützen und damit den Austausch und das Teilen von Wissen in Unternehmen erleichtert“ (Ehrig und Studer 2006).

3.3.1 Grundlagen von Ontologien

In der Informatik bieten Ontologien die Möglichkeit, neues Wissen zu gewinnen und gegebenenfalls Widersprüche zu erkennen (Hitzler et al. 2007, S. 12;

Horridge et al. 2004, S. 12). Als formale Beschreibungssprache wird die „Web Ontology Language“ (OWL) benutzt. Diese wird vom World Wide Web Consortium (W3C) gepflegt und weiterentwickelt (World Wide Web Consortium 2017). Ontologien bestehen aus Klassen, Relationen und Instanzen.

- Klassen beschreiben gemeinsame Eigenschaften. Klassen können in einer Taxonomie, einer Hierarchie von Super- und Subklassen angeordnet werden.
- Relationen stellen Beziehungen zwischen den Instanzen der Ontologie dar. Jede Relation besitzt eine Domain (Klasse von der die Beziehung ausgeht) und eine Range (Zielklasse zu der die Beziehung hergestellt wird).
- Instanzen repräsentieren Objekte in der Ontologie. Diese werden unterhalb der Klassen erzeugt und stellen deren Ausprägung dar.

Für die Entwicklung einer Ontologie gibt es folgende Kriterien die eingehalten werden sollen (Kraus 2003).

- Kohärenz: Zulassung aller möglichen Schlussfolgerungen, die konsistent mit den beschriebenen Definitionen sind.
- Erweiterbarkeit: Konzepte sollten sich einfach erweitern und verfeinern lassen, ohne bestehende Teile vorher verändern zu müssen.
- Klarheit: Bedeutung der Konzepte sollen verständlich und objektiv dargestellt sein.
- Vollständigkeit: Konzepte sollen möglichst komplett durch notwendige und hinreichende Bedingungen beschrieben sein.
- Minimale Festlegung: Nur relevante Teile der modellierten Welt sollen abgebildet sein, um unnötige Festlegungen zu vermeiden.
- Minimale Umsetzungsentscheidungen: Beschreibung auf Wissens-ebene und Vernachlässigung von Aspekten der Realisierung.
- Unterscheidbarkeit: Konzepte sollen unterscheidbar und disjunkt sein.

Die Modellierung und Wartung der Ontologie kann in vier Phasen aufgeteilt werden. Als Voraussetzung dient eine Machbarkeitsstudie, in der mögliche Hindernisse, die Werkzeuge und die involvierten Personen geprüft werden.

Nachdem das Projekt offiziell startet werden in der ersten Phase „Kickoff“, die Anforderungen spezifiziert und die semiformale Ontologiebeschreibung entwickelt. In der zweiten Phase wird die Ontologie verfeinert und formalisiert. In der Evaluierungsphase werden die Relationen, Regeln analysiert und geprüft. In der letzten Phase „Erweiterung und Anpassung“ werden Änderungen in die Ontologie eingepflegt. (Staab 2002, S. 204) Um die Inhalte der Ontologie abzufragen kann SPARQL (SPARQL Protocol And RDF Query Language) genutzt werden. SPARQL ist eine Abfragesprache für RDF. RDF (Resource Description Framework) ist ein Datenmodell in dem Informationen nach einer definierten Syntax gespeichert werden. Die Daten werden dabei mit “Triples“ ausgedrückt. Auf diese Art können die Zusammenhänge in der Ontologie gespeichert werden. Jedes Triple beschreibt etwas und besteht aus einem Subjekt, Prädikat und Objekt. (DuCharme 2013) Ein Beispiel für ein Triple ist:

Klemens (Subjekt) email (Prädikat) klemens.haas@kit.edu (Objekt)

3.3.2 PLM-Ontologien

In dem Forschungsgebiet PLM-Ontologien gibt es mehrere nationale und internationale Projekte und Ansätze. Nachfolgend werden themenrelevante Ansätze erläutert.

In dem EU-Projekt amePLM geht es um eine Referenzontologie, die den Produktlebenszyklus unterstützt. Die Schwerpunkte sind dabei das Produktmodell, die Metadaten, die Dokumente, die Ressourcen, die Projektinformationen. Die Zieldomänen der PLM-Ontologie sind KMU. Das Modell ist allgemeingültig angelegt, das spezifizierbar auf unterschiedliche Anwendungsfälle eingeht (Bruno et al. 2015).

Das EU-Projekt Promise thematisiert einen weiteren ontologiebasierten PLM-Ansatz. In dem Projekt geht es um Informationstracking durch den Einsatz von Smart Embedded Systems. Als Basis dient eine semantische Objektmodellierung für Produktdaten und Wissensmanagement im PLM. Eine Struktur zum Speichern von Produktdaten für alle Lebenszyklus-Phasen ist in dem System

hinterlegt. Dazu gehören unter anderem das Produktmodell (inkl. CAD-Modell, physische Produktdaten etc.), Metadaten, Dokumente, Lebenszyklusphasen und Ressourcen (Fukuda et al. 2014, 103ff).

In dem BMBF-Projekt Avilus geht es um eine Ontologie zur Integration von Informationen im PLM-Prozess bezogen auf Anlagen. Dabei geht es um die Darstellung der Informationen, die im PLM-Prozess extrahiert, strukturiert und abgefragt werden. Das Informationsmodell besteht aus einer Basis-Ontologie und einer Domänen-Ontologie. Jede Komponente (z.B. Motor) wird als Instanz abgebildet. Mit OWL DL ist es modelliert und die Konzepte werden von Suggested Upper Merged Ontology verwendet. Dabei gibt es drei Superklassen: Attribute, Entity und Process. Der Nutzer wählt das Informationsmodell und die CAD-Daten aus, das Extraktionsmodul durchsucht die Datei, in der die generischen Extraktionsmethoden mit den jeweiligen Klassen und Beziehungen verknüpft sind. (Schreiber und Zimmermann 2011)

In einer Studie wurden Mechanismen für ontologiebasierte produktzyklusorientierte Wissensintegrationen entwickelt. Der Fokus liegt darauf, verteiltes Wissen über die einzelnen Stufen des Produktlebenszykluses ontologiebasiert zu integrieren. Die Product Lifecycle Ontologie beschreibt das Erstellen unternehmensbezogener Knowledge Maps. Zusätzlich gibt es eine lokale Domänen-Ontologie für spezifische Knowledge Maps. Das Ziel ist es, dass alle am Produkt beteiligten Akteure mithilfe der Ontologie ihr Wissen über Produkte und deren Lebenszyklus teilen (Chen und Chu 2009).

3.4 Enterprise Application Management

Das Enterprise Application Management beinhaltet das Überwachen und Steuern der Software Elemente in einem Unternehmen. Dies beinhaltet angrenzende Bereiche wie Benutzer, Richtlinien, Abläufe, sowie alle Software Elemente und Konfigurationen in dem gesamten Computer Netzwerk. (Oberle 2006, S. 222) Das Enterprise Application Integration ist dem Enterprise Application Management untergeordnet und unterstützt durch geeignete Sprachen und Tools die Entwicklung von Integrationslösungen. (Frantz et al. 2015). Die Softwarelösungen sind in der Literatur in diesem Zusammenhang unter dem

Begriff Enterprise Information System zu finden und bezeichnen alle Softwareelemente in einem Unternehmen. (Wang et al. 2016) Durch den technologischen Wandel gibt es in den Unternehmen einen Trend von einer datengetriebenen Verwaltungsumgebung zu einer mehr kooperativen informations- und wissensgetriebenen Verwaltungsumgebung (Cecil und Panetto 2013). Diese Entwicklung ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

EIS-Generation	Anwendungszentriert	Datenzentriert	Prozesszentriert
Zeit	1980er Jahre	1990er Jahre	2000er Jahre
Symboltechnologie	MRP	ERP	BPM
Technologietreiber	Datenbank	Datenbankmanagementsystem, ClientServer-Architektur	Internet, SOA
Entwicklungsumgebung	Lokale Systeme		Digitale Systeme
Unternehmens-Herausforderung	Wirksamkeit	Wirtschaftlichkeit	Effektivität
Organisatorische-Herausforderung	Unterstützung der Abteilungen	Unterstützung des Unternehmens	Unterstützung der Supply Chains
Technologische-Herausforderung	Systemintegration		Systeminteroperabilität
Wissens-Herausforderung	Strukturierte Daten	Integrierte Daten	Dynamische Daten
EIS-Generation	Menschenzentriert	Dingezentriert	Alleszentriert
Zeit	2010er Jahre	2015er Jahre	2020er Jahre
Symboltechnologie	HMI	Sensoren	Devices
Technologietreiber	Semantisches Netzwerk, Smart social media, Cloud Computing, Virtual & Augmented Reality	Smarte Dinge, Wireless Sensor Netzwerk, Big Data, CloudComputing, Dienstleistungswissenschaft	Real Plug and Play Systeme, offene und sichere Plattformen, vertrauenswürdige Infrastr., interoperable Dienstleistungen
Entwicklungsumgebung		Cyber Physische Systeme	
Unternehmens-Herausforderung	Flexibilität	Sensibilität	Proaktivität
Organisatorische-Herausforderung	Unterstützung der sozialen Netzwerke	Unterstützung der Sensornetzwerke	Unterstützung beim Zusammenspiel der Netzwerke
Technologische-Herausforderung			
Wissens-Herausforderung	Echtzeit Daten		Abgeleitete Daten

Abbildung 44: Entwicklung von Enterprise Information Systems (Svejvig und Møller 2012)

Für die kommende Generation von Enterprise Information Systems basierend auf den neuen Technologien sind folgende Eigenschaften von Bedeutung (Paretto et al. 2016, 48f):

- **Omnipräsenz:** Das Enterprise Information System soll weltweit und mit allen Applikationen zugreifbar und anwendbar sein.
- **Model-getriebene Architektur:** Die informationsbasierten Modelle werden von verteilten Standorten aus gesteuert. Dadurch können die Aktivitäten der entsprechenden kollaborativen Unternehmen gesteuert werden.
- **Offenheit:** Die technologische Zugänglichkeit soll ermöglicht werden. Darunter sind Software-Entitäten, Artefakte und verteilte kollaborative Prozesse zu verstehen. Des Weiteren wird auch eine transparente Organisationsstruktur darunter verstanden.
- **Dynamische Rekonfigurierbarkeit:** Die Fähigkeit, auf unterschiedliche Weise zu funktionieren, um die gleiche Funktion auszuführen.
- **Vielfältige Funktionsmöglichkeiten:** Basierend auf unterschiedlichen funktionalen Identitäten auf gegebenen Anwendungs-, Prozess- und Domänenkontexte zu reagieren.
- **Semantik- und Sensorbewusstsein:** Unter dem Sensorbewusstsein versteht man das Erkennen von Prozessänderungen durch Sensoren und anderer Geräte sowie von semantischen Konstrukten auf höherer Ebene.
- **Erweiterte Logik und Rechenflexibilität:** Die EIS müssen in der Lage sein, unvollständige Daten, Informationen und Wissen zu interpretieren und auszuwerten.

3.4.1 Methoden zur Analyse der IT-Systemarchitektur

Eine funktionierende und optimal strukturierte Systemarchitektur ist die Grundlage für IT-Systeme in Unternehmen. Die IT fungiert für das PLM als Werkzeug und stellt die Basis dar, um eine erfolgreiche Implementierung zu erreichen. Die Komplexität und Heterogenität der IT-Systeme stellt eine große Herausforderung dar. Eine Analyse der IT-Systemstruktur kann Potenziale

aufzeigen und bildet eine Basis für Systemerweiterungen beziehungsweise Systemeingführungen. Bei einer Analyse werden unterschiedliche Aspekte und Fragestellungen betrachtet:

„Welche Systeme sind in Verwendung und wie werden die Inhalte in diesen Systemen verwaltet?“ „Wie sind die Systeme vernetzt?“

Nachfolgend werden drei Ansätze zur Analyse der IT-Systemarchitektur vorgestellt.

- Do(PLM)Con
- Vorgehensmodell für KMU
- VDA-Schichtenmodell

Die Ansätze werden nach folgendem Schema vorgestellt:

1. Hintergrund des Ansatzes
2. Projektablauf
3. Eingesetzte Werkzeuge
4. Vor- und Nachteile

DoPLMCon

1. Hintergrund des Ansatzes

DoPLMCon befasst sich mit der methodischen Konzeption von dem Produktmodell entlang des Produktlebenszykluses und bildet damit eine Grundlage, ein integriertes PLM zu entwickeln. Dabei wird zuerst der Ist-Zustand (current state) erfasst und es wird versucht einen verbesserten Soll-Zustand (future state) herzustellen. Um die Zustände zu erfassen wird die Methode des Lifecycle Mappings verwendet (Fischer 2017). Der Beratungsansatz betont, dass eine organisatorische Rationalisierung ebenfalls fundamental ist. Der Produktentstehungsprozess (PEP) und dahinterliegende Prozesse müssen ebenfalls hinterfragt werden. Eine Software kann nämlich ein fehlendes Semantik-, Struktur- und Ordnungssystem nicht ersetzen. Der DoPLMCon Ansatz liefert eine Möglichkeit, auch organisatorische Aspekte, im Besonderen den Produktentstehungsprozess zu betrachten und bei der Einführung zu berücksichtigen. (Fischer et al. 2014)

2. Projektablauf

Nachfolgend wird der Projektablauf erläutert und die einzelne Phasen des Beratungsansatzes genauer erläutert.

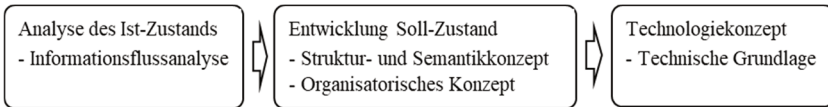


Abbildung 45: Projektablauf DoPLMCon

Der Projektablauf gliedert sich in insgesamt drei Phasen. Es folgt zunächst eine Analyse des Ist-Zustands mithilfe der PLM-Informationsflussanalyse. Diese wird mit Hilfe des Lifecycle Mappings vorgenommen. Die Teilmodelle des PEP dienen als Modellierungselemente. Es sind Aspekte des Wertstromdesigns enthalten, um eine einfache und verständliche Darstellung zu ermöglichen. Das Lifecycle Mapping dient als Grundlage zur Verbesserung des PEP, auch um die Verständlichkeit verschiedener Stakeholder z.B. von Projektteam und Anwender zu verbessern. (Fischer und Ovtcharova 2013, S. 2)

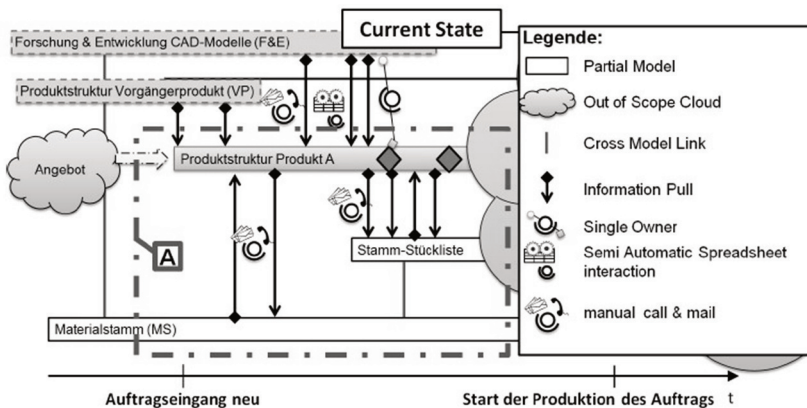


Abbildung 46: Lifecycle Mapping (Fischer und Ovtcharova 2013, S. 3)

Abbildung 46 zeigt eine Lifecycle Map eines Werkzeugmaschinenherstellers, indem der Ist-Zustand (current state) festgehalten ist. In der Lifecycle Map sind folgende Vorgänge festgehalten: Nach Auftragseingang leitet ein Produktingenieur zunächst die Produktstruktur aus dem Vorgängermodell für das neue Produkt A in das TDM-System ab (siehe Pfeile von Produktstruktur Vorgängerprodukt zu Produktstruktur Produkt A). Die Materialentsprechung wird im folgenden Verlauf dann mit ERP-Spezialisten telefonisch oder per E-Mail geklärt (siehe Pfeile zwischen Produktstruktur Produkt A und Materialstamm). Zum Schluss wird schließlich manuell eine Stamm-Stückliste erstellt.

Durch die Lifecycle Map werden Probleme aufgedeckt. Unter anderem wird deutlich, dass keine IT-Kopplung besteht, um Konstruktionsdaten und Stücklisten zu synchronisieren und konsistent zu halten. Die Verbindung zwischen TDM und ERP ist zudem manuell realisiert.

Anschließend wird ein Soll-Zustand entwickelt und ein Semantik-, Struktur- und Organisationskonzept geschaffen. In einer PLM-Architektur müssen verschiedene Produktstrukturen verwaltet werden, die teilweise unterschiedlichen semantischen Konzepten zugrunde liegen. Die Semantik muss einheitlich sein, um Funktionen auch zuverlässig ausführen zu können. Außerdem ist es wichtig, eine Weiterentwicklung von Produktstrukturen zu ermöglichen, um beispielsweise zwei Teile separat bestellen zu können.

Es werden schließlich zwei redundante Lebenszyklen geschaffen, die verwaltet werden müssen. Dieser Fortschritt der Produktstrukturen muss synchronisiert werden und spielt neben der Semantik eine wichtige Rolle in der PLM-Architektur (Fischer et al. 2013, 214f). In einem letzten Schritt folgt das Technologiekonzept. In Abbildung 47 ist ein detaillierter Projektablauf des Beratungsansatzes zu sehen.

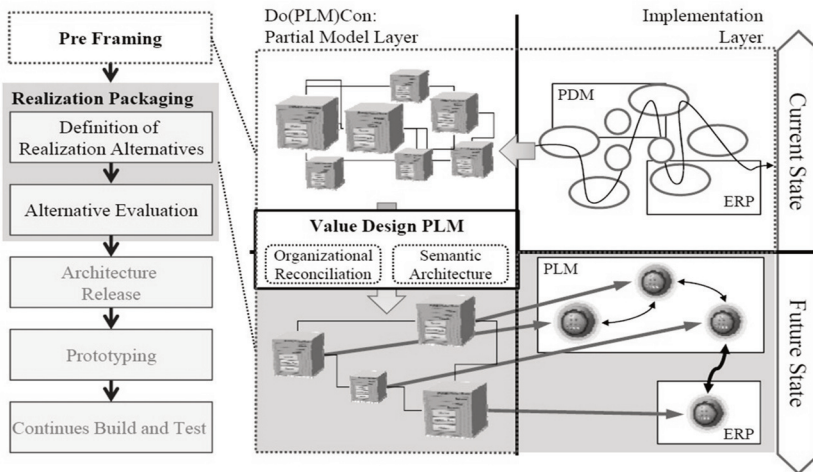


Abbildung 47: Detaillierter DoPLMCon Projektablauf
(Fischer et al. 2013, S. 219)

Wie bereits erwähnt wurde, steht die Erfassung des current state und future state im Vordergrund. Begonnen wird mit einer Analyse des Ist-Zustands, der mit Pre Framing bezeichnet wird. Hier wird also der aktuelle PEP betrachtet, sowie dessen Implementierung. Es werden insbesondere die Partial Models betrachtet und deren Anwendungsfälle, Nutzer und Verwendung untersucht. Auch deren Verbindungen untereinander werden geprüft. Als nächstes wird das Paradigma Value Design PLM verfolgt, welches sich aus dem Lean Management ableitet (Value-Stream Design). Ziel ist es, die Anzahl an Modellen zu reduzieren. Dies ist beispielsweise möglich, wenn zwei Modelle gleiche Anwendungsfälle abdecken. Außerdem soll eine automatische Interaktion zwischen den Modellen geschaffen werden. Am Ende des Value of PLM steht der future state (Fischer et al. 2013, S. 219). In Realisation Packaging wird schließlich der future state diskutiert und analysiert. Hierfür werden verschiedene Szenarien zur Umsetzung entworfen, die auf der Managementebene begutachtet und evaluiert werden.

3. Eingesetzte Werkzeuge

Bei der Analyse des current state und future state wird das Konzept Value-Stream Mapping benutzt. Die Autoren Mike Rother und John Shook hatten unterschiedliche Verwendung für das Konzept des Value-Stream Mappings. Zu Beginn nutzte man das Konzept für die Kommunikation zwischen verschiedenen Stakeholdern und erkannte dann, dass dieses Konzept mehr leisten kann. Das Unternehmen Toyota verwendet das Werkzeug Value-Stream Mapping unter dem Namen Material and Information Flow Mapping (Rother und Shook 1999). Die Ziele sind unter anderem: [...] establishing flow, eliminating waste, and adding value“ (Rother und Shook 1999, S. 1). Bei Toyota wird in drei verschiedene Flussarten unterschieden, die in Abbildung 48 dargestellt sind. Das Value-Stream Mapping deckt zwei Flussarten ab. Im Übrigen wird das Ziel verfolgt, die Stakeholder dazu zu motivieren, nicht einzelne Prozesse zu verändern, sondern umfassender zu analysieren.

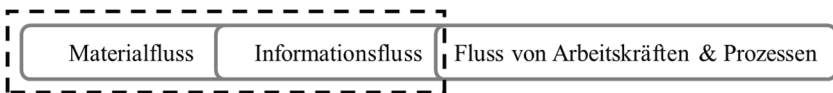


Abbildung 48: Flussarten durch das Value-Stream Mapping

4. Vor- und Nachteile

Die DoPLMCon Methode verfolgt einen umfassenden Beratungsansatz. Der Ansatz beinhaltet Maßnahmen, um aus dem Ist-Zustand einen verbesserten Soll-Zustand herzustellen.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der DoPLMCon-Methode

Vorteile	Nachteile
Berücksichtigung des Ist-Zustandes	Personal- und Ressourcenaufwand hoch
Visualisierbarkeit verschiedener Flussarten und nicht nur einzelner Prozesse	Erfahrung notwendig
Vereinfacht interdisziplinäre Kommunikation	Interner Widerstand

Die DoPLMCon Methode stellt ein gutes Werkzeug zur Wertstromanalyse dar. Ein Nachteil stellt der notwendige Erfahrungsschatz dar, den man bei der Anwendung des Value Stream Mappings mitbringen muss.

Vorgehensmodell für KMU

1. Hintergrund des Ansatzes

Dürholt beschreibt die Problematik der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) und deren Stellung im internationalen Wettbewerb. Im Gegensatz zu früher wird betont, dass die Flexibilität ein wichtiger Vorteil von kleinen und mittelständischen Unternehmen darstellt. Dabei besteht die Herausforderung mit der individuellen Softwarelandschaft flexibel zu bleiben. Die Thematik einer konsistenten und aktuellen Datenhaltung, wird in den nächsten Jahren weiter an Bedeutung gewinnen. Beispielsweise ist es wichtig zu dokumentieren, wie ein medizinisches Produkt (z.B. Herzschrittmacher) produziert wurde bzw. welche Materialien in einem Kühlschranks verbauten wurden, um diesen fachgerecht zu entsorgen. Das klassische Problem bei der Durchführung eines PLM-Projektes sieht der Autor darin, dass ein technischer und kommerzieller Konflikt auftritt. Die IT-Abteilung sieht das Projekt als ein rein technisches Thema, da es sich ja mit der Einführung und Verbindung von Schnittstellen beschäftigt. Der Autor betont jedoch, dass es um die Umsetzung einer Philosophie geht und eine rein technische Umsetzung der Problematik nicht gerecht wird. Zusammengefasst soll das Vorgehensmodell die folgenden Fragen beantworten (Dürholt 2007, S. 7):

- Wie soll ein mittelständisches Unternehmen mit diesem Problem umgehen?
- Welche Kompetenzen werden intern und extern für ein Projekt benötigt?
- Wie soll ein derart komplexes Thema angegangen werden, ohne dass dieses von irgendeiner Politik beeinflusst wird?
- Welche Schritte sind zu beachten?
- In welcher Reihenfolge sollen welche Themen angegangen werden?
- Welche Themen müssen überhaupt beachtet werden?

2. Projektablauf

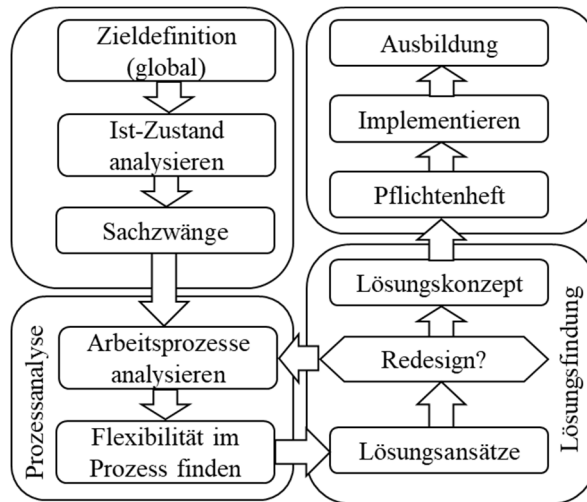


Abbildung 49: Detaillierter Projektablauf des Vorgehensmodells für KMU (Dürholt 2007)

Das Vorgehensmodell ist in vier Phasen unterteilt:

- Vorprojekt
- Prozessanalyse
- Umsetzungsphase
- Lösungsfindung

Jede dieser Phasen enthält Detailaufgaben, die zunächst für sich selbst gelöst werden müssen. Das Vorprojekt enthält folgende Detailaufgaben:

Zieldefinition: Die Unternehmensleitung definiert ein Unternehmensziel. Dies kann sowohl die Gewinnmaximierung, Kostenminimierung oder Umsatzmaximierung sein. Andere Ziele wie beispielsweise das Erreichen einer bestimmten Marktposition oder auch politisch-kulturelle Ziele sind denkbar. Wenn das Ziel des PLM-Projektes bestimmt wird, muss das Unternehmensziel bereits

feststehen. Das Unternehmensziel ist in diesem Fall der PLM-Vision übergeordnet und hat den Charakter eines Axioms. Das Ziel des PLM-Projektes muss ebenfalls auf ein bis zwei Seiten festgehalten werden. Bei einer zu detaillierten Schilderung besteht die Gefahr, dass mögliche Verbesserungspotenziale unentdeckt bleiben. Bei zu kurzer Formulierung besteht die Gefahr, dass sich das Projekt verselbstständigt und Ziele verfolgt werden, die sich nicht mit den Unternehmenszielen decken. (Dürholt 2007, S. 100)

Ist-Analyse: Das Erreichen der PLM-Ziele erfolgt auf der Basis der vorhandenen IT-Systemarchitektur. Im Zuge der Ist-Analyse wird daher der aktuelle Stand der relevanten Arbeitsabläufe, der Infrastruktur, der eingesetzten Werkzeuge erfasst. Die Besonderheit bei KMU ist, dass auch nicht IT-gestützte Systeme in der Analyse berücksichtigt werden müssen. Es ist durchaus verbreitet, Produktdaten oder andere Produktinformationen in Aktenschränken zu archivieren. Ziel muss es jedoch sein, diese Artefakte in ein IT-System zu übertragen. Nicht IT gestützte Systeme sollten weitestgehend vermieden werden. Wichtig ist, sowohl die meist heterogene Systemlandschaft lückenlos zu dokumentieren, als auch die Integrationslösung zwischen den einzelnen Systemen abzubilden.

Sachzwänge: Die Sachzwänge ergeben sich aus dem Umstand, dass ein Unternehmen bestimmte Systeme möglicherweise nicht frei wählen kann. Beispielsweise ein Automobilunternehmen, das nicht frei über das CAD-System entscheiden kann, da dieses von dem Mutterkonzern vorgeschrieben wird. In diesem Zusammenhang muss im Rahmen des Vorprojekts eine Erfassung sämtlicher Systeme stattfinden. Dies kann mithilfe der Fragen geschehen, die im Folgenden dargestellt sind:

Tabelle 4: Fragen zur IT-Systemarchitektur (Dürholt 2007, S. 105)

Frage	Anmerkung / Beispiel
Welche inneren Faktoren erfordern den Einsatz des Systems?	Wer benötigt die Anwendung?
Welche äußeren Faktoren erfordern den Einsatz des Systems?	Gibt es externe Vorgaben für den Einsatz?
Worin besteht der Nutzen des Einsatzes?	Archivierung von Belegen
Wo bestehen Probleme?	Typische Schwierigkeiten beschreiben
Könnte das System abgeschafft / durch ein anderes ersetzt werden?	Ja / nein (mit Begründung)
In welcher Form gelangen Daten in das System?	Beschreibung von Bedienung, Schnittstellen/Integration
Wie sind die verarbeiteten / gespeicherten Daten für die Folgesysteme zugänglich?	Beschreibung des Datenformats (wenn möglich)
Wo steht das System in Bezug auf seinen eigenen Lebenszyklus?	Neues Produkt / seit „n“ Jahren im Einsatz. Aussagen zum Hersteller / Lieferanten
Welche technischen Integrationsmöglichkeiten stehen zur Verfügung?	Programmiersprachen / Methoden beschreiben
Hat das System mit der Organisation Schritt gehalten?	Beschreibung eventueller Lücken
Entspricht das System in seiner aktuellen Konfiguration den Anforderungen der Anwender und der Organisation?	Beschreibung eventueller Lücken
Unterstützt das System verteilte Anwendungen?	Ja (welches Konzept)? / Nein

Nach der Vorprojekt-Phase kann festgehalten werden, ob eine Realisierung der Ziele möglich ist oder ob gegebenenfalls die PLM-Ziele angepasst werden müssen.

Die Prozessanalyse enthält folgende Detailaufgaben: Arbeitsprozesse analysieren: Für die Umsetzung des PLM-Projektes sind im Grunde alle Prozesse

von Interesse, wobei diese in dem Vorgehensmodell auf die wertschöpfenden Prozesse beschränkt sind. Es gilt die Prozesse aufzuspüren, die im Alltag Probleme bereiten. Die Prozesse mit den größten Verbesserungspotenzialen (z. B. in Hinblick auf Verbesserung der Qualität) sollten betrachtet werden. Für den Mittelstand identifiziert der Autor Probleme bei den Übergängen von der Idee zur Entwicklung und von der Entwicklung zur Produktion. Oft werden Qualitätsdaten nicht in Beziehung zur Entwicklung gesetzt. Das Vorgehensmodell analysiert die Prozesse dadurch, dass diese in ihre Bestandteile zerlegt werden, um mögliche Probleme zu erkennen. Dem Thema Flexibilität wird besondere Bedeutung beigemessen, da dieses Thema erhebliches Optimierungspotenzial bietet. Das Ziel ist, flexible Arbeitsprozesse zu etablieren und ein kontinuierliches Verbesserungswesen zu verankern. Das Ergebnis der Prozessanalyse stellt das PLM-Lastenheft dar, welches auf das vorgegebene PLM-Ziel ausgerichtet ist.

Die Lösungsfindung enthält folgende Detailaufgaben: Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse sollen nun Lösungsansätze entwickelt werden, die ein Re-Design zur Folge haben. Nachdem die Prozesse hinsichtlich Flexibilität und Qualität verbessert wurden, steht das Lösungskonzept an der Reihe. Gleichzeitig ist es jedoch erforderlich, die Auswirkungen von Änderungen festzuhalten und auch den Bedarf an Weiterbildungsmaßnahmen in den Blick zu nehmen. In der Phase der Lösungsfindung kann zudem ein Flussdiagramm oder eine Ereignisgesteuerte Prozesskette verwendet werden, um die Vorgehensweise abzubilden. Diese beiden Werkzeuge werden besonders bei dem Ziel einer Prozessumgestaltung verwendet. Geht es bei dem PLM-Ziel um die Konsolidierung von Daten und Informationen, sind UML-Diagramme oder auch Entity-Relationship Diagramme die erste Wahl.

Nach möglichen Rücksprüngen in die Prozessanalyse, die z.B. durch zu hohe Implementierungskosten verursacht werden, ist es in diesem Fall wichtig, nochmals die Phase der Prozessanalyse zu durchlaufen, um weitere Verbesserungspotenziale aufzudecken. Nach dieser Phase wird das „Ausmaß“ des PLM-Projektes klar. Die Verbesserungspotenziale sind analysiert und Lösungsvorschläge liegen vor.

Die Umsetzungsphase enthält folgende Detailaufgaben: Das Pflichtenheft bildet die Grundlage für die Umsetzungsphase. Es folgt nun die eigentliche Umsetzung unter Zuhilfenahme des klassischen Projektmanagements. Es folgen Arbeitspakete, Meilensteine, Meetings und Kontrollen. Die Implementierungsdauer beziffert der Autor je nach Umfang auf zwei bis drei Jahre. Die Schulung der Mitarbeiter schließt sich der Implementierungsphase ebenfalls an. Das System ist komplett implementiert und dem PLM-Ziel steht nichts mehr im Weg.

Eingesetzte Werkzeuge: In der Phase der Lösungsfindung werden in dem hier diskutierten Vorgehensmodell verschiedene Werkzeuge eingesetzt. Die eingesetzten Werkzeuge sind in diesem Fall abhängig von dem jeweiligen Ziel. Bei einer Prozessverbesserung sollte beispielsweise die ereignisgesteuerte Prozesskette Verwendung finden. Auch der Einsatz eines Flussdiagramms scheint sinnvoll. Das Vorgehensmodell enthält jedoch kein Werkzeug, das zwingend Bestandteil in der Lösungsfindung sein muss.

1. Vor- und Nachteile:

Tabelle 5: Vor- und Nachteile des Vorgehensmodells für KMU

Vorteile	Nachteile
Berücksichtigung des Ist-Zustandes	Personal- und Ressourcenaufwand hoch
Stringentes Vorgehen	Erfahrung notwendig
Genaue Beschreibung der einzelnen Detailaufgaben	Interner Widerstand
	Keine Visualisierung

Der Autor (Dürholt 2007) beschäftigt sich in seiner Dissertation mit der PLM-Einführung für KMU. Neben einer definitorischen Klarheit liefert er ein Vorgehensmodell mit Beispielen aus der Praxis, die die Praxisfähigkeit betonen. Diese Anleitung zeigt ein stringentes Vorgehensmodell und eine ebenso genaue Beschreibung der einzelnen Detailaufgaben. Es scheint jedoch, dass bei der Vielzahl an Detailaufgaben ein hoher Personal- und Ressourcenaufwand erforderlich ist. Ebenso ist ein Maß an Erfahrung mit dem Vorgehensmodell notwendig. Ggf. müsste dieses Wissen durch externe Berater bereitgestellt

werden. Das Vorgehensmodell enthält zwar die Empfehlung, in der Lösungsfindung ggf. ein Werkzeug zur Visualisierung einzusetzen wie z.B. eine ereignisgesteuerte Prozesskette, jedoch ist diese kein fester Bestandteil.

VDA-Schichtenmodell

1. Hintergrund des Ansatzes

Der in Abbildung 50 dargestellte Ansatz zeigt das 4-Ebenen Modell des Verbands der Automobilindustrie (VDA). Die Zielsetzung bei der Entwicklung des Ansatzes war, mit der PLM Einführung sowohl ein Änderungsmanagement zu integrieren, als auch das darauf aufbauende Konfigurationsmanagement. Es soll also sichergestellt sein, dass die Definition und Verfolgung verschiedener Produktkonfigurationen entlang des Lebenszyklus möglich ist. (Eigner et al. 2014, 279f)

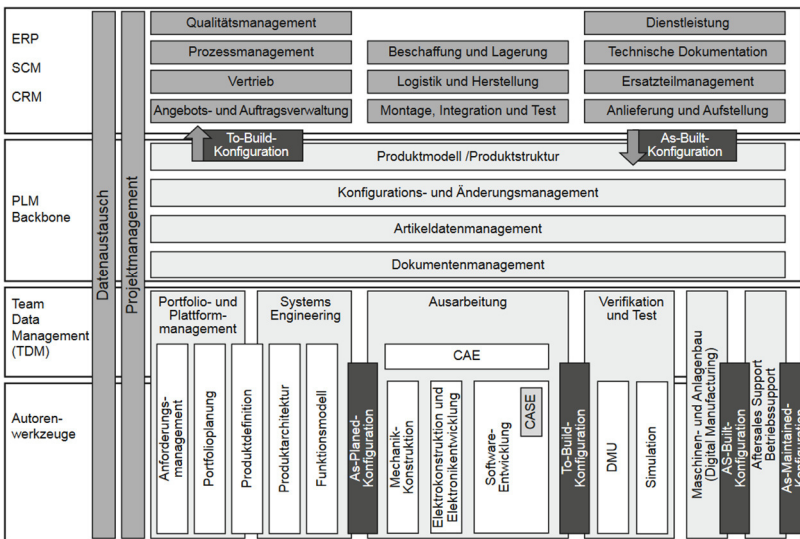


Abbildung 50: Ebenen des VDA-Modells (Eigner et al. 2014, S. 280)

Das Konfigurationsmanagement hat die Aufgabe, eine Ableitung eines beliebigen Entwicklungs-, Fertigungs-, Auslieferungs- und Betriebszustandes je-

derzeit zu ermöglichen. In Verbindung mit einem Freigabe- und Änderungsmanagement, welches wie das Konfigurationsmanagement disziplin-, unternehmens-, produktlebenszyklusübergreifend ausgestaltet werden muss, gibt sich so die Möglichkeit, Änderungen und deren Auswirkungen unmittelbar nachzuvollziehen (Eigner et al. 2014, S. 279). Beispielsweise hat die Änderung eines Gussteils Auswirkungen auf das zu verwendende Werkzeug bzw. die zulässigen Toleranzen und Qualitätsmerkmale. Der Ansatz versucht die wichtigen Merkmale eines durchgängigen Konfigurations-, Freigabe-, und Änderungsmanagement zu erfüllen.

2. Projektablauf

Um den Ansatz des Schichtenmodells zu verwenden, ist eine vorangehende Analyse von Prozessen und Architektur notwendig. Thiede (Thiede 2009, S. 39) liefert hier ein beispielhaftes Vorgehen.

1. Identifikation und Detailierung von relevanten PLM-Prozessen
2. Prozessmapping auf die Architekturschichten mit as-is & to-be Vergleich
3. Ableitung von PLM-Funktionen und Prozessanforderungen
4. Ermittlung und Bewertung von Lösungsmethoden
→ PLM-Entwicklungsplan

5. PLM Roadmap mit Priorisierung von Aktionsitems

Zunächst wird der PEP analysiert und aufgezeichnet, um die einzelnen Prozesse tabellarisch aufzulisten. Nach der Analyse der einzelnen Prozesse folgt die Betrachtung der einzelnen Schichten und die Kombination des Schichtenmodells mit dem PLM-Framework. Anschließend folgt die Eintragung der einzelnen Werkzeuge in die zugehörigen Ebenen und Spalten.

ERP																				
PLM Backbone																				
TDM Systeme																				
CAX Systeme																				
	Anforderungsmanagement	Systems Engineering	Entwicklung Engineering	Verifikation und Tests	Konfigurationsmanagement	Produktdatenmanagement	Change Management	OEM & Supply Chain	Digitale Fertigung	Projektmanagement	Prozessmanagement									

Abbildung 51: Architekturschichten kombiniert mit Aufgabenbereichen (Thiede 2009, S. 26)

Insgesamt kann das Vorgehen wie folgt zusammengefasst werden. Nach der Identifikation der PLM relevanten Prozesse folgt ein Mapping der Prozesse zu den einzelnen Ebenen. Anschließend zeigt sich der entsprechende Handlungsbedarf bei einzelnen Prozessen. Es folgen schließlich der PLM Entwicklungsplan und die Roadmap mit der Priorisierung der einzelnen Handlungsmaßnahmen.

3. Eingesetzte Werkzeuge

Als Werkzeug wird ein Mapping auf die verschiedenen Schichten vorgenommen. Mithilfe des Mappings wird visualisiert, welche Systeme in Verwendung sind und welche möglicherweise verwendet werden können. Die Prozesse werden lediglich zugeordnet und nicht detailliert dargestellt.

4. Vor- und Nachteile

Tabelle 6: Vor- und Nachteile des VDA-Schichtenmodells

Vorteile	Nachteile
Berücksichtigung des Ist-Zustandes	Interner Widerstand
Stringentes Vorgehen	Keine Visualisierung einzelner Prozesse
Visualisierung	
Einfachheit	

Der Ansatz berücksichtigt den Ist-Zustand, indem er einzelne Prozesse den Ebenen und Lebenszyklusphasen zuordnet. Außerdem ist bei dem Ansatz ein stringentes Vorgehen zu erkennen, das es für den Anwender leichter macht, die Zusammenhänge zu verstehen. Wie bei den anderen Ansätzen ist ein bestimmter Erfahrungsschatz notwendig und mit internen Widerständen zu rechnen. Ein Nachteil des Ansatzes ist dem Umstand geschuldet, dass keine Visualisierung einzelner Prozesse stattfindet, sondern die Prozesse lediglich den Ebenen zugeordnet werden.

3.4.2 Kriterien zur Softwareauswahl/ -migration

Die Integration neuer IT-Systeme in eine existierende IT-Systemlandschaft stellt eine große Herausforderung dar. Es beginnt bei der richtigen Auswahl der Software. Danach ist die adäquate und zeitkritische Einführung ein wichtiger Faktor. Zuletzt müssen die Systemuser in die Software eingearbeitet werden. Alle Aspekte müssen bereits bei der Auswahl des IT-Systems berücksichtigt werden. Bei der Entscheidung kann man monetäre und nicht-monetäre Aspekte unterscheiden. Der Nutzen soll dabei im Idealfall gegenüber den Kosten überwiegen.

Das Tal der Tränen ist ein 5-Phasen Modell der emotionalen Entwicklung bei Veränderungen und basiert auf einem Modell zur Trauerforschung von Elisabeth Kübler-Ross.

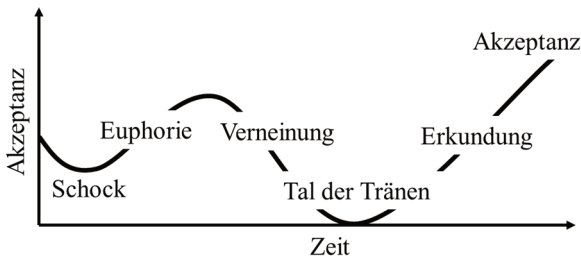


Abbildung 52: IT-Softwareeinführung angelehnt an das Tal der Tränen

Die erste Phase beschreibt die Konfrontation mit einem neuen System. Daraus resultiert der „Schock“. Aufbauend auf guter Kommunikation und Integration kann kurzfristig durch aufzeigen der neuen Möglichkeiten „Euphorie“ ausgelöst werden. Die ganzheitliche Systemumstellung und Änderungen der Arbeitsweise kann dann zu „Verneinung“ führen. Nachdem das „Tal der Tränen“ durchlaufen ist und die neuen Möglichkeiten, Prozessabläufe und Chancen als vorteilhaft angesehen werden, entsteht eine Akzeptanzsteigerung.

Quantitative Aspekte bei der Softwareeinführung

Die Bewertung quantitativer Art befasst sich mit den monetär berechenbaren Aspekten einer Investition. Die Verfahren sind in der Literatur unter dem Begriff Investitionsrechnung zusammengefasst. Im Kontext Softwareauswahl und -integration können folgende quantitative Kriterien berücksichtigt werden (Bundesregierung für Informationstechnik 2012; Meinel 2010):

- Hardwarekosten
- Mitarbeiterschulung
- Migrationsplanung
- Systemeinführung/-installation
- Support
- Administration
- Entwicklungskosten
- Sach- und Hilfsmittel
- Softwarekosten
- Sonstige Umstellungskosten
- Kosteneinsparungen
- Erlöse (Verwertung Altsystem)

Grundsätzlich trennt man dabei zwischen dynamischen und statischen Verfahren. Statische Verfahren berücksichtigen den Faktor Zeit nicht. Dadurch wird nur eine fiktive Durchschnittsperiode betrachtet. Die Bezugsgrößen basieren auf der Leistungs- und Kostenrechnung. Die statistischen Verfahren haben auf Basis dieser Eigenschaft mehrere Vorteile. Die Verfahren sind gut verständlich und der Durchführungsaufwand ist gering. Dadurch sind sie aber nicht so exakt und eine Fehlentscheidung hinsichtlich einer Alternative könnte daraus resultieren.

Dynamische Verfahren beachten den Zeitverlauf der Investition. So werden Zahlungsflüsse einem genauen Zeitpunkt in einem Mehrperiodenmodell zugeordnet. Die Verfahren beruhen auf Bezugsgrößen der Finanzrechnung und Ein- und Auszahlungen. Durch die Einbeziehung der Zeit ist die dynamische Investitionsrechnung genauer als die statische Investitionsrechnung, jedoch auch komplexer und aufwendiger (Putnoki et al. 2011, S. 21).

Eine Übersicht der verschiedenen Verfahren der Investitionsrechnung ist nachfolgend dargestellt:

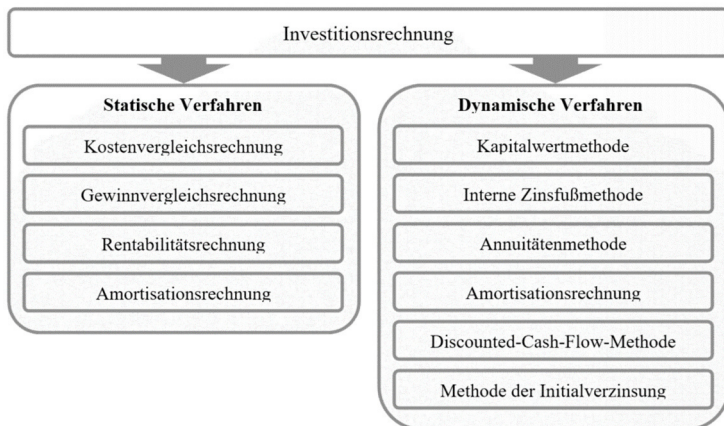


Abbildung 53: Übersicht über statische und dynamische Verfahren (Eilenberger et al. 2013, S. 153; Carstensen 2009, S. 31; Rolfes 2003, S. 9; Brecht 2015, S. 22)

Die verschiedenen Verfahren finden ihren Einsatz in der Industrie. Die Anwendungshäufigkeit ist in der Abbildung 54 und Abbildung 55 aufgeführt.

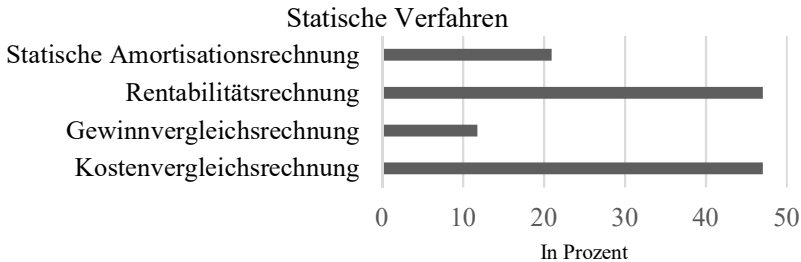


Abbildung 54: Anwendungshäufigkeit statischer Verfahren (Bieg et al. 2016, S. 241)

Bei den statischen Verfahren (Abbildung 54) wird deutlich, dass vor allem die Rentabilitätsrechnung und das Kostenvergleichsverfahren von der Hälfte der Unternehmen genutzt werden. Die statische Amortisationsrechnung wird von knapp ein Viertel der Firmen genutzt. Die Gewinnvergleichsrechnung ist ein optional eingesetztes Werkzeug für die Investitionsrechnung. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass die statistischen Verfahren häufig in der Praxis eingesetzt werden.

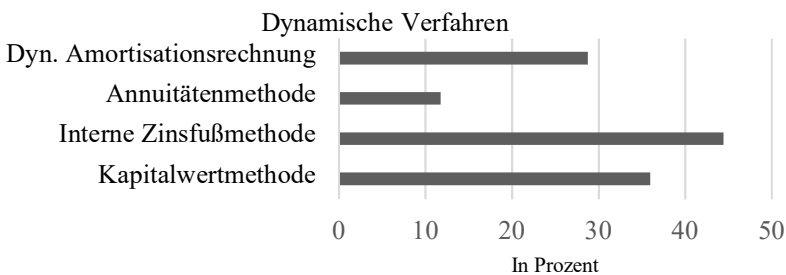


Abbildung 55: Anwendungshäufigkeit dynamischer Verfahren (Bieg et al. 2016, S. 241)

Bei den dynamischen Verfahren (Abbildung 55) ist die Methode des internen Zinsfuß, die am häufigsten eingesetzte Methode. Gefolgt von der Kapitalwertmethode und der dynamischen Amortisationsrechnung. Die Annuitätenmethode hingegen wird selten eingesetzt. Nachfolgend werden die einzelnen statischen und dynamischen Methoden kurz erläutert:

Statische Verfahren

Rentabilitätsrechnung

Die Rentabilitätsmethode ist auch unter dem Namen Return on Investment (ROI) Methode bekannt. Rentabilität beschreibt die jährliche Verzinsung des gebundenen Kapitals. Der *ROI* ist eine Verhältnisskennzahl, die den Gewinnzuwachs G zum eingesetzten Kapital K_{ges} widerspiegelt.

$$ROI = \frac{G}{K_{ges}}$$

Formel 1: Return of Investment

Das Entscheidungskriterium für eine Investition ist gegeben, wenn die Rentabilität mindestens so hoch ist wie die vom Investor bestimmte Mindestrentabilität. Ein positiver ROI erwirtschaftet das eingesetzte Kapital. Ebenso werden alle laufenden Kosten gedeckt und eine Rendite wird generiert (Zischg 2013, 48f; Heesen 2016, S. 11).

Kostenvergleichsrechnung

Bei dem Kostenvergleichsverfahren werden die durchschnittlichen Kosten der Alternativen verglichen. Dafür werden die fixen Kosten k_f , die variablen Kosten k_v , und die Stückzahl x bestimmt. Die Kapitalkosten (Teil der fixen Kosten) werden mithilfe der linearen Abschreibung berechnet. Nachdem alle Einzelkosten bestimmt sind, können die Gesamtkosten K_{ges} berechnet werden:

$$K_{ges} = k_f + k_v * x$$

Formel 2: Gesamtkosten

Die Gesamtkosten der Alternativen werden zur Beurteilung verglichen. Die Alternative mit den geringsten Kosten ist nach diesem Verfahren die Lukrativste (Bleis 2011, S. 10; Putnoki et al. 2011, 22ff).

Gewinnvergleichsrechnung

Die Gewinnvergleichsrechnung vergleicht den durchschnittlichen Gewinn der Alternativen. Der durchschnittliche Gewinn G über die Zeit T ergibt sich aus der Differenz zwischen Gesamterlösen E und den Gesamtkosten K .

$$G = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (E_t - K_t)$$

Formel 3: Berechnung des durchschnittlichen Gewinns

Das Investitionsobjekt mit dem größten Gewinn ist am Vorteilhaftesten (Schäfer 2006, 49f; Hutzschenreuter 2015, S. 121)

Statische Amortisationsrechnung

Die Amortisationszeit w betrachtet den Zeitraum, der benötigt wird bis die durchschnittlichen Rückflüsse, Einzahlungen e minus Auszahlungen a , das eingesetzte Kapital K_{ges} begleichen. Der Unterschied zur dynamischen Amortisationsrechnung besteht darin, dass die Zinsen nicht beachtet werden. Die statische Amortisationszeit berechnet sich wie folgt:

$$w = \frac{K_{ges}}{(e - a)}$$

Formel 4: statische Amortisationsdauer

Die Investition ist lohnenswert, wenn die Amortisationsdauer unterhalb der durch den Investor festgelegten Amortisationsdauer liegt (Poggensee 2014, S. 89; Götze 2008, 63f).

Dynamischen Verfahren

Kapitalwertmethode

Der Kapitalwert KW einer Investition stellt den Gegenwartswert der Ein- und Auszahlungen dar. Dabei werden alle Zahlungsströme R_t und Liquidationserlöse L_t mithilfe des Kalkulationszinssatzes i ($q=1+i$) auf den Bezugspunkt Null (Start des Projekts) abgezinst. Die Investitionskosten I_0 werden dem Zeitpunkt Null zugeordnet (Mensch 2002, S. 75; Pape). In Formel 5 ist dieser Zusammenhang dargestellt.

$$KW = -I_0 + \sum_{t=1}^T R_t * q^{-t} + L_t * q^{-T}$$

Formel 5: Kapitalwertberechnung

Der Kapitalwert gibt Informationen ob die Investition lukrativ ist. Im Folgenden sind die einzelnen Fälle dargestellt:

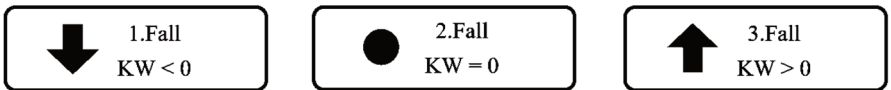


Abbildung 56: Fälle der Kapitalwertrechnung

Im ersten Fall ist der Kapitalwert geringer als Null. Das spricht gegen eine Investition. Der zweite Fall ist investitionsneutral, da weder Verlust noch Gewinn entsteht. Im dritten Fall lohnt sich eine Investition, da die Verzinsung des gebundenen Kapitals höher ist als der Kalkulationszinsfuß. Je höher der Kapitalwert desto besser. (Mensch 2002, S. 76)

Endwertmethode

Die Endwertmethode ist ähnlich der Kapitalwertmethode. Der Unterschied ist, dass die Einzahlungen und Auszahlungen zum Ende des Betrachtungszeitraums aufzuzinsen sind. Der Endwert EW berechnet sich aus der Anfangsinvestition I_0 multipliziert mit q^T ($q=1+$ Kalkulationszinssatz i) addiert mit der

Summe aus dem Produkt von den Zahlungsströmen R_t und q^{T-t} wobei T die Gesamtdauer und t der Zahlungszeitpunkt ist (Scheffler 2010, S. 50).

$$EW = -I_o * q^T + \sum_t^T R_t * q^{T-t}$$

Formel 6: Endwertmethode

Die Alternative mit dem höchsten Endwert ist die vorteilhafteste. Ein positiver Endwert zeigt darüber hinaus, dass die Alternative mehr als den Kalkulationszinssatz erwirtschaftet hat.

Interne Zinsfußmethode

Die Methode des internen Zinsfußes ermittelt den Zinsfuß, auch Rendite genannt, der zu einem Kapitalwert von Null führt (Bleis 2011, S. 54). Die Methode kann grafisch in Abbildung 57 gut nachvollzogen werden. Gesucht wird der Zins, der beim Abzinsen der Ein- und Auszahlungen zu einem Break-Even-Point¹ am Ende der Laufzeit führt.

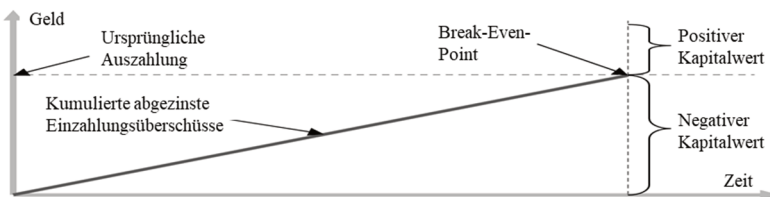


Abbildung 57: Grafische Bedeutung des internen Zinsfußes (Heesen 2016, S. 67)

¹ Der Break-even-Point „[,] gibt den Punkt an, bei dem die jeweiligen Umsatzerlöse die Gesamtkosten der Periode genau decken, so dass sich bei dieser Produktions- bzw. Absatzmenge ein Gewinn von Null (=Gewinnschwelle) ergibt“ (Kalenberg 2013, S. 285).

Der Kapitalwert KW berechnet sich aus den Investitionskosten I und den einzelnen Einzahlungsüberschüssen $EZ\ddot{U}$, die sich aus Einzahlungen e und Auszahlungen a zusammensetzen. Die Einzahlungsüberschüsse werden mithilfe der Rendite r abgezinst. Durch Formel 7 ist dieser Zusammenhang erklärt.

$$KW = 0 = -I + \sum_{t=1}^k \frac{EZ\ddot{U}}{(1+r)^t} = -I + \frac{e_1 - a_1}{(1+r)^1} + \frac{e_2 - a_2}{(1+r)^2} + \frac{e_3 - a_3}{(1+r)^3} + \dots$$

Formel 7: Ziel der internen Zinsfußmethode

Die Berechnung der Rendite r wird im Normalfall mit der „Regula-Falsi-Formel“ bestimmt (Formel 8). Dies basiert auf einer Annäherung an den gesuchten Wert, wobei Versuchszinsfüße i_x und deren entsprechender Kapitalwert KW_x verwendet werden.

$$r = i_1 - \frac{KW_1}{KW_2 - KW_1} \times (i_2 - i_1)$$

Formel 8: Regula-Falsi-Formel

Die Investition lohnt sich, sobald die Rendite größer ist als der Kalkulationszinsfuß. Die Differenz wird Investitionsmarge genannt. Je höher die Investitionsmarge desto besser. (Heesen 2016, 68f, 2016)

Dynamische Amortisationsrechnung

Die dynamische Amortisationsrechnung bestimmt die Zeitspanne w , die benötigt wird bis die Anschaffungsauszahlungen I_0 plus die dafür anfallenden Zinsen i durch die Einzahlungsüberschüsse $EZ\ddot{U}$ ($e_t - a_t$) gedeckt sind. Folgende Formel stellt diesen Zusammenhang dar:

$$I_0 = \sum_{t=1}^w (e_t - a_t) * (1+i)^{-t}$$

Formel 9: Grundformel zur dynamischen Amortisationsrechnung

Die Investition ist dann lohnenswert, wenn die Amortisationsdauer (w) die vom Investor vorgegebene Zeitspanne nicht überschreitet (Kußmaul 2011, S. 224)

Annuitätenmethode

Die Annuitätenmethode berechnet den Kapitalwert KW in gleichbleibenden nachschüssigen Periodenzahlungen. Die Annuität a ist eine zeitlich gleichhohe nachschüssige Zahlung, die den Zins mit einrechnet. In Abbildung 58 ist dies grafisch dargestellt.

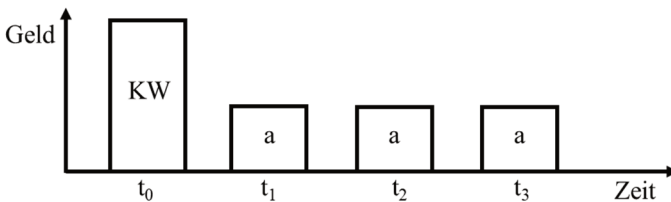


Abbildung 58: Verdeutlichung der Annuitätenmethode

Die Annuität a lässt sich mithilfe des Kapitalwerts KW und des Rentenbarwertfaktors RBW berechnen (Formel 10).

$$a = KW * \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} = KW * \frac{1}{RBW_n^i}$$

Formel 10: Annuitätenberechnung

Eine Investition ist sinnvoll, wenn die Annuität größer Null ist. Je höher die Annuität, desto besser (Hutzschenreuter 2015, 132f; Hoffmeister 2008, S. 124).

Qualitative Aspekte bei der Softwareeinführung

Neben den monetären Aspekten sind auch die nicht-monetären Aspekte zu berücksichtigen. Im Kontext Softwareauswahl und -integration können folgende qualitative Kriterien berücksichtigt werden (Bundesregierung für Informationstechnik 2012):

- Hardwareabhängigkeit
- Softwareabhängigkeit
- Identity Management
- Systemstabilität
- Systemperformance
- Sicherheit
- Benutzerfreundlichkeit
- Flexibilität
- Marktdurchdringung
- Softwareergonomie
- Schnittstellen
- Dokumentation
- Unterstützungskontinuität-Altsystem
- Einhaltung gesetzlicher Vorgaben
- Ordnungsmäßigkeit der Arbeitsabläufe
- Beschleunigung von Arbeitsabläufen

Um den Nutzen zu erfassen kann eine Nutzwertanalyse durchgeführt werden. Die Nutzwertanalyse bewertet alle nicht-monetären Kriterien des multidimensionalen Zielsystems. Die Zielkriterien werden durch einen Nutzwert messbar gemacht. Mithilfe von unterschiedlichen Gewichtungen kann die Bedeutsamkeit eines Faktors herausgestellt werden. Die Vorgehensweise kann in 5 Schritte gegliedert werden (Mensch 2002, S. 212; Jung 2011, 134f).

1. Schritt: Zielkriterienbestimmung

Dieser Schritt umfasst die hierarchische Gliederung der Zielkriterien. Darunter fallen Ziele, Anforderungen und Eigenschaften. Durch die Ordnung der Kriterien entsteht eine Art Strukturbaum. Dabei sind die Elementarziele in einem Oberbegriff zusammengefasst und diese sind wiederum zusammengefasst in ein Gesamtziel. Dabei sollte beachtet werden, dass verschiedene Kriterien nicht die gleichen Eigenschaften umfassen. Ebenso sollten die Zielkriterien

nutzenunabhängig sein. Nur die Elementarziele werden quantitativ bewertet. (Jung 2011, S. 134)

2. Schritt: Zielkriteriengewichtung

In diesem Schritt müssen die einzelnen Zielkriterien gewichtet werden. Durch die Gewichtung wird der relative Nutzen der Teilziele bestimmt. Die Gewichtung erfolgt mithilfe von Skalierungsverfahren. (Bleis 2011, S. 81)

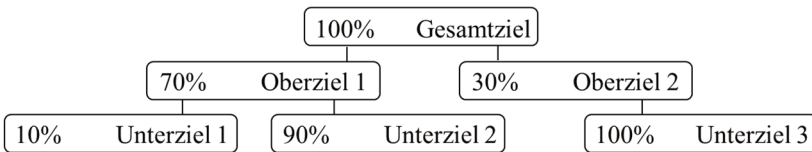


Abbildung 59: Zielkriteriengewichtung

Die Baumstruktur verdeutlicht das Schema. Dabei ist wichtig, dass die jeweiligen Unterziele von einem Oberziel zusammen 100 % ergeben. Die dargestellte Prozentzahl stellt das Knotengewicht dar. Das Stufengewicht lässt sich durch Multiplikation der jeweiligen Stufen ermitteln. So besitzt in diesem Beispiel Unterziel 2 ein Knotengewicht von 54 % ($100 \% * 60 \% * 90 \%$).

3. Schritt: Teilnutzenbestimmung

Im dritten Schritt werden die Nutzen für die untersten Hierarchieebenen bestimmt. Dieses Vorgehen kann man in 2 Stufen gliedern:

- i. Die Ausprägungen der Alternativen in Bezug auf die Zielkriterien sind mithilfe der entsprechenden Nutzenskala zu bestimmen. Man unterscheidet dabei zwischen:
 - *Nominalskalen*: Skala, bei der alternative Ausprägungen nur deren Verschiedenheit zum Ausdruck bringen
 - *Ordinalskalen*: Möglichkeit der Reihung verschiedener Messgrößen
 - *Kardinalskalen*: Die Kardinalskala, auch metrische Skala genannt, misst quantitative Merkmale

- ii. Die gemessenen Zielerreichungswerte werden transformiert, so dass diese für alle Kriterien einheitlich sind. Bei der Überführung sind Transformationsfunktionen hilfreich. Es gibt drei Arten von Transformationsfunktionen (Jung 2011, S. 135; Götze 2008, S. 183):
- Diskrete Transformationsfunktion: Den spezifischen Zielerreichungsklassen wird ein bestimmter Wert zugeordnet. Die Voraussetzung ist eine ordinale Messung.
 - Stückweise konstante Transformationsfunktion: Alle Werte eines Intervalls werden in einen Teilnutzenwert umgewandelt. Die Voraussetzung ist die kardinale Messung.
 - Stetige Transformationsfunktion: Die stetige Transformationsfunktionsmatrix entspricht der stückweise konstanten Transformationsfunktion, jedoch werden dabei auch kleine Unterschiede berücksichtigt und dem entsprechenden Nutzwert zugeordnet.

4. Schritt: Nutzwernermittlung

Die Kriterien werden in diesem Schritt vergleichbar gemacht. Mittels der Teilnutzwerte n_{ij} der einzelnen Hierarchiestufen und dem entsprechenden Kriteriengewichtung g_j kann durch Multiplikation ein Vergleich der Nutzwerte N_j ermittelt werden. Für die Berechnung gilt (Götze 2008, S. 183; Schulte 2001, S. 238):

$$N_j = \sum_{i=1}^n n_i * g_j$$

Formel 11: Nutzwernermittlung

5. Schritt: Vorteilhaftigkeitsbewertung

Durch die Nutzwerte der einzelnen Alternativen ergibt sich eine Reihenfolge. Die Alternative mit dem höchsten Nutzwert ist die Vorteilhafteste (Jung 2011, S. 135).

Strategische Aspekte bei der Softwareeinführung

Ein weiterer relevanter Aspekt, der monetär nicht quantifizierbar ist, ist der strategische Aspekt. Dabei können Zukunftsvisionen und Unternehmensausrichtungen berücksichtigt werden. Im Kontext Softwareauswahl und -integration können folgende Kriterien berücksichtigt werden (Bundesregierung für Informationstechnik 2012; Meinel 2010):

- Unabhängigkeit
- Quellcodeverfügbarkeit
- Supportverfügbarkeit
- Marktpräsenz des Systems
- Mitarbeiterflexibilität
- Imagewirkung
- Pilot-Projekt-Charakter
- Folgewirkungen
- Attraktivität der Arbeitsbedingungen
- Know-How-Potenzial

3.4.3 Product Lifecycle Analytics

Daten sind „Das Gold des 21. Jahrhunderts“ (Hoffmeister 2017), so postuliert es die Zeit. Unternehmen wie zum Beispiel Facebook können durch Analyse Menschen aufgrund Ihrer Aktionen beschreiben. An der Cambridge Universität wurde dazu eine Studie durchgeführt. Anhand von Likes wurden Eigenschaften des Users erstellt. Das Ergebnis war, dass aufgrund von 10 Likes der Computer die Probanden besser kennt als die Arbeitskollegen. Anhand von 70 Likes besser als Freunde oder Mitbewohner und mit 150 Likes besser als ein Familienmitglied. Mit 300 Likes sogar besser als der Partner (Youyou et al. 2015). Diese Ergebnisse demonstrieren, welche Macht hinter Daten steckt.

Die aggregierten Daten über Kunden und Produkt sind eine wichtige Basis für die Unternehmen, um individualisierte Produkte und Dienstleistungen für den Kunden anzubieten. Der Begriff „Big Data“ wird in diesem Kontext benutzt.

„Big Data is a process to deliver decision-making insights. The process uses people and technology to quickly analyze large amounts of data of different types [...] from a variety of sources to produce a stream of actionable knowledge“ (Kalyvas und Overly 2015, S. 1). Die Charakteristiken (3 V's für Big Data) werden aufbauend auf Merv und dem McKinsey Global Institute folgendermaßen benannt:

- „Volume: Der Datenbestand ist umfangreich und liegt im Tera- bis Zettabytebereich [...]“ (Fasel und Meier 2016, S. 8).
- „Variety: Unter Vielfalt versteht man bei Big Data die Speicherung der strukturierten, semi-strukturierten und unstrukturierten Multimedia-Daten (Text, Grafik, Bilder, Audio und Video)“ (Fasel und Meier 2016, S. 8).
- „Velocity: Der Begriff bedeutet Geschwindigkeit und verlangt, dass Datenströme (Data Streams) in Echtzeit ausgewertet und analysiert werden können“ (Fasel und Meier 2016, S. 8).

Zusätzlich zu den 3 V's finden in der Literatur weitere Erwähnung (Schwarz 2015, S. 37): Veracity (Präzision der Daten), Variability (Dynamik der Quelle), Venue (von welcher Plattform), Vocabulary (zusätzliche Metadaten), Vagueness (Klarheit der Bedeutung), Value (Wert der Daten), Validity (Gültigkeit der Daten), Volume (Größe der Daten).

Die nachfolgende Abbildung 60 verdeutlicht die Zunahme an gespeicherten Daten. Für das Jahr 2020 verglichen mit dem Jahr 2015 wird mit einem gesamten Datenzuwachs von 8 591 Exabyte im Jahr 2015 auf 40 026 Exabyte im Jahr 2020, einem Anstieg um 466%, gerechnet.

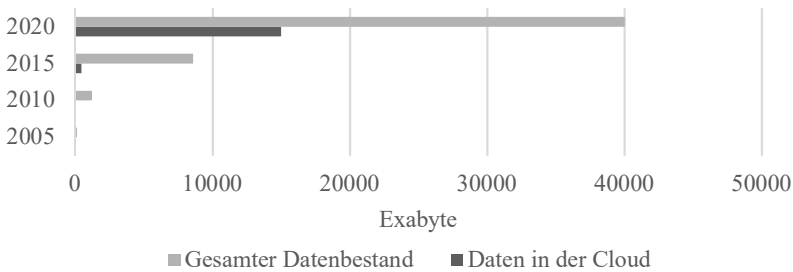


Abbildung 60: Historie und Vorhersage der Datenspeicherung (Rohling 2017)

Die Datenflut wird durch die Digitalisierung von Maschinen, Anlagen und Prozessen ausgelöst. Zudem begünstigt die rasche Entwicklung im Gebiet der Datenspeicherung die Datenzunahme und Datenspeicherung. Für die Verwendung der Daten ist mathematisch-statistisches Knowhow, sowie disziplinspezifisches Wissen für die jeweiligen Analysen notwendig (BIT-KOM 2014). Im Kontext von Product Lifecycle Management bietet Big Data eine große potenzielle Datenbasis für Optimierungen in den einzelnen Disziplinen des Produktlebenszykluses.

Grundlagen der Datenanalytik

„Als Analytik wird die Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle der Datengewinnung und analytischen Informationsnutzung in [...] Prozessen verstanden“ (Gluchowski und Chamoni 2015, S. 74).

In deutschen Industrieunternehmen finden die Bereiche wie Business Intelligence oder Datenanalyse immer mehr Bedeutung. Auch bei KMU findet ein Umdenken statt. Ungefähr 30 Prozent planen bereits finanzielle Mittel ein. Besonders die großen Automobilunternehmen sind im Bereich Datenanalyse unter Zugzwang, da durch Industrie 4.0 neue Paradigmen in der Fertigung einziehen (Sprenger und Engemann 2015).

Die etablierten Verfahren lassen sich in verschiedene Teilbereiche gliedern (Abbildung 61).

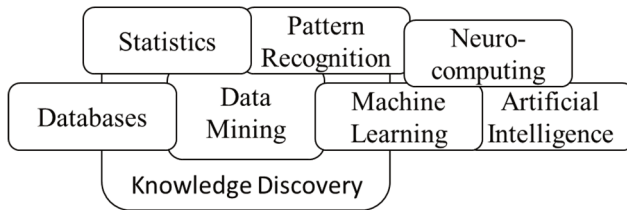


Abbildung 61: Methoden der Datenanalyse (Mitchel-Guthrie 2014)

Bei den Methoden unterscheidet man prinzipiell zwischen vorhersagenden (predictive) und beschreibenden (descriptive). Bei der vorhersagenden Statistik werden aus Beobachtungen/Stichproben Prognosen für die Gesamtheit erstellt. Als Grundlage für die beschreibende Statistik sind eine Vielzahl von Beobachtungen/Messungen notwendig, die auf geeignete Parameter (zum Beispiel Mittelwert, Standardabweichung, Varianz) zurückzuführen sind. (Nicoletti et al. 2007, S. 111)

Data Mining

Um die verschiedenen Analysemethoden anzuwenden, ist es zunächst notwendig den Prozess des Data Mining zu verstehen. Kernelemente des Data Mining sind die korrekte Identifizierung von Handlungsfeldern und die klare Definition von Zielen.

Der Data Mining Prozess teilt sich in mehrere Schritte auf (Fayyad et al. 1996):

1. Auswahl der Daten: Um den Datenbestand zu optimieren, sollen irrelevante Variablen beziehungsweise Dimensionen reduziert werden. Nachdem die richtigen Variablen ausgewählt sind, reicht in vielen Fällen eine Stichprobe aus, valide Vorhersagen zu treffen.
2. Datenvorbereitung: Bei der Datenvorbereitung werden Datenanomalien untersucht (zum Beispiel fehlende Werte mit Standardwerten ersetzt). Häufig besteht der Anspruch die Daten in konsistenter Form, als auch auf echtzeitfähiger Hardware vorzuhalten, sodass dieser Prozess automatisiert ablaufen muss, um dies zu ermöglichen.

3. Transformation: Der Transformationsprozess umfasst alle Änderungen der Datenbereiche, Normierungen und Umwandlungen der Daten in andere Datenbereiche und Aggregationen von Variablen. Hierbei können Informationen verzerrt oder verloren gehen.
4. Mustererkennung: Bei der Mustererkennung werden die Daten nach Regelmäßigkeiten, Wiederholungen, Ähnlichkeiten und Gesetzmäßigkeiten überprüft.
5. Evaluation: In der Evaluationsphase folgt eine fach- und sachgerechte Bewertung.

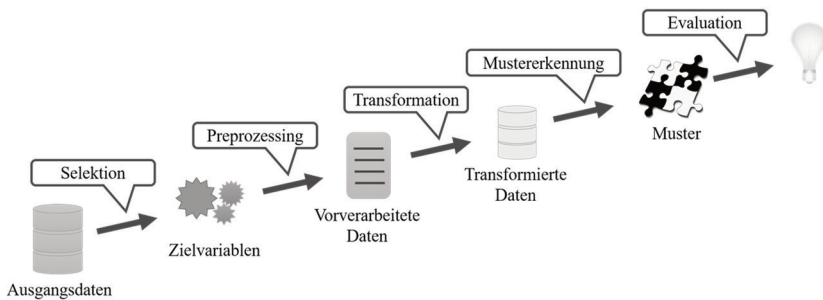


Abbildung 62: Data Mining Prozess (Chen et al. 2015, S. 2)

Methoden des Knowledge Discovery

Knowledge Discovery ist die halbautomatische Extraktion von neuartigem und potenziell brauchbarem Wissen aus Datenbanken (Ester und Sander 2000, S. 1). Die Methoden des Knowledge Discovery basieren auf ‚descriptiven‘ und ‚predictiven‘ Methoden. Die nachfolgend beschriebenen Verfahren können in beiden Bereichen zum Einsatz kommen. Das ist abhängig von den vorliegenden Daten und wie diese verarbeitet werden.

Entscheidungsbäume

Mit Entscheidungsbäumen können Objekte anhand von Merkmalen in Gruppen im Kontext einer Zielgröße geordnet werden (Bankhofer und Vogel 2008, S. 273). Entscheidungsbäume haben die Eigenschaft geordnete und gerichtete

Bäume zu sein. Zudem ist die Darstellungsform intuitiv und übersichtlich. Dabei unterscheidet man zwischen zwei Varianten (Bankhofer und Vogel 2008, S. 273):

- Klassifikationsbäume finden Einsatz bei nominal skalierten Variablen als abhängige Zielgröße.
- Regressionsbäume werden bei quantitativen Zielgrößen als abhängige Zielgröße eingesetzt.

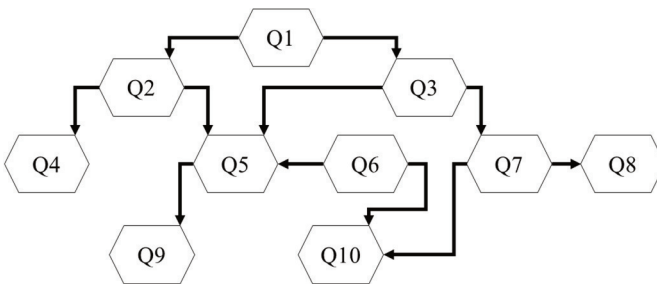


Abbildung 63: Struktur eines Entscheidungsbaums

Ein Entscheidungsbaum hat drei Hauptelemente:

- Knoten stellen dabei Fragen dar.
- Kanten symbolisieren Antwortalternativen.
- Blätter können Lösungen oder Aufrufe anderer Lösungsbäume aufrufen.

Entscheidungsbaume sind auch leicht durch Menschen interpretierbar und dadurch auch sehr beliebt.

Clusteranalyse

Eine Clusteranalyse bildet auf Grundlage von vorgegebenen Variablen Gruppen. Die Objekte einer Gruppe, auch Cluster genannt, sollten dabei möglichst ähnliche Merkmale aufweisen. (Bühl 2008, S. 545) In der Praxis eignet sich

eine Clusteranalyse zum Beispiel für folgende Bereiche (Martens 2003, S. 245):

- Werbung: Durch Persönlichkeitstypen lassen sich Konsumenten gruppieren.
- Marktforschung: Vorhandene Produkte oder Konsumenten können in Marktsegmente eingeteilt werden.
- Strategische Unternehmensplanung: Auf Basis einer Kennziffer können auf dem Markt agierende Unternehmen in Gruppen eingeteilt werden.

Das Vorgehen der Clusteranalyse lässt sich in mehrere Schritte einteilen. Im ersten Schritt werden die entsprechenden Variablen ausgewählt. Im zweiten Schritt wird die Ähnlichkeit der Variablen berechnet. Im dritten Schritt wird der passende Clusteralgorithmus festgelegt. Im vierten Schritt kann die Clusteranzahl bestimmt werden. Im letzten Schritt werden die Cluster benannt. (Martens 2003, S. 245)

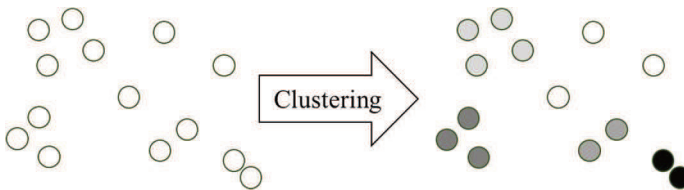


Abbildung 64: Clusteranalyse

Instanzbasiertes Lernen

Das instanzbasierte Lernen ist in der Statistik unter der ‚Nächsten Nachbar-Methode bekannt. Die Grundidee ist die Klasse eines neuen unbekanntes Objektes vorherzusagen, indem die Klasse des ähnlichsten Objektes übernommen wird. (Görz et al. 2013, S. 421)

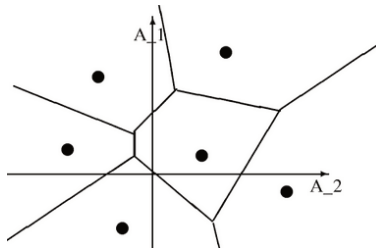


Abbildung 65: Voronoi-Diagramm für Nachbarschaftsbeziehungen
(Görz et al. 2013, S. 423)

Auf Basis des Voronoi-Diagramms kann die Nearest-Neighbour Klassifikation angewandt werden. Im Voronoi-Diagramm ist jeder Datenpunkt von einem konvexen Polygon umgeben. Dieses definiert ein Gebiet. Das Diagramm ermöglicht, dass zu einem beliebigen Punkt der nächste Nachbar unter den Datenpunkten der Datenpunkt ist, welcher am nächsten liegt. Ist das Voronoi-Diagramm für eine Menge an Daten definiert, kann für einen neuen zu klassifizierenden Punkt, der nächste Nachbar einfach gefunden werden. Die Klassenzugehörigkeit kann dann auf Basis des nächsten Nachbarn übernommen werden. (Ertel 2016, S. 208)

Online Analytical Processing

Online Analytical Processing (OLAP) gehört zu den hypothesengestützten Methoden. Bei OLAP handelt es sich um eine Softwaretechnologie, mit der man aus verschiedenen Sichten auf den Datenbestand sehen kann. Besonders für Entscheider ist diese Methode eine Unterstützung (Coronel und Morris 2019, S. 620). Die Methode ermöglicht eine Detailanalyse auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus und eine flexible Kombination von ausgewählten Eigenschaften. Bei dem Einsatz kommen verschiedenen Funktionen zum Einsatz (Bouguettaya et al. 2017, 501ff):

- Roll-up: Schrittweise Aggregation von Daten entlang des Konsolidierungspfads über die Dimensionshierarchien.
- Drill-Down: Navigation von den aggregierten Daten zu den Detaildaten.

- Slice: Verringerung der Dimensionalität.
- Dice: Kombination von Klassifikationsknoten.
- Pivotierung: Vertauschen der Dimensionen.

Die Verfahren können mit dem OLAP-Würfel, der die verschiedenen Dimensionen aufzeigt, veranschaulicht werden.

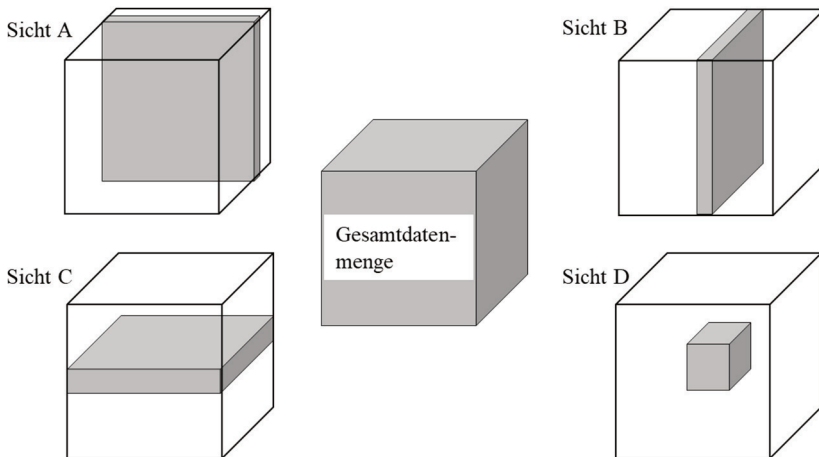


Abbildung 66: OLAP-Würfel (Totok 2000, S. 63)

Künstliche Neuronale Netze

Neuronale Netze sind computergestützte Netzwerke, die Entscheidungsprozesse abstrakt simulieren (Graupe 2013, S. 1). Künstliche neuronale Netze sind Lernsysteme, die vom Gehirn des Menschen inspiriert sind. Als typisches Beispiel für ein neuronales Netz wird an dieser Stelle das XOR-Netz, bestehend aus 4 Zellen, dargestellt. Die XOR Funktion kann nicht durch einen linearen Klassifizierer abgebildet werden. Die drei Schichten ermöglichen, es bei der gewünschten Eingabe von Nullen und Einsen, die dargestellte XOR Klassifizierung durchzuführen.

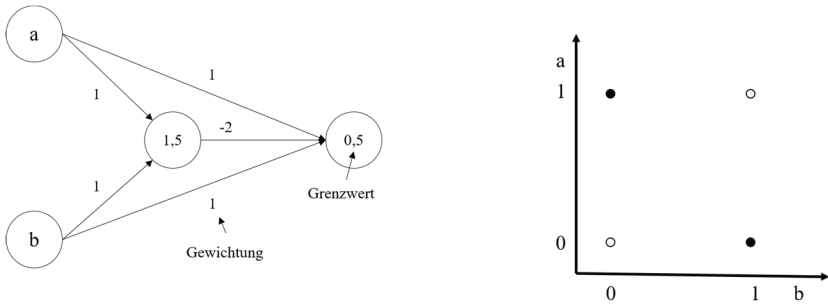


Abbildung 67: XOR-Funktion (Saake und Sattler 2014)

Neuronale Netze lassen sich in folgende Topologien kategorisieren. Netze ohne Rückkopplung, auch feedforward Netze genannt und Netze mit Rückkopplungen, auch als rekurrente Netze bezeichnet. Der Unterschied ist, dass Netze ohne Rückkopplung keine Zyklen oder Kreisläufe aufweisen. Feed Forward Netze werden weiterhin unterschieden in Netze mit Verbindungen zu verschiedenen Schichten (shortcuts). Ein Beispiel für shortcut liefert das oben dargestellte XOR-Netz, dabei wird durch Verbindungen zwischen Ein- und Ausgabeschicht die verdeckte Schicht übergangen. Rekurrente Netze hingegen umfassen alle Varianten von Zyklen und kategorisieren diese in Netze mit direkten, indirekten und lateralen Rückkopplungen, sowie in Netze die vollständig verbunden aber ohne direkte Rückkopplungen sind. Neuronale Netze sind lernfähig. Das Lernen basiert auf einem Vergleich der Kontrollinstanz mit der gewünschten Ausgabe. (Haun 2016, 258ff)

Text Mining

Text Mining basiert auf verschiedenen Algorithmen zur Analyse von Textdaten, um Wissen und Information auszuwerten und zu verarbeiten. Dabei kommen sowohl statistische als auch linguistische Mustererkennungsverfahren zum Einsatz. Text Mining wird für die folgenden Aufgaben eingesetzt. Dokumente können anhand ihres Inhalts klassifiziert werden. Ein großes Anwendungsgebiet für Text Mining ist im Internet (Web Mining). Dabei werden die

Inhalte einer Website (Dokumente, Bilder, etc.) analysiert. Eine Unterform davon ist das Web Usage Mining. Bei dieser Anwendung wird das Benutzerverhalten auf den Websites analysiert. (Linder 2005, S. 65)

Case-Based Reasoning

Das Case Based Reasoning versucht eine vorgegebene Problemlösung durch maschinelle Lernverfahren zu lösen. Basierend auf einer Falldatenbank wird versucht aus historischen Daten Kenntnisse für das aktuelle Problem zu ziehen. Der Case Based Reasoning Zyklus (Abbildung 68) ist in verschiedene Phasen eingeteilt (Pfuhl 2013, S. 12):

- Retrieve: Ein möglichst ähnliches Problem wird ermittelt.
- Reuse: Eine Lösung für das neue Problem wird adaptiert.
- Revise: Die Problemlösung wird überprüft und überarbeitet.
- Retain: Der neue Fall wird gespeichert gespeichert.

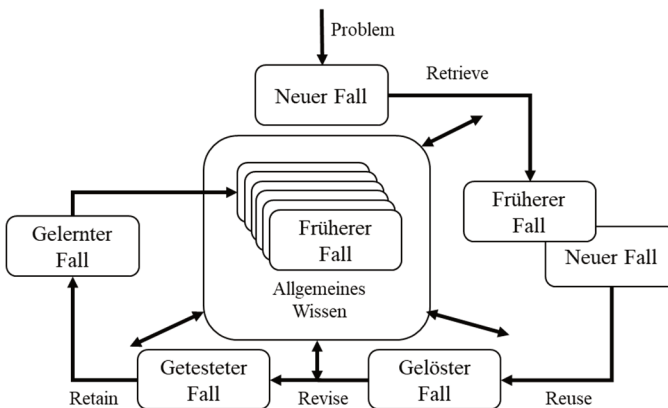


Abbildung 68: Cased Based Reasoning Zyklus (Reyes et al. 2015, S. 3)

3.5 Fazit

In diesem Kapitel sind die Grundlagen für die „DAs“ Methodik beschrieben. Als Basis für die Methodik sind Anforderungen definiert. Diese sind in Kriterien aufgeteilt. Diese sind aufgeteilt in drei Kategorien: Funktionale Anforderungen, Allgemeine Anforderungen und Usability. In der Umsetzung können die Anforderungen durch ein entsprechendes Analysetool realisiert werden. Die einzelnen Anforderungen sind erklärt und bilden die Grundlage für die Methodik.

Zur Umsetzung der Vorgehensweise bieten sich Ontologien an. Ontologien dienen als Wissensdatenbanken. Die Informationen können dabei in Relation zueinander gebracht werden. Die Basiselemente sind Klassen, Relationen und Instanzen. Um den aktuellen Stand von Ontologien im Bereich PLM zu untersuchen, sind relevante PLM-Ontologien in diesem Kapitel aufgeführt. Es zeigte sich dabei, dass Ontologien in dieser Domäne eingesetzt und erforscht werden. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf der Verknüpfung von Produkt, Prozess und Ressourcen.

Um die Grundlagen und mögliche Erweiterungen der Methodik zu bilden ist das Enterprise Application Management vorgestellt. Dies dient der Überwachung und Steuerung der Software-Elemente in einem Unternehmen. Zur Analyse einer IT-Systemlandschaft sind drei Methoden (VDA-Schichtenmodell, Vorgehensmodell für KMU und DoPLMCon) vorgestellt und die Vor- und Nachteile dargelegt. Alle haben den Fokus auf die IT-Schnittstellen. Zur Bewertung von IT-Softwarelösungen sind in diesem Kapitel Kriterien vorgestellt. Die Kriterien wurden aufgeteilt in quantitative, qualitative und strategische. Passend dazu sind die gängigen Kennzahlen erläutert. Zur analytischen Grundlage sind die in der Industrie eingesetzte Verfahren vorgestellt. Diese können auch zur Erweiterung der Methodik adaptiert werden.

4 „DAs“-Konzept

„The best ideas come to me when I imagine that I'm my own customer.“

-Charles Lazarus, Unternehmer-

4.1 Einführung

„DAs“ (Digitales Assistenzsystem) ist eine Methodik für die Analyse einer IT-Systemlandschaft mit Fokus auf die IT-Schnittstellen. In diesem Kapitel ist das Vorgehen der abgeleiteten Methodik strukturiert beschrieben. Die Methodik ist iterativ und in vier Phasen eingeteilt (Informationsklassifizierung, Informationsadaption, Analyse, Integration). Die einzelnen Phasen und die eingesetzten Werkzeuge und Vorgehen werden dabei detailliert erklärt. Ergänzend zu der Methodik werden auch Erweiterungsmöglichkeiten vorgestellt, die auf dem Vorgehensmodell basieren.

4.2 Methodik von „DAs“

Die Methodik gibt eine Antwort auf die in Kapitel 1.1 beschriebene Problemstellung. In dieser Dissertation ist ein Vorgehen zur Digitalisierung im Hinblick auf IT-Systeme und deren Vernetzung in Unternehmen vorgestellt. Der Fokus liegt auf den Schnittstellen und dem Informationsaustausch zwischen den einzelnen IT-Systemen und den Cyber Physischen Systemen. Die Anforderungen aus Kapitel 3.2 stellen die Randbedingungen für die Methodik dar. Die inhaltlichen Grundlagen sind in Kapitel 3 dargestellt. Mit diesem Wissen und dem passenden Werkzeug ist es möglich, ein Assistenzsystem für Unternehmen zu entwickeln. Nachfolgend ist ein Überblick der Methodik dargestellt (Abbildung 69).

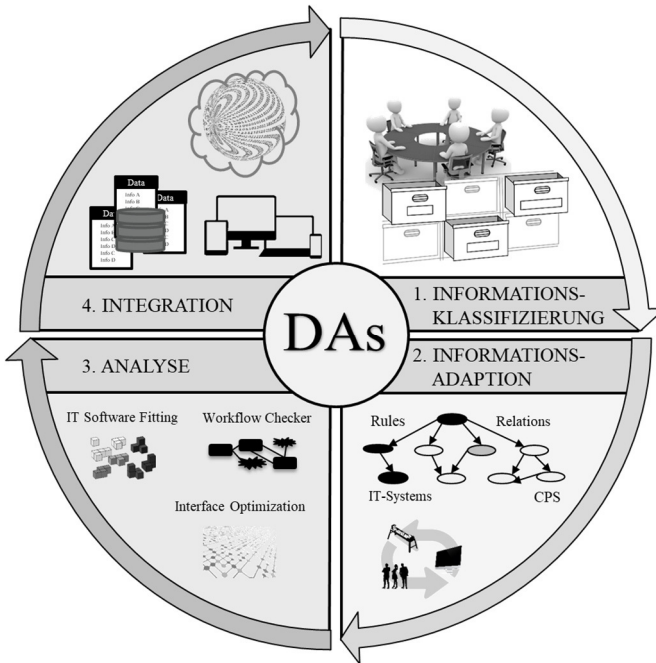


Abbildung 69: Überblick der „DAs“-Methodik

Das Fundament der Methodik bildet eine Wissensbasis, in der die Informationen und Schnittstellen hinterlegt sind. Die Wissensspeicherung basiert auf einer Ontologie. Dazu zählen die Informationen mit den entsprechenden Relationen, die von IT-Systemen erfasst und verarbeitet werden. Die Ontologie mit den entsprechenden Daten muss unternehmensspezifisch auf die entsprechende Systemlandschaft ausgelegt werden. Aufbauend darauf können Analysen durchgeführt werden. Das Vorgehen zur Umsetzung der Methodik kann in vier Schritte aufgeteilt werden. Die einzelnen Schritte bauen aufeinander auf und sind in diesem Kapitel erklärt.



Abbildung 70: Vorgehen zu der Methodik

Die Anwender können Berater für Unternehmer oder System Manager beziehungsweise Systemanalytiker in Unternehmen sein.

4.2.1 Informationsklassifizierung

Die erste Phase ist die „Informationsklassifizierung“. Als Datenbasis für die DAs-Methodik werden abteilungs- und systemübergreifend Informationen gesammelt und klassifiziert.

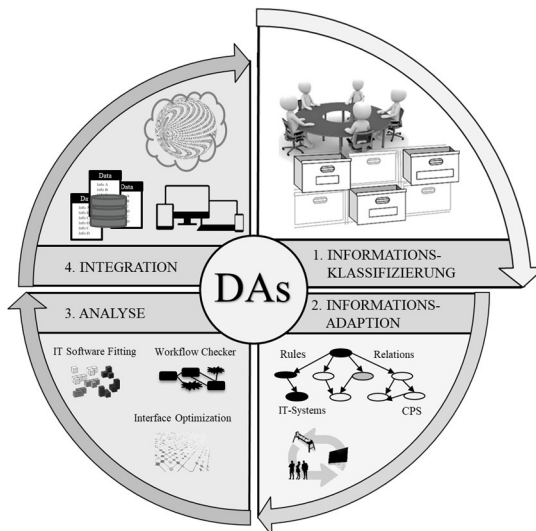


Abbildung 71: DAs – Informationsklassifizierung

Die Datenbasis kann in drei Kategorien aufgeteilt werden. Die drei Oberkategorien werden im Anschluss feingranulierter aufgeschlüsselt und strukturiert analysiert. Die Kategorien sind (Haas et al. 2017):

- a. IT-Systeme (z. B. PLM Programme, Werkzeuge der Digitalen Fabrik, Cyber Physische Systeme)
- b. Informationen (Eingangsinformationen und Ausgangsinformationen der IT-Systeme z. B. Kundenauftrag, Technische Zeichnung)
- c. Abteilungen (z. B. Einkauf, Abteilung XY)

Die Trennung der Kategorien dient der systematischen Analyse. Im weiteren Verlauf der Methodik werden diese auf unterschiedlichen Ebenen verknüpft. Für die Erfassung und Verwaltung der Informationen müssen diese einer einheitlichen Benennung unterliegen. Die Übereinstimmung in der Benennung soll unternehmensweit geregelt sein. Es ist wichtig, dass die verschiedenen Abteilungen unter der Informationsbezeichnung das Gleiche verstehen. Aufgrund der unterschiedlichen Sichten und Disziplinen in einem Unternehmen ist dies ein komplizierter Synthesevorgang. Für eine bessere Übersicht können Oberbegriffe bzw. Klassen mit inhaltlichen Schwerpunkten der IT-Systeme beziehungsweise Abteilungen erstellt werden. Zum Erstellen der Klassifizierung ist im nachfolgenden Unterkapitel ein systematisches Vorgehen vorgeschlagen.

Vorgehen zur Klassifizierung

Informationen, IT-Systeme und Abteilungen können in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Durch die Einordnung in Datentypen können die Daten organisiert und verwaltet werden. Es gibt keine einheitliche und allgemeingültige Klassifizierung für Unternehmen. Die Art der Klassifizierung hängt stark von dem Produkt, dem Unternehmensumfeld und den internen Unternehmensabläufen ab.

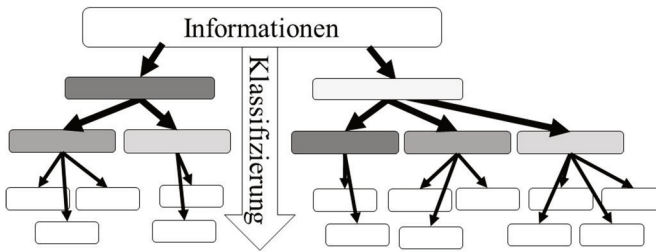


Abbildung 72: Klassifizierung der Informationen

Bei der Klassifizierung wird nach gemeinsamen Eigenschaften gesucht. Als Hilfestellung zur Erstellung der Informationsstruktur sind nachfolgend Maßnahmen vorgestellt.

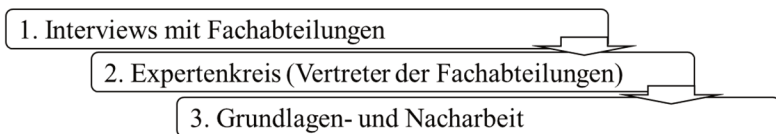


Abbildung 73: Maßnahmen zur „DAs“-Klassifizierung der IT-Systemlandschaft

1. Durch Interviews mit den Fachabteilungen sollen sämtliche IT-Systeme und deren Informationen im Unternehmen erfasst und aufgelistet werden. Als Grundlage kann auf Systeme aus dem IT-System Ontologie-Katalog zurückgegriffen werden.
2. In einem Expertenkreis sollen die verarbeiteten Informationen der IT-Systeme definiert werden. Dabei ist die einheitliche Benennung der Informationen essentiell.
3. Die Klassifizierung der drei Gebiete (Informationen, IT-Systeme und Abteilungen) kann im Nachgang kontrolliert und entsprechende Unklarheiten mit den Verantwortlichen abgeklärt werden.

Nach der Durchführung der Maßnahmen soll als Ergebnis eine Klassifizierung der IT-Systeme, Abteilungen und Informationen existieren. Die Klassifizierung und die Benennungen sind nicht endgültig und befinden sich in einem kontinuierlichen Änderungsprozess.

Als Erweiterung können die Informationen weiter nach dem Dateiformat spezifiziert werden. Diese zusätzliche Angabe ist für die Kompatibilität beim Austausch zwischen Systemen von Bedeutung. Um eine verlustfreie Übergabe der Informationen zu ermöglichen muss das Datenformat beiden Systemen bekannt sein oder ohne Datenverlust konvertiert werden können. Als Beispiel sind nachfolgend verschiedene Ausprägungen der Information „CAD-Modell“ dargestellt.

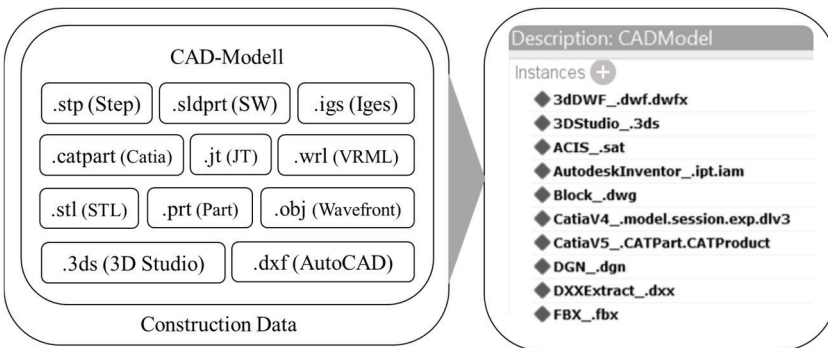


Abbildung 74: Dateiformatspezifizierung

Vorlagenkatalog für die Klassifizierung

Der Vorlagenkatalog soll den Anwender der Methodik dabei unterstützen die systemspezifische Informationssammlung zu beschleunigen und daraus abgeleitet die Ontologie schneller erstellen zu können. Durch die Vordefinierung bekannter Tools und den jeweiligen Eingangs- und Ausgangsinformationen können diese als Grundlage verwendet werden. Je nach Unternehmen müssen Benennungen oder Informationen adaptiert werden. Die Vorlagen können aus bestehenden Ontologien der Methodik extrahiert werden und in einer Vorlagenontologie gespeichert werden.

In Kapitel 2 sind die IT-Systeme aus dem Bereich PLM und der Digitalen Fabrik aufgearbeitet. Des Weiteren wurden die Grundlagen zu CPS und deren Komponenten erklärt. Aufbauend auf den Informationsflüssen der Systeme ist im Anhang auf Seite 189 eine Informationsklassifizierung vorgeschlagen auf deren Basis die notwendigen Anpassungen durchgeführt werden können.

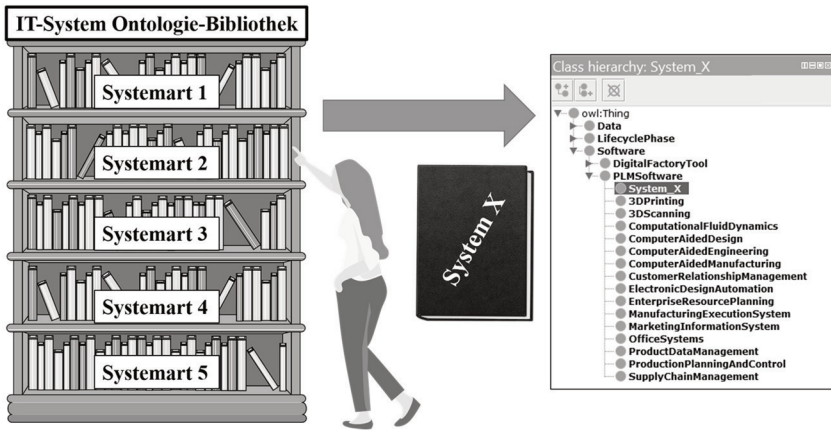


Abbildung 75: Vorlagenkatalog für IT-Systemontologie-Bibliothek

4.2.2 Informationsadaption

Die zweite Phase „Informationsadaption“ dient der strukturierten Speicherung von den Ergebnissen aus der ersten Phase.

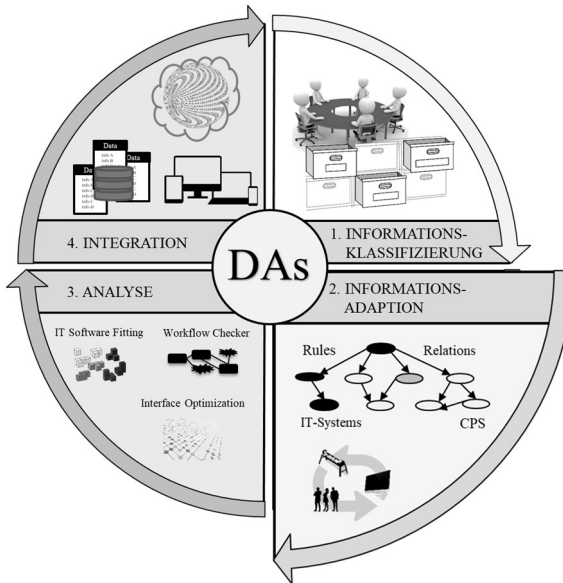


Abbildung 76: DAs - Informationsadaption

Die Grundlage für die Analyse ist die unternehmensspezifische IT-Systemontologie. Die Grundlagen von Ontologien sind in Kapitel 3.3.1 erklärt. Ontologien eignen sich durch die strukturierte Speicherung und die einfache Verwaltung der Informationen für diese Methode. Zur Übertragung der Informationen in die unternehmensspezifische Ontologie wird eine Herangehensweise für die Umsetzung vorgestellt. Für das Vorgehen sind drei Hauptprozesse zu nennen (Abbildung 77).

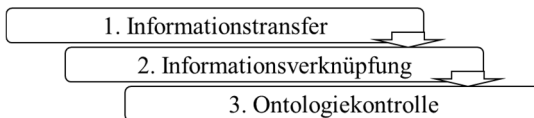


Abbildung 77: Schritte der „DAs“-Adaption

Auf die einzelnen Schritte wird in diesem Kapitel noch genauer eingegangen. Nach Durchführung der drei Schritte kann die unternehmensindividuelle Ontologie erstellt werden. Es ist wichtig, dass Änderungen mit einem Zeitstempel versehen werden. Die Ontologie lebt von der Aktualität der Daten und muss bei Änderungen aktualisiert werden. Des Weiteren ist die Pflege der Ontologie notwendig. Änderungen in der Systemlandschaft sollten von den Abteilungen an die zentrale Anlaufperson im Unternehmen, die für die Methodik zuständig ist, melden.

Informationstransfer

Der Informationstransfer in die unternehmensspezifische Ontologie kann durch ein Ontologieverwaltungstool umgesetzt werden. Ein weit verbreitetes Tool ist Protégé¹.

Der Transfer kann in drei Unterschritte eingeteilt werden:

- a. Zuerst werden die klassifizierten Informationen mit den jeweiligen Dateiausprägungen in die Ontologie übertragen. Die zuvor festgelegte (1. Schritt: Informationsklassifizierung) Klassifizierung wird durch die Struktur in der Ontologie abgebildet. Auf die Vollständigkeit und Korrektheit der übertragenen Daten ist zu achten. Die Struktur kann jederzeit angepasst und geändert werden. Es entsteht in der Ontologie ein Hierarchiebaum aus Klassen und Unterklassen. Als Beispiel ist in Abbildung 78 eine Klassifizierung der Informationen in fünf Oberbegriffe aufgeteilt, die in dieser Strukturierung in die Ontologie übernommen werden.

¹ Protégé ist ein open-source Editor zur Modellierung von Ontologien. Das Tool wurde an der University of Stanford entwickelt (Stanford University 2018).

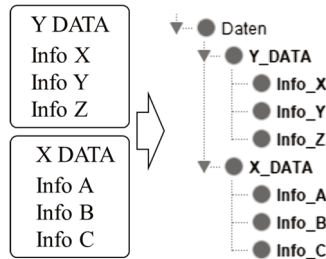


Abbildung 78: Transfer der Informationsklassifizierung in die Ontologie

- b. Im zweiten Unterschnitt werden die Abteilungen oder Bereiche des Unternehmens in die Ontologie übertragen. Die Granulierung der Abteilungen muss unternehmensindividuell entschieden werden. In Abbildung 79 ist eine beispielhafte Organisationsstruktur dargestellt. Diese Struktur kann in die Ontologie übernommen werden. Die Ontologie soll dabei alle relevanten Abteilungen enthalten.

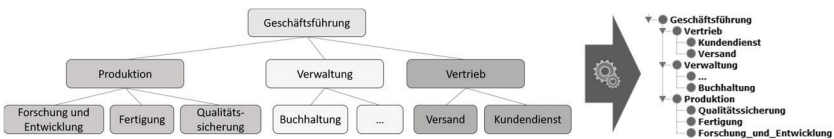


Abbildung 79: Transfer der Unternehmensabteilungen in die Ontologie

- c. Im dritten Unterschnitt werden die IT-Systeme und die CPS der Ontologie hinzugefügt und die jeweiligen Verknüpfungen entstehen. Die Inputs und Outputs der Systeme werden in der Ontologie durch entsprechende Beziehungen verknüpft. Bei den Cyber Physischen System können auch zukünftige (noch nicht vernetzte Assets) in der Ontologie aufgenommen werden. Dadurch können Vernetzungspotenziale der Assets erkannt und der Nachrüstungsaufwand durch Nutzwerte oder wirtschaftliche Kennzahlen begründet werden. Beispielhaft sind in der Abbildung 80 IT-Systeme und CPS dargestellt die klassifiziert in der Ontologie hinterlegt werden.

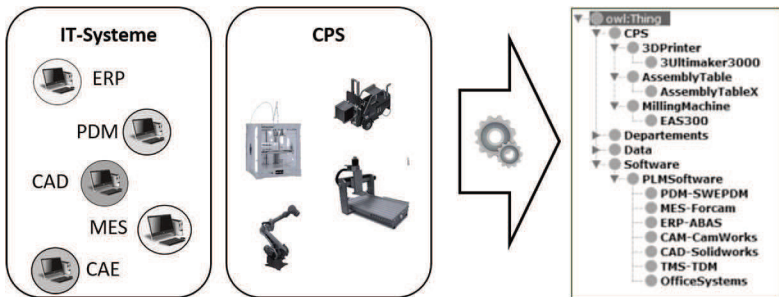


Abbildung 80: Systemübertragung in die Ontologie

Informationsverknüpfung

In diesem Schritt werden die bestehenden Klassen und Unterklassen der Ontologie durch Relationen in Verbindung gesetzt. Dabei werden die Systeme mit den jeweiligen Informationen verknüpft und die Abteilungen mit den entsprechenden Systemen. Die Beziehungen basieren in der Ontologie auf „Object-Property“. Als Basis werden in dieser Ontologie nachfolgende Object Property, die beliebig erweitert werden können, genutzt.

- **hasInput** (Invers von **isInputOf**): Eine Software oder CPS hat Eingangsinformation X.
- **hasOutput** (Invers von **isOutputOf**): Eine Software oder CPS hat Ausgangsinformation X.
- **usedInDepartment**: Eine Software oder Information wird in Abteilung X eingesetzt.
- **usesSoftware/usesCPS**: Eine Abteilung benutzt eine Software X oder setzt ein CPS X ein.

Nachdem die Eigenschaften (Object Property) in den einzelnen Klassen hinterlegt sind entsteht eine vernetzte Ontologie. Die Relationen der Klassen können durch Viewer in Ontologietools dargestellt werden. Exemplarisch ist in

Abbildung 81 eine Vernetzung zwischen Informationen, IT-Systemen und Lebenszyklusphasen dargestellt.

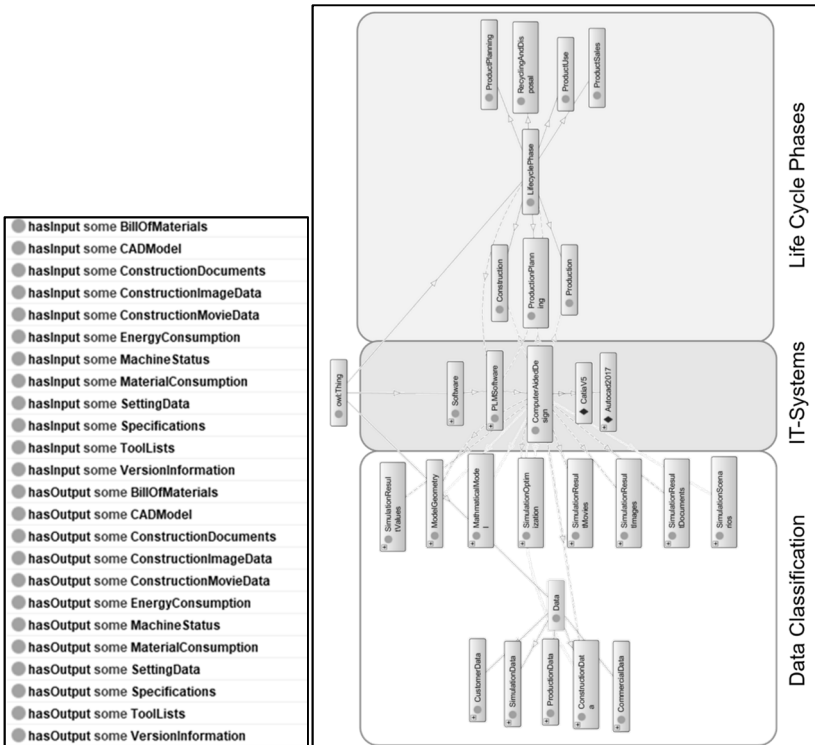


Abbildung 81: Beispielhafte Verknüpfungen einer Software (CAD) mit Informationen und Abteilungen

Die entstehenden Zusammenhänge werden schnell unübersichtlich und komplex nachzuvollziehen (Abbildung 82) je mehr Informationen verwaltet werden.

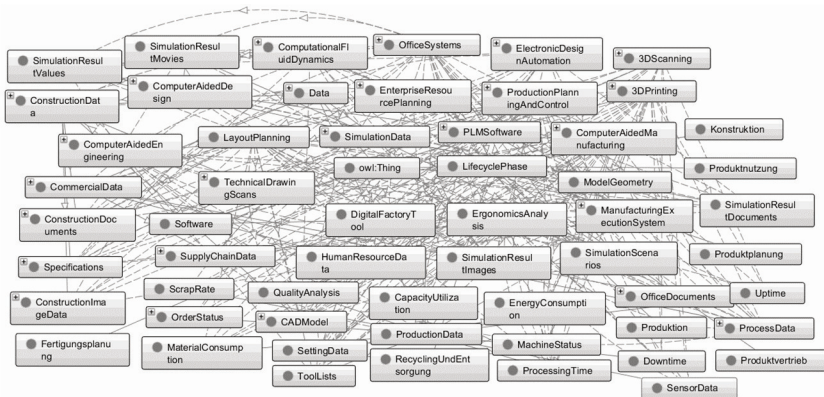


Abbildung 82: Beispiel einer vernetzten Informationsstruktur der Klassen

Ontologiekontrolle

Im dritten Schritt erfolgt die Kontrolle der angelegten Ontologie. Widersprüche oder Unstimmigkeiten können dabei aufgedeckt werden. Durch gezielte Abfragen (z. B. SPARQL²) können konkrete Zusammenhänge und Inhalte überprüft werden. Die Kontrolle kann in regelmäßigen Zyklen durchlaufen und dient auch dazu Änderungen in der Ontologie einzupflegen.

4.2.3 Analyse

Die dritte Phase beinhaltet die Analyseverfahren. Die Analysen bereiten die Daten zur Entscheidungsunterstützung des IT-Systemmanagements auf.

² SPARQL ist eine Abfragesprache für RDF (siehe Kapitel 3.3.1)

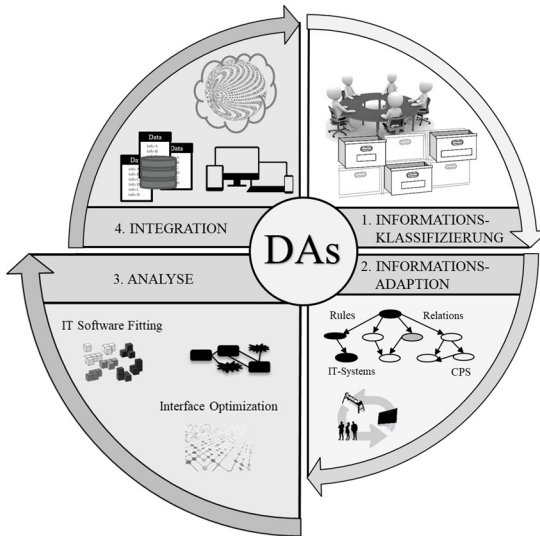


Abbildung 83: DAs - Analyse

In der „DAs Methodik“ werden drei Analyseszenarien vorgestellt. Das IT-Software Fitting bewertet die Integration von neuen Systemen nach wirtschaftlichen und nicht-wirtschaftlichen Aspekten. Der Workflow Checker prüft die Durchgängigkeit von Informationsflüssen. Bei dem Interface Optimization Tool werden gezielt Schnittstellenpotenziale untersucht.

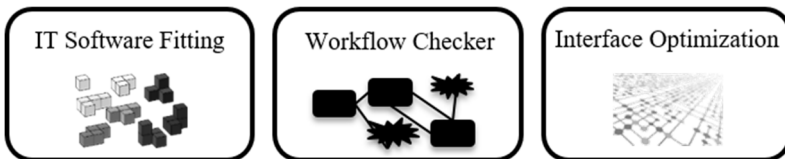


Abbildung 84: Übersicht der Analysetools

Nachfolgend werden die drei Analyseszenarios beschrieben.

IT-Software Fitting

Die Auswahl von neuen IT-Systemen ist eine große Herausforderung für Unternehmen. Die Integration von IT-Systemen ist eine Herausforderung und Bedarf einer ausführlichen Planung. Mit der Analyse „IT-Software Fitting“ soll überprüft werden, wie verschiedene IT-Systeme in die bestehende IT-Systemlandschaft integriert werden können.

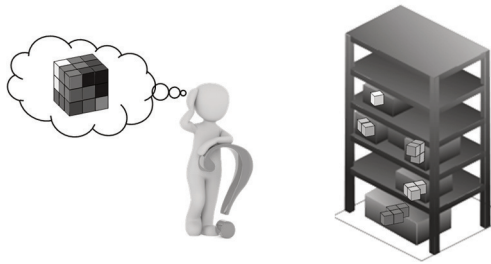


Abbildung 85: Problem der Softwareintegration

Die Analyse soll Antworten auf die Frage geben, welches IT-System am besten in die unternehmensspezifische IT-Systemlandschaft passt. Die Abbildung 85 veranschaulicht die Problematik. Jedes IT-System hat andere Eigenschaften. Die Eignung für das spezifische Unternehmen muss individuell untersucht werden. Bei der Auswahl für eine IT-Software gibt es neben der Integration weitere relevante Aspekte. Folgende vier Hauptaspekte werden betrachtet (In Kapitel 3.4.2 werden diese erläutert.):



Abbildung 86: Hauptaspekte IT-Software Fitting

Für eine strukturierte Analyse der Hauptaspekte werden diese zuerst einzeln analysiert und mit Kennzahlen vergleichbar gemacht. Für die Umsetzung ist in

dieser Dissertation ein Tool für das IT-Software Fitting vorgestellt. Das Tool betrachtet alle vier Aspekte und dient der Entscheidungsunterstützung.

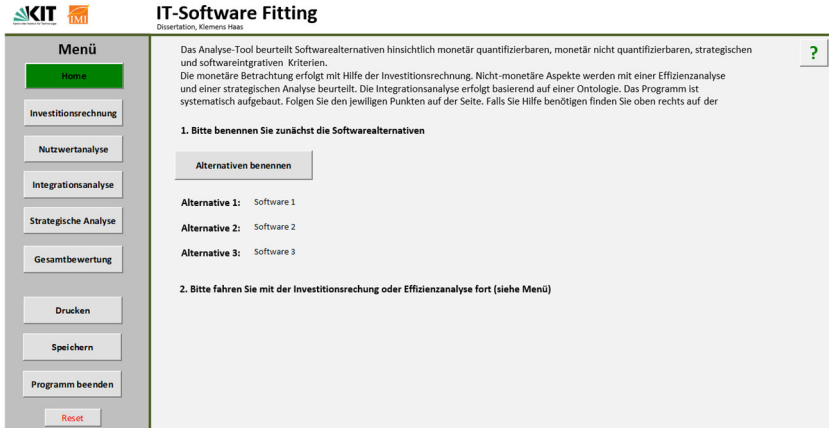


Abbildung 87: IT-Software Fitting Tool – Übersicht

Investitionsrechnung

Der Bereich Investitionsrechnung betrachtet alle monetären Aspekte und greift zur Kennzahlerstellung auf verschiedene Methoden der Investitionsrechnung zurück. Als Ausgangsdaten werden dafür Betrachtungsdaten (Betrachtungszeitraum, Kalkulationszinsfuß) und eine Auflistung der Kosten herangezogen. Die Kosten werden aufgeschlüsselt zwischen einmaligen Kosten und wiederkehrenden Kosten. Die jährlichen Kosten werden mit dem entsprechenden Kalkulationszinsatz und entsprechend dem Betrachtungszeitraum aufsummiert. In Abbildung 88 sind exemplarisch typische Kostenpunkte für die Softwareaquisition aufgelistet. Diese können erweitert und auf die unternehmensspezifischen Kostenstellen angepasst werden.

Einmalige Kosten:		Jährliche Kosten:	
Hardwarekosten	<input type="text"/> €	Lizenzkosten	<input type="text"/> €/Jahr
Mitarbeiterschulung	<input type="text"/> €	Serverkosten	<input type="text"/> €/Jahr
Migrationsplanung	<input type="text"/> €	Schulungen	<input type="text"/> €/Jahr
Systemeinführung & Installation	<input type="text"/> €	Support	<input type="text"/> €/Jahr
Entwicklungskosten	<input type="text"/> €	Administration	<input type="text"/> €/Jahr
Sonst. Umstellungskosten	<input type="text"/> €	Sach- & Hilfsmittel	<input type="text"/> €/Jahr
		Sonstige jährliche Kosten	<input type="text"/> €/Jahr

Buttons: **Bestätigen** (green), **Schließen** (red), **Daten löschen** (grey)

Abbildung 88: IT-Software Fitting Tool – Kosten

Aus den Kostenpunkten können entsprechende Kennzahlen, die zur Investitionsentscheidung wichtig sind, ermittelt werden. Durch den Vergleich zur bestehenden Ist-Alternative können auch Kennzahlen wie die Amortisationsdauer ermittelt werden. Die in dieser Ausarbeitung angewandten Methoden sind:

- Kapitalwert
- Endwert
- Annuität
- Rentabilität
- Kostenvergleichswert

Effizienzanalyse und Strategische Analyse

Die nicht-monetären Aspekte werden mit der Nutzwertanalyse und der strategischen Analyse abgedeckt. Zuerst werden die nichtmonetären Kriterien aufgelistet. In diesem Beispiel sind in Abbildung 89 einige exemplarisch aufgeführt. Die Kriterien sind anschließend zu gewichten. Dies kann manuell oder auf Basis eines analytischen Verfahrens durchgeführt werden (siehe Anhang). Nach der Gewichtung sollen die Kriterien in Bezug auf die jeweilige Alternative bewertet werden. Die Bewertung erfolgt in einem Expertenkreis und ist ohne spezifische Fachkenntnisse und Erfahrungswerte nicht möglich. Die Schwierigkeit besteht darin, die verschiedenen Alternativen der Vendoren unabhängig von der Meinung der spezifischen Softwarevertreter zu bewerten.

Bitte bewerten Sie die Kriterien bezüglich der Alternativen mit Noten.

Kriterien	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
Kriterium 1	befriedigend	befriedigend	mangelhaft
Kriterium 2	befriedigend	ausreichend	mangelhaft
Kriterium 3	befriedigend	gut	befriedigend
Kriterium 4	gut	sehr gut	mangelhaft
Kriterium 5	befriedigend	befriedigend	gut
Kriterium 6	befriedigend	befriedigend	gut
Kriterium 7	ausreichend	ausreichend	sehr gut
Kriterium 8	befriedigend	befriedigend	gut
Kriterium 9	befriedigend	befriedigend	sehr gut

speichern und beenden abbrechen Daten löschen

Abbildung 89: IT-Software Fitting Tool – Kriterienbewertung

Strategische Analyse

Für die Bewertung der strategischen Aspekte ist der Evaluierungsprozess analog dem der Nutzwertanalyse. Die strategischen Werte beinhalten Eigenschaften des Systems, die in Zukunft für das Unternehmen relevant sein können. In einem Expertenkreis soll anhand der Roadmap des Unternehmens Kriterien abgeleitet, gewichtet und bewertet werden. Folgende strategischen Kriterien können betrachtet werden:

- Unabhängigkeit
- Quellcodeverfügbarkeit
- Supportverfügbarkeit
- Marktpräsenz des Systems
- Mitarbeiterflexibilität
- Imagewirkung
- Pilot-Projekt-Charakter
- Folgewirkungen
- Attraktivität der Arbeitsbedingungen

Integrationsanalyse

Die Integrationsanalyse greift auf die Informationen der Ontologie zu. Die Beziehungen und Schnittstellen werden mittels SPARQL-Befehle (siehe Kapitel 3.3.1) abgerufen und an das IT-Software Fitting Tool übergeben.

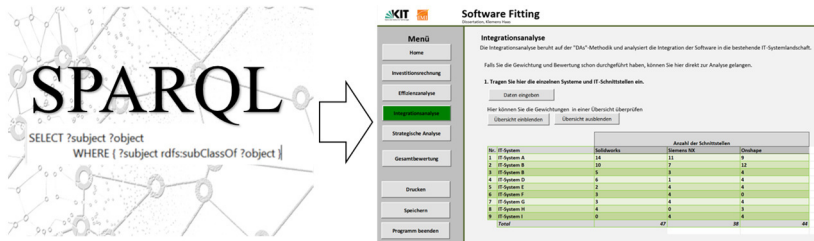


Abbildung 90: Informationstransfer mittels SPARQL

Für diese Analyse ist es notwendig die Alternativen in der Ontologie einzubinden und entsprechende Schnittstellen zu kennzeichnen. Basierend auf den Input und Outputdaten der jeweiligen Systeme können die einzelnen Schnittstellen ermittelt werden. In dem IT-Software-Fitting Tool werden die Informationen dann erfasst und zum Vergleich aufbereitet. Als Ergebnis entsteht eine Auflistung aller möglichen Schnittstellen der Alternative mit den bisher im Unternehmen eingebundenen Systemen.

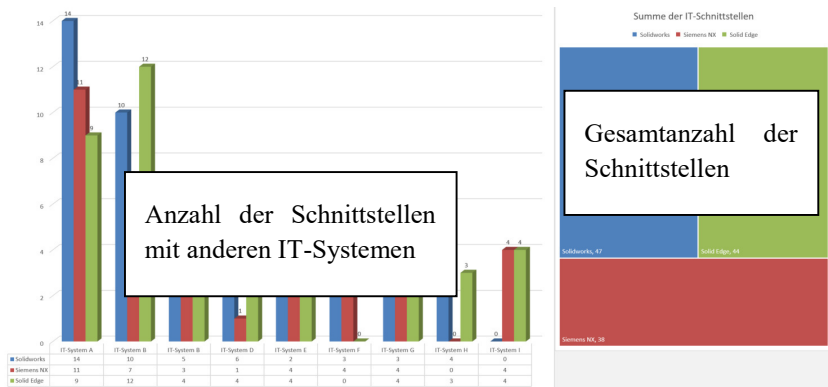


Abbildung 91: IT-Software Fitting Tool – IT-Schnittstellen Vergleich

Gesamtbewertung

In einer Übersicht sind in dem Tool die Kennzahlen und Daten aus den vier Bereichen (Investitionsrechnung, Nutzwertanalyse, Strategische Analyse, Integrationsanalyse) zusammengefasst dargestellt und in Relation gesetzt. Je

nach Unternehmen können spezifische Kennzahlen basierend auf den Daten gebildet und vergleichend dargestellt werden (Abbildung 92). Aufbauend darauf kann eine erste Beurteilung der Softwarealternativen abgeleitet werden können.



Abbildung 92: IT-Software Fitting - Gesamtbewertung

Workflow Checker

Der Workflow Checker dient der durchgängigen Überprüfung von Informationsketten. Das Tool überprüft, ob unternehmensinterne Workflows systemseitig mit den aktuellen IT-Systemen unterstützt werden können. Dabei kann gezielt festgestellt werden, in welchen Systemen beziehungsweise Abteilungen Informationen verfügbar sind. Dadurch können Workflows konzipiert, optimiert oder erweitert werden. Im ersten Schritt ist es notwendig, die von den Abteilungen genutzten IT-Systeme den entsprechenden Abteilungen in der Ontologie zuzuordnen.

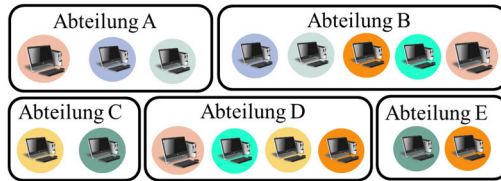


Abbildung 93: Workflow Checker – Abteilungen und deren IT-Systeme

Die Systeme werden mit „Properties“ (z. B. usesSystem) den entsprechenden Abteilungen zugewiesen. In Abbildung 94 sind exemplarisch die Systeme 1-4 in der Abteilung X als verfügbar zugeordnet.

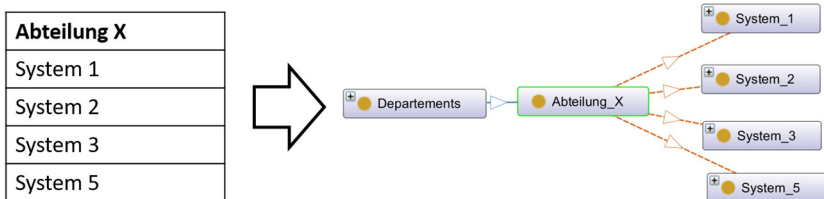


Abbildung 94: Zuordnung der IT-Systeme zu den Abteilungen in der Ontologie

Im nächsten Schritt werden durch eine SPARQL-Abfrage (siehe Kapitel 3.3.1) die Zusammenhänge in das Tool „Workflow Checker“ transferiert. In dem Analysetool gibt es eine Übersicht mit den Abteilungen und den genutzten IT-Systemen. Des Weiteren ermöglicht es Informationen gezielt untersuchen zu können. Dabei wird gefiltert, welche Information in welchen Systemen vorkommt und in welchen Abteilungen diese verfügbar ist.

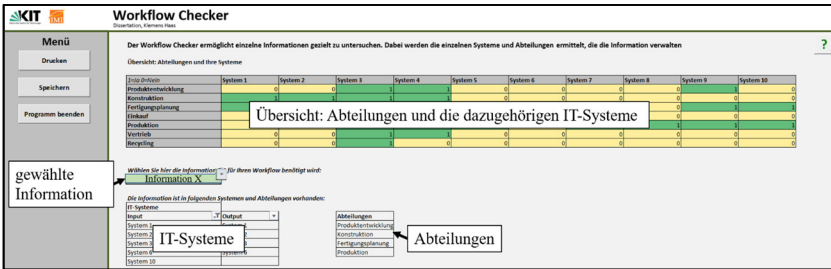


Abbildung 95: Übersicht – Workflow Checker

Durch die Analyse können Workflows gezielt mit den involvierten IT-Systemen geplant werden und mögliche Medienbrüche erkannt werden.

Interface Optimization

Das Interface Optimization Tool konzentriert sich auf die aktuelle IT-Systemlandschaft und analysiert mögliche potenzielle Schnittstellen. Das Tool „Interface Optimization“ basiert auf den Informationen aus der Ontologie. Durch die Informationen aus der Ontologie kann eine Matrix, in der alle Input- und Outputsysteme der jeweiligen Information hinterlegt sind, erstellt werden.

Input und Output der Systeme

1=Ja 0=Nein	System 1		System 2		System 3	
Informationsgruppe X	Input	Output	Input	Output	Input	Output
Information 1	0	0	0	1	0	0
Information 2	1	1	1	0	0	0
Information 3	1	0	0	0	1	1
Information 4	0	0	0	0	1	1

Abbildung 96: Interface Optimization - Informationsmatrix

Auf dieser Grundlage entsteht eine Übersicht (Abbildung 97), die die theoretisch mögliche Anzahl an Schnittstellen zwischen zwei Systemen wiedergibt. Dabei werden bereits implementierte Schnittstellen mitgezählt.

Schnittstellen Anzahl Gesamt	IT-System 1	IT-System 2	IT-System 3	IT-System 4	IT-System 5	IT-System 6	IT-System 7	IT-System 8	IT-System 9
IT-System 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IT-System 2		x	x	x	x	x	x	x	x
IT-System 3			x	x	x	x	x	x	x
IT-System 4				x	x	x	x	x	x
IT-System 5					x	x	x	x	x
IT-System 6						x	x	x	x
IT-System 7							x	x	x
IT-System 8								x	x
IT-System 9									x
IT-System 10									
IT-System 11									

Mögliche Anzahl der Schnittstellen

Abbildung 97: Interface Optimization – Anzahl der Schnittstellen zwischen den IT-Systemen

Der Hauptansatz dieser Analyse dient dazu, zwei Systeme besser miteinander zu vernetzen und unentdecktes Potenzial freizusetzen. Für eine gezieltere Vorgehensweise sind durch eine Expertenrunde IT-Systeme oder CPS zu identifizieren, die mögliches Vernetzungspotenzial bergen. Das Analysetool unterstützt das Team durch eine Auflistung aller Informationen, die theoretisch zwischen den Systemen ausgetauscht werden können. Dabei werden die Outputdaten des ersten Systems mit den Inputdaten des zweiten Systems und die Inputdaten des ersten Systems mit den Outputdaten des zweiten Systems in Bezug gesetzt. Das Ergebnis sind Checklisten. In diesen kann überprüft werden, welche Schnittstellen bereits implementiert (✓) sind und welche Potenzial (☆) zur näheren Untersuchung haben könnten.

System 1	System 2
System X	System Y
Output System 1 und Input System 2	Input System 1 und Output System 2
Information 1	Information 1
Information 2	Information 2
Information 3	Information 3
Information 4	Information 4
Information 5	Information 5
Information 6	Information 6
Information 7	Information 7
Information 8	
Information 9	

Abbildung 98: Interface Optimization – Checkliste

4.2.4 Integration

In der letzten Phase „Integration“ werden die Ergebnisse aus der Analyse in Lösungen umgewandelt und umgesetzt.

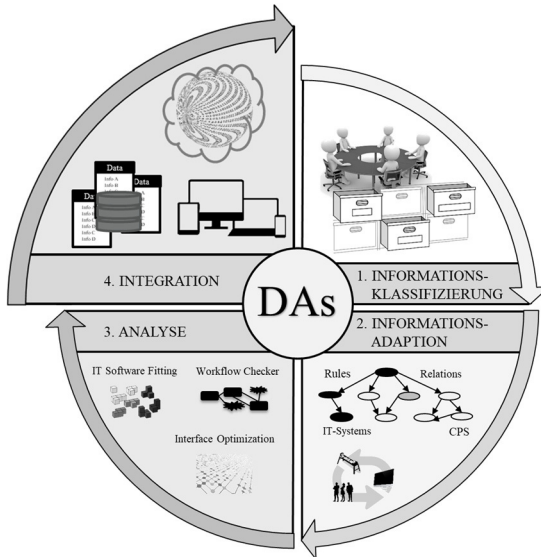


Abbildung 99: DAs - Integration

Um eine Schnittstelle zwischen zwei Systemen zu implementieren ist system-spezifisches Know-How notwendig. IT-Systeme haben individuelle Datenverwaltungsstrukturen, in denen die Informationen organisiert werden. Für eine erfolgreiche Implementierung ist es notwendig diese Struktur zu kennen und die notwendigen Zugriffsberechtigungen zu haben.

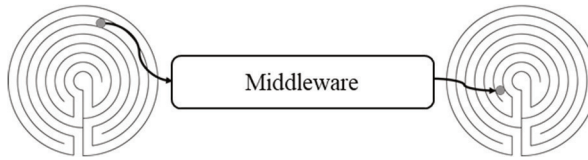


Abbildung 100: IT-Systemspezifische Schnittstelle

Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es essentiell den Aufbau der Datenbank zu kennen. Die Daten können dann durch Befehle ausgelesen und über einen Service übertragen werden. Die Schnittstellenimplementierung kann oft nur durch Unterstützung von Experten des jeweiligen Vendors durchgeführt werden, da diese die Systemschnittstelle und den Datenaufbau kennen.

4.3 Erweiterungen für das „DAs“

Das „DAs“ ist eine konzeptionelle Ausarbeitung zur Analyse von IT-Strukturen in Unternehmen. Das Konzept bildet eine Grundlage und kann professionalisiert und erweitert werden.

- Durch das Ergänzen von bestehenden Ontologien im Unternehmen können auf Basis der erweiterten Datenbasis weitere Analysen durchgeführt werden. Besonders interessant könnten ERP-Ontologien oder PPR-Ontologien sein, die Informationen zu Ressourcen beinhalten.
- Die Tools, die in der dieser Dissertation vorgestellt wurden, können verbessert und in einer optimierten Umgebung programmiert werden. Eine direkte Schnittstelle zwischen der Ontologie und dem Tool kann implementiert werden um die Daten zu übermitteln und Transferfehler zu vermeiden.
- Durch Verfahren die im Kapitel Product Lifecycle Analytics kann die bisherige Methodik um weitere Analysemethoden ergänzt werden. Alternativ können die Informationen in der Wissensdatenbank in bereits bestehende Datenanalytiktools im Unternehmen integriert werden.

- Eine Vorlagenbibliothek mit den erfassten IT-Systemen und CPS kann als Wissensdatenbank aufgebaut und erweitert werden. Auf Basis der Bibliothek können Analysen schneller durchgeführt werden.

4.4 Fazit

Die Komplexität von IT-Systemlandschaften in Unternehmen wächst durch die zunehmende Vernetzung. IT-Schnittstellen sind für eine funktions- und wettbewerbsfähige Fabrik unverzichtbar. In diesem Kapitel ist eine Methodik vorgestellt um die Schnittstellen zu analysieren.

Das Vorgehen der Methodik besteht aus vier Schritten. Im ersten Schritt werden die Informationen erfasst und klassifiziert. Im zweiten Schritt werden diese strukturiert in einer Ontologie erfasst. Die Ontologie dient als Basis für die Analyse im dritten Schritt. Es sind drei Analysemethoden vorgestellt. Das Tool „IT-Software Fitting“ unterstützt bei der Auswahl einer neuen Software und betrachtet dabei vier Aspekte (Integration, quantitative, qualitative und strategische Faktoren). Der „Workflow Checker“ unterstützt die Verwaltung und Erstellung von Workflows. Dabei kann überprüft werden, in welchem System und welcher Abteilung die jeweiligen Informationen vorliegen. Das dritte Tool „Interface Optimization“ dient der Schnittstellenoptimierung zwischen zwei IT-Systemen. Die drei Analysemethoden bilden eine gute Grundlage für das Management einer IT-Systemlandschaft. Im letzten Schritt werden die diagnostizierten Probleme durch Lösungen beziehungsweise Implementierungen umgesetzt.

Das Vorgehen kann erweitert und neue Analyseverfahren können hinzugefügt werden. Besonders die Ergänzung durch andere im Unternehmen bestehende Datenbasen sind potenzielle Erweiterungen für DAs

5 „DAs“-Validierung

“Es ist nicht genug zu wissen - man muss auch anwenden. Es ist nicht genug zu wollen - man muss auch tun. “

-Johann Wolfgang von Goethe, Dichter-

5.1 Einführung

Das Industrie 4.0 Collaboration Lab bietet zur Validierung eine optimale Simulationsumgebung. In dem Industrie 4.0 Collaboration Lab ist eine bereits durch Schnittstellen vernetzte IT-Systemlandschaft in Betrieb. Diese orientiert sich an einem mittelständischen spannenden Unternehmen. Die Systemlandschaft und deren Bestandteile sind in diesem Kapitel zuerst detailliert erläutert. Auf dieser Grundlage findet die Validierung der Methodik statt. Die einzelnen Phasen werden anhand von verschiedenen Szenarios durchlaufen. Anschließend sind die resultierenden Ergebnisse vorgestellt.

5.2 Beschreibung der IT-Systemlandschaft im I4.0 Collaboration Lab

Im Rahmen einer Demonstrations- und Simulationsumgebung ist am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie mit Kooperationspartnern eine vernetzte IT-Systemlandschaft geschaffen worden. Die Gründerin Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Ovtcharova erklärt in einem Interview: „Die Hauptidee ist, dass ein Unternehmen seine individuellen Problemstellungen aus der Praxis mitbringen kann und wir an einer handfesten Lösung arbeiten“ (Ovtcharova 2015, S. 14). Die IT-Systemlandschaft orientiert sich an einem mittelständischen spannenden Unternehmen und umfasst folgende IT-Systeme (): Enterprise Resource Planning System, Product

Data Management System, Manufacturing Execution System, Tool Management System, Computer Aided Design System, Computer Aided Manufacturing System, CAD-Analysis System. Um die Produktion zu simulieren ist eine Fräsmaschine mit dem IT-Netzwerk verbunden.

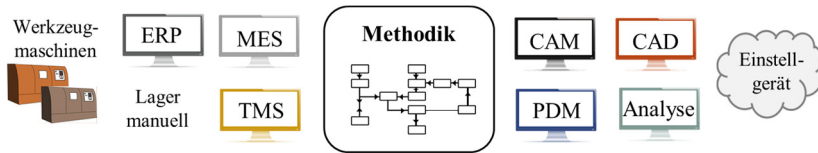


Abbildung 101: IT-Systeme der vernetzten Systemlandschaft am IMI

Die IT-Systeme basieren auf einem Client-Server Modell. Je nach System ist zusätzlich zu dem Server eine Datenbank notwendig (Abbildung 102).

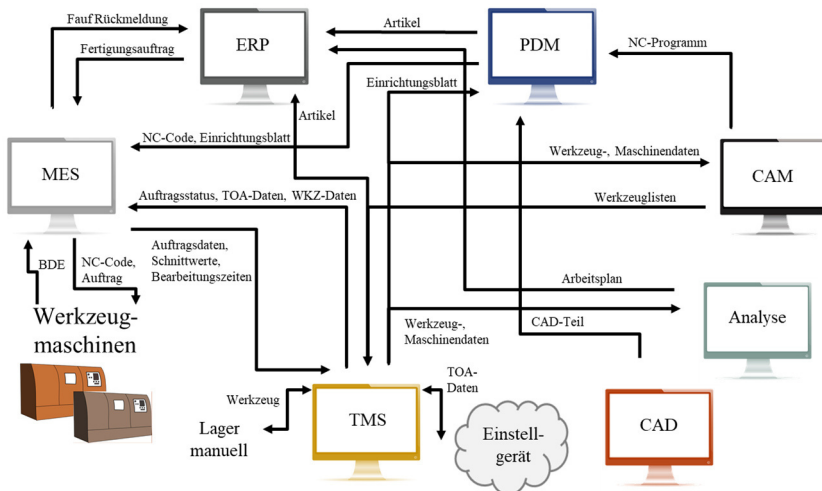


Abbildung 102: Schnittstellen im Demonstrationsszenario des Industrie 4.0 Collaboration Lab (Haas et al. 2016)

Nachfolgend ist das Demonstrationsszenario erklärt. Vor dem eigentlichen Beginn der Demonstration werden die Werkzeuge und Maschinen in dem TDM-System angelegt. Die Lagermenge wird durch eine Schnittstelle mit dem ERP-

System organisiert. Der erste Schritt in der Demonstration ist nach dem Eingang einer Kundennachfrage der Verkaufsauftrag. Dies wird mit dem ERP-System geregelt. Im Falle eines neuen Artikels wird im PDM-System ein Artikel angelegt und durch eine Schnittstelle zum ERP-System ein Artikel mit den Metadaten angelegt. Aufbauend auf der Datei im PDM-System kann der Konstrukteur das Produkt gemäß den Spezifikationen des Kunden erstellen. Durch das CAD-Analyse-Tool hat der Konstrukteur die Möglichkeit sein Design zu überprüfen. Dabei werden die voraussichtlichen Kosten, die Prozessdauer, der Arbeitsplan und die Bearbeitbarkeit kalkuliert. Nachdem der Konstrukteur das Produkt freigegeben hat, kann der NC-Programmierer den Werkzeugweg für die jeweilige Operation auf der passenden Maschine generieren. Die notwendigen Informationen dafür werden von dem TMS-System geliefert. Nach der Fertigstellung werden die notwendigen Informationen an das MES und TMS-System weitergegeben. Der Produktionsauftrag wird von dem ERP-System an das MES-System übermittelt. In dem MES-System werden die Daten gemappt (NC-Daten und Fertigungsauftrag). Anschließend einer Maschine und Produktionsperiode zugewiesen. Der Maschinenbediener kann auf die Daten zugreifen und die Produktion starten. Dabei hat jedes Werkstück seine eigenen Parameter (zum Beispiel Geometrie, Technologieparameter, Maschine). Die Technologieparameter sind dabei einer bestimmten Operation zugeordnet. Das Design beeinflusst die nachfolgenden Schritte im Produktlebenszyklus. Um zusätzliche Informationen zur Verfügung zu stellen, kann im Design-Prozess ein CAD-Analyse-Tool integriert werden. Das Add-on basiert auf einer Datenbank. Das Tool in unserem Szenario kann unter anderem die folgenden Informationen zur Verfügung stellen:

- Bearbeitungskosten
- Verarbeitungszeiten
- Arbeitsplan
- Zerspanbarkeit

Basierend auf einer Geometrieanalyse identifiziert das Tool Merkmale und analysiert das Werkstück anhand der in der Datenbank gespeicherten Daten. Die Qualität und Aktualität der Daten in der Datenbank gewährleistet sein. Um aktuelle und verbesserte Daten aus der Produktion zu erhalten, ist es wichtig, die Bearbeitungsvorgänge zu kategorisieren. Jeder Bearbeitungsvorgang wird kategorisiert nach Keydaten (Material, Maschine und Werkzeug).

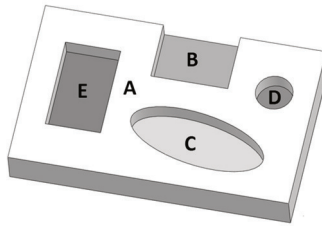


Abbildung 103: Kategorisierung von Bearbeitungsoperationen (Haas et al. 2016)

In Abbildung 103 sind Beispiele für Bearbeitungsvorgänge gezeigt. Operation A: (Werkstoff: Aluminium, Maschine: Modell M, Werkzeug: 6mm Schaftfräser, Prozess: Stirnmühle) oder Operation E (Werkstoff: Aluminium, Maschine: Modell M, Werkzeug: 6mm Schaftfräser, Prozess: Tasche). Jeder kategorisierte Fertigungsprozess hat Technologieparameter:

- Schnittgeschwindigkeit
- Vorschubgeschwindigkeit
- Schnitttiefe
- Werkzeuglebensdauer

Diese Parameter werden im Rahmen der Operation in der TMS-Datenbank gespeichert, die die CAD-Analyse und CAM-Datenbank liefert. Für die Produktion erhält der Maschinenbediener die Technologieparameter aus dem MES-System. Wenn das vorgegebene Herstellungsverfahren nicht mit der Bearbeitbarkeit oder Qualitätsanforderungen übereinstimmt, sind Änderungen erforderlich. Ein Weg für notwendige oder vermutete Änderungen ist, eine Änderungsanforderung an den Designer oder NC-Programmierer zu senden. Eine andere Möglichkeit ist, dass der Maschinenbediener basierend auf seinem Wissen und seiner Erfahrung die Änderungen direkt durch Parameteränderungen macht. Die Maschine ist mit dem MES-System verbunden. Sensoren liefern die realen Prozessdaten im Rahmen der Operation.

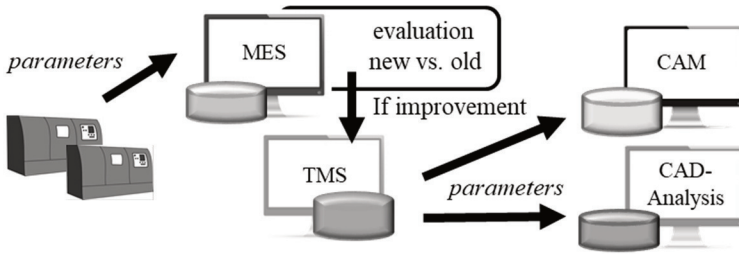


Abbildung 104: Verbesserungsprozess im Industrie 4.0 Collaboration Lab (Haas et al. 2016)

Mit einer Analyse können die realen Daten und die vorhandenen Daten verglichen werden. Basierend auf Kennzahlen können die Kriterien wie Qualität und Zeit ausgewertet und überprüft werden. Falls die Änderungen positiven Einfluss auf das Ergebnis haben, werden die alten Parameter in der Datenbank mit den neuen Parametern überschrieben. Durch diese Vorgehensweise kann ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess etabliert werden.

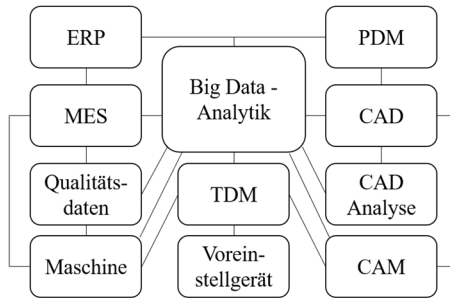


Abbildung 105: Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (Haas et al. 2016)

Die aktuellen Daten werden in der TMS-, CAD-Analyse- und CAM-Datenbank gespeichert. Durch die Verwendung dieser Daten ist eine Verbesserung in den frühen Stadien des Lebenszyklus möglich. Die Vorteile sind, dass die Produktkosten durch eine effizientere Fertigung reduziert werden können. Der Arbeitsplan ist genauer, so dass die Produktion besser geplant werden kann.

In der Dissertation von Thomas Mücke (Mücke 2017) „Informationssystematik zur Optimierung von Konstruktions- und NC-Prozessen“ wird ein Optimierungsprozess durch die Vernetzung von IT-Systemen in Unternehmen beschrieben. Die Konzeption und Validierung erfolgte mit Hilfe des Industrie 4.0 Collaboration Lab. Durch eine BigData-Analytik der elementaren Systeme

wird ein Verbesserungsprozess im Planungsbereich angestoßen. Die Methode ist in Abbildung 106 dargestellt.

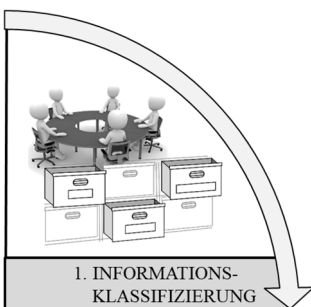


**Abbildung 106: Grundsätzliche Gesamtintegration am IMI-KIT
(Mücke 2017, S. 63)**

5.3 Anwendung der Methodik im I4.0 Collaboration Lab

In diesem Kapitel wird die Methodik anhand der IT-Systemlandschaft im Industrie 4.0 Collaboration Lab validiert. Die einzelnen Phasen der Methodik werden anhand von verschiedenen Szenarios durchlaufen.

5.3.1 Informationsklassifizierung im I4.0 Collaboration Lab



Im ersten Schritt der Informationsklassifizierung werden alle Informationen aller relevanten Systeme des Industrie 4.0 Collaboration Lab strukturiert gesammelt. Im Folgenden sind die in diesem Szenario beteiligten IT-Systeme und Cyber Physischen Systeme aufgeführt. Die vorhandene IT-Systemlandschaft ist teilweise vernetzt und orientieren sich an einem spannenden Unternehmen (siehe Kapitel 5.2).







Art	Name	
CAD	SolidWorks 2014	
PDM	SolidWorks EPDM	
CAM	CAMWorks	
ERP	Abas	
MES	Forcam	
TDM	TDM	

Abbildung 107: IT-Systeme des Validierungsszenarios

Die folgenden Maschinen und Arbeitstische sind in dem Industrie 4.0 Collaboration Lab Teil des Demonstrationsszenarios. Diese sind an das Unternehmensnetzwerk angeschlossen und sind somit auch direkt mit den IT-Systemen verbunden. Dadurch erfüllen Sie die Eigenschaften eines CPS.




Art	Name	
Fräse	Easy300	
3D-Drucker	Ultimaker 3 Extended	
Montagetisch	Elabo-Montagetische	

Abbildung 108: CPS des Validierungsszenarios



Abbildung 109: 3D-Drucker (links), Fräse (Mitte) und Montagetisch (rechts) am IMI

Durch Sensoren und Aktoren können die Montage- und Fertigungsmaschinen beziehungsweise die jeweilige Applikations- oder Steuerungssoftware in dem Unternehmensnetzwerk Daten auslesen und auch entsprechende Aktionen umsetzen.

Alle Informationen die von den einzelnen Systemen verarbeitet werden können sind im ersten Schritt zu erfassen und in einer Liste aufgeführt. Ein essentieller Punkt ist dabei, dass unter dem Informationsnamen alle das Gleiche verstehen. Durch fachliche Diskussionen und Literaturrecherchen sind die Informationen in diesem Validierungsszenario mit einem einheitlichen Namen versehen. Im Industrie 4.0 Collaboration sind in Abbildung 110 alle verwalteten Informationen der IT-Systeme und der integrierten Produktionsanlagen und in Kategorien strukturiert aufgeführt. Im Falle des Industrie 4.0 Collaboration sind fünf Oberkategorien (Construction Data, Simulation Data, Production Data, Commercial Data, Customer Data) definiert. Diese dienen in späteren Iterationsschleifen der einfacheren Handhabung, Zuordnung und Wartung der DAs-Ontologie (Kapitel 5.3.2). Die gesammelten Daten können im Laufe der Analyse erweitert und neu zugeordnet werden.

<i>Construction Data</i>	<i>Simulation Data</i>	<i>Production Data</i>	<i>Commercial Data</i>	<i>Customer Data</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Bill of Materials • CAD Model • Construction Documents • Construction Image Data • Construction Movie Data • Specifications • Version Information 	<ul style="list-style-type: none"> • Mathematical Model • Simulation Optimization • Simulation Result -Documents • Simulation Result Images • Simulation Result Movies 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacity Utilization • Downtime • Energy Consumption • Machine Status • Material Consumption • Order Status • Processing Time • Scrap Rate • Sensor Data • Setting Data • Tool Lists • Uptime • NC-Code 	<ul style="list-style-type: none"> • Contracts • Controlling Data • Finance Data • Human Resource Data • Invoices • Legal Documents • Offers • Office Documents • Process Data • Purchasing Data • Sales Data • Stock Data • Supply Chain Data 	<ul style="list-style-type: none"> • Customer Action History • Account Information • Customer Contact History • Customer Contract Data • Customer Master Data • Customer Order Data • Customer Related Images

Abbildung 110: Datenklassifizierung im Industrie 4.0 Collaboration Lab

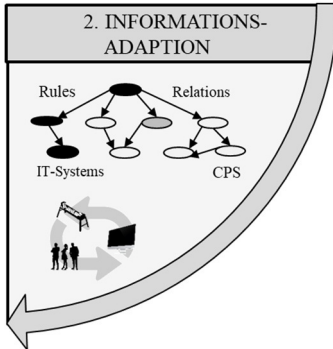
In der nachfolgenden Matrix sind die Systeme basierend auf der Klassifizierung den Informationen zugeordnet. Es wird unterschieden, ob das System die Information als Input verarbeitet oder als Output wiedergibt.

Tabelle 7: Zuordnung der Informationen zu den Systemen im Industrie 4.0 Collaboration Lab

	FLOW OF DATA			CAD/Solidworks	PDM/So-	ERP/Abas	CAM/CAM-	MES/Forcam	TMS/TDM		Fräse/Easy300	3D-Printer/Ulti-	Montageti-
	i - Input												
	o - Output												
	i/o - In- and Output												
Construction Data	Bill of Materials	i/o	i/o	i/o	i	i							i
	CAD Model	i/o	i/o	i/o	i								
	Construction		i/o	i/o		i							i
	Construction Image		i/o										i
	Construction Movie		i/o	i/o									i
	Specifications	i/o	i/o	i/o		i/o							i
	Version Information	i/o	i/o	i/o	i/o								
Simulation Data	Mathematical Model	i/o											
	Simulation Optimiza-	o											
	Simulation Result	o	i/o										
	Simulation Result	o	i/o										
	Simulation Result	o	i/o										
Production Data	Capacity Utilization			i/o									
	Downtime			i/o			i/o			o	o	o	
	Energy Consumption						i/o			o	o	o	
	Machine Status			i/o			i/o			o	o	o	
	Material Consump-			i/o	o					o	o	o	
	Order Status			i/o			i/o			i/o	i/o	o	
	Processing Time			i/o	o		i/o			o	o	o	
	NC-Code		i/o		o		i			i	i		
	Scrap Rate			i/o			i/o			o	o		
	Sensor Data						i			o	o	o	
	Setting Data						i			i	i		
Tool Lists			i/o	o		i	i/o			i	i		

	Uptime			i/o		i/o				o	o	o
Commercial Data	Contracts			i/o								
	Controlling Data			i/o								
	Finance Data			i/o								
	Human Resource			i/o								i
	Invoices			i/o								
	Legal Documents			i/o								
	Offers			i/o								
	Office Documents		i/o	i/o								
	Process Data			i/o		i/o				i/o	i/o	i/o
	Purchasing Data			i/o								
	Sales Data			i/o								
	Stock Data			i/o								
	Supply Chain Data			i/o								
Customer Data	Customer Action His-			i/o								
	Account Information			i/o								
	Customer Contact			i/o								
	Customer Contract			i/o								
	Customer Master			i/o								
	Customer Order Data			i/o		i/o	i/o			i/o	i/o	i/o
	Customer Related			i/o								

5.3.2 Informationsadaption an die IT-Systemlandschaft im I4.0 Collaboration Lab



Bei der Informationsadaption werden die Informationen der IT-Systeme und CPS, sowie gegebenenfalls Lebensphasen oder Bereiche, in eine Ontologie übertragen. Aufbauend auf der Informationsklassifizierung können diese in der DAs-Ontologie organisiert und in Relation gesetzt werden. Die DAs-Ontologie gilt als Wissensbasis und Grundlage für die Analyse. Als Basis werden die Informationen als Klassen und Sub-

klassen in die Ontologie strukturiert eingepflegt (Abbildung 112). Analog werden die IT-Systeme, CPS und Abteilungen des Labs übertragen (Abbildung 111). Im Fall des Industrie 4.0 Collaboration Labs sind die Abteilungen die Lebenszyklusphasen eines Produkts.

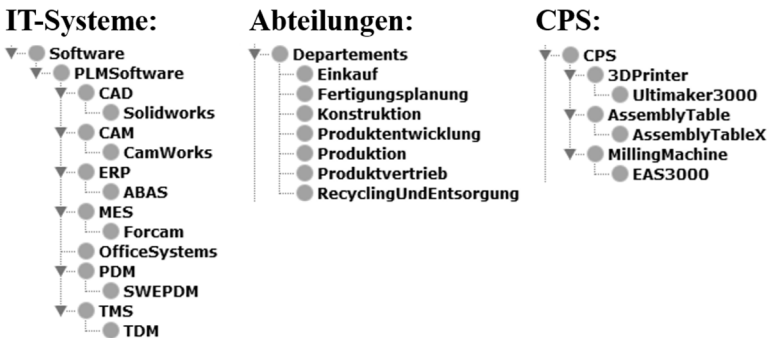
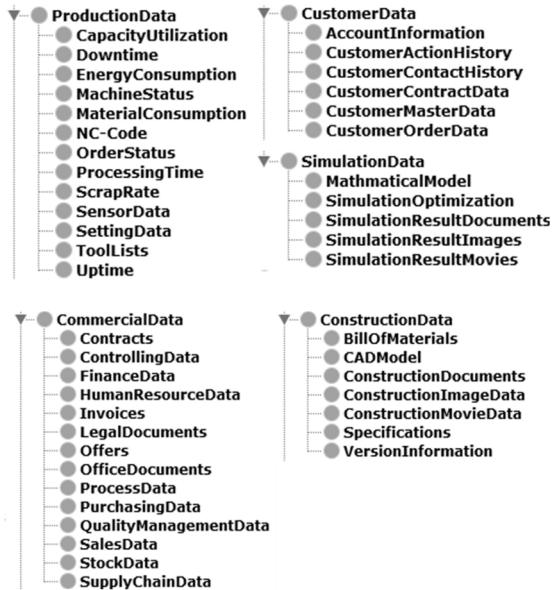


Abbildung 111: Transfer der IT-Systeme, Abteilungen und CPS in die DAs-Ontologie

Klassifizierung:**Subklassen:****Abbildung 112: Transfer der Informationen in die DAs-Ontologie**

Im zweiten Schritt werden die Relationen über „Properties“ zugeordnet. In Validierungsszenario gibt es folgende Fälle:

- “HasInput”: Die ObjectProperty „HasInput“ kann eine Eingangsinformation einer Unterklasse von Software oder CPS zuordnen.
- “HasOutput”: Die ObjectProperty „HasOutput“ kann eine Ausgangsinformation einer Unterklasse von Software oder CPS zuordnen.
- “IsInputOf”: Gegenteil der ObjectProperty “HasInput”
- “IsOutputOf”: Gegenteil der ObjectProperty “HasOutput”
- “UsesSoftware”: Die ObjectProperty „UsesSoftware“ wird verwendet um den Abteilungen die verwendeten IT-Softwares zuordnen.
- “UsedInDepartments”: Gegenteil der ObjectProperty “UsesSoftware”

Als Basis für die Zuordnung wird die Matrix (Tabelle 7) aus der Informationsklassifizierung benutzt. Schritt für Schritt wird jede Klasse mit den entsprechenden Relationen ergänzt. Als Beispiel ist nachfolgend die IT-Software Solidworks“ dargestellt (Abbildung 113). Analog dazu sind den CPS die betreffenden Input- und Outputinformationen zugeordnet und den Abteilungen die entsprechenden IT-Systeme (Abbildung 114).

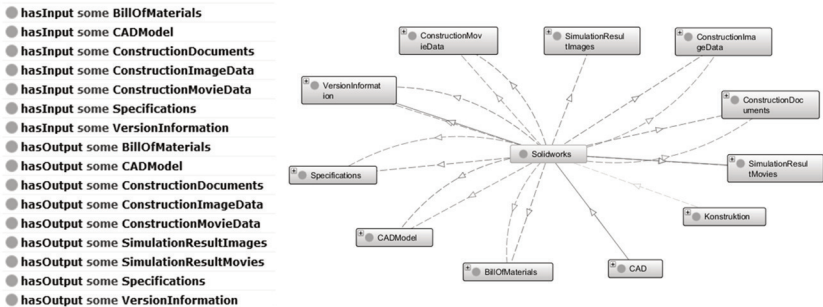


Abbildung 113: Eingangs- und Ausgangsinformationen der Software Solidworks

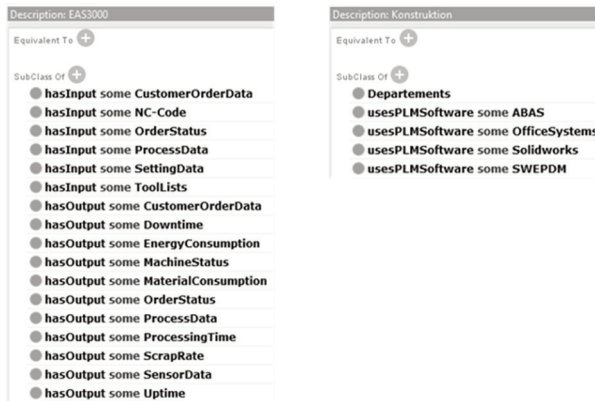


Abbildung 114: Zuordnung der ObjectProperties am Beispiel eines CPS und einer Abteilung (links CPS, rechts Abteilung)

Durch die Übertragung der Relationsmatrix in die DAS-Ontologie entsteht eine vernetzte Datenbasis (Abbildung 115). Die Ontologie kann jederzeit angepasst und überarbeitet werden.

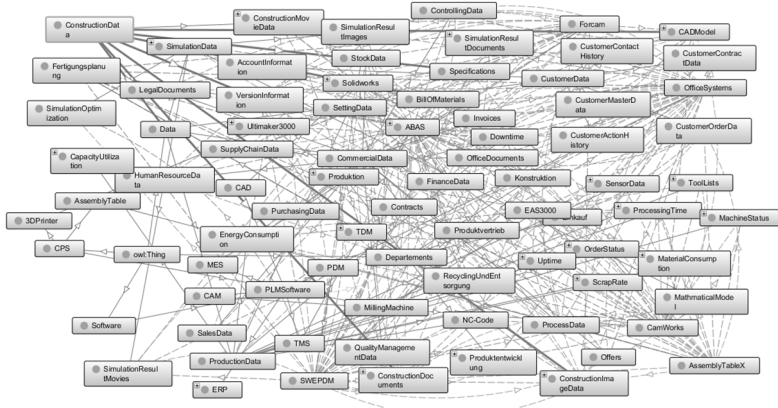
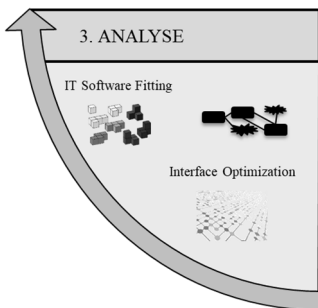


Abbildung 115: Vernetzung der Ontologie des Industrie 4.0 Collaboration Lab

Die Informationen und Relationen werden in der Ontologie als Triple gespeichert und können durch entsprechende Auslesebefehle ausgelesen werden.

5.3.3 Analyse der IT-Systemlandschaft im I4.0 Collaboration Lab



Auf dem Fundament des Wissensspeichers, der in der Ontologie hinterlegt ist, wird das Industrie 4.0 Collaboration Lab auf drei Analyseszenario hin untersucht. In dem ersten Szenario „IT-Software Fitting“ wird geprüft, ob es sinnvoll ist die CAD Software Solidworks durch ein anderes CAD-Tool vorteilhaft zu ersetzen. Bei der Analyse „Workflow Checker“ wird geprüft, ob eine

gezielte Information für den geplanten Engineering Workflow in den entsprechenden Abteilungen vorhanden ist. In dem dritten Szenario „Interface Optimization“ wird das Vernetzungspotenzial zwischen SW EPDM und ABAS geprüft

Validierungsszenario IT-Software Fitting

Als Ausgangssituation gehen wir von einem mittelständischen Unternehmen (ca. 200 MA) aus, dass sich für eine neue CAD-Software (15 CAD-Arbeitsplätze) interessiert. Momentan ist die CAD-Software Solidworks im Einsatz. Diese wird mit NX 11 und Onshape verglichen.

Mithilfe des IT-Software Fitting Tools werden die monetären (Investitionsrechnung) und nicht monetären Faktoren (Effizienzanalyse und Strategieanalyse) betrachtet. Des Weiteren werden basierend auf der Ontologie die Datenschnittstellen überprüft (Integrationsanalyse), ob die CAD-Software in die bisherige Systemlandschaft eingebettet werden kann.

Investitionsrechnung

Bei den Grunddaten der Investitionsrechnung wird von einem Betrachtungszeitraum von 8 Jahren ausgegangen (Bundesregierung für Informationstechnik 2012, S. 3) und ein Kalkulationszinsfuß von 3 % angesetzt. Die einmaligen und jährlichen Investitionskosten beruhen auf Internetrecherchen, Gesprächen und Schätzwerten. In der Abbildung 116 sind diese aufgeführt.

In der Analyse der Investitionsrechnung werden die Kosten verglichen. Es zeigt sich, dass Onshape durch die ausgelagerte Cloudlösung geringe Kosten bei Server und Administrationskosten aufweist, des Weiteren geringe Lizenzkosten anführt.

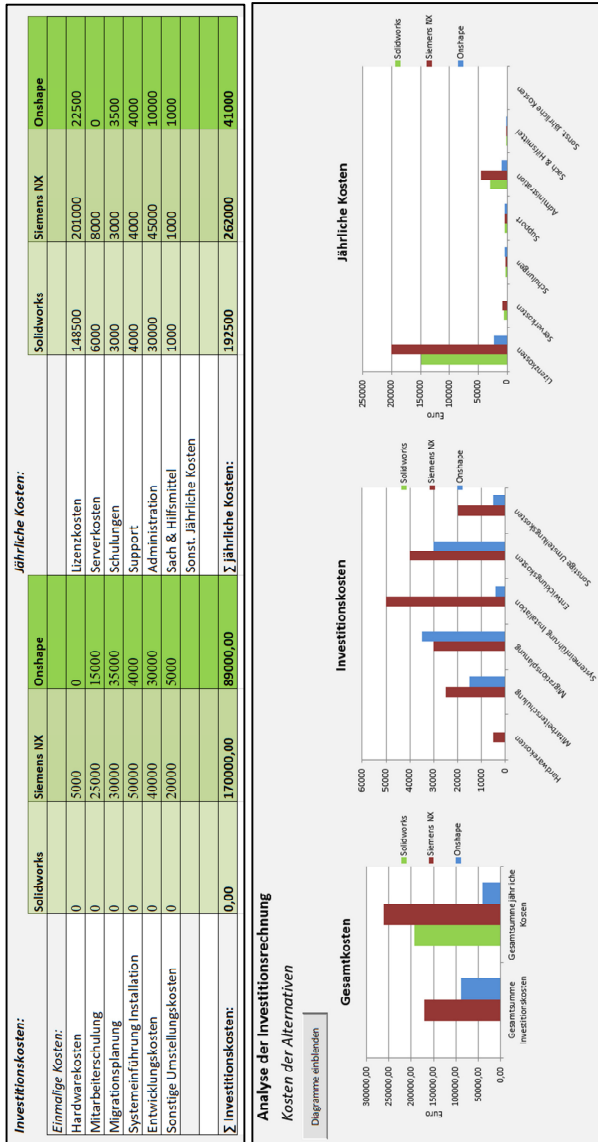


Abbildung 116: CAD-Vergleich- Einmalige und jährliche Kosten

Bei den relevanten Kennzahlen ist die Vorteilhaftigkeit von Onshape (KW=376807 €) zu sehen, gefolgt von Solidworks mit dem drei Mal so hohen Kapitalwert.

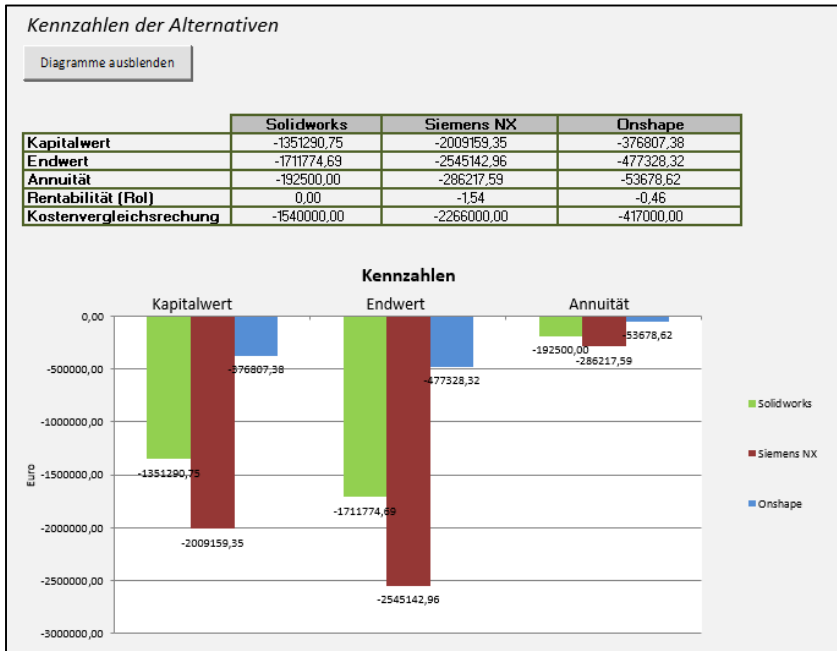


Abbildung 117: CAD-Vergleich – Kennzahlen der Alternativen

Für den Vergleich mit dem aktuell eingesetzten CAD-Tool können Differenzkennzahlen helfen. Dabei ist besonders die Amortisationsdauer interessant. In diesem Fall (Abbildung 118) lohnt sich der Austausch von SolidWorks durch Onshape bereits innerhalb eines Jahres. Ein Austausch mit NX ist finanziell nicht rentabel.

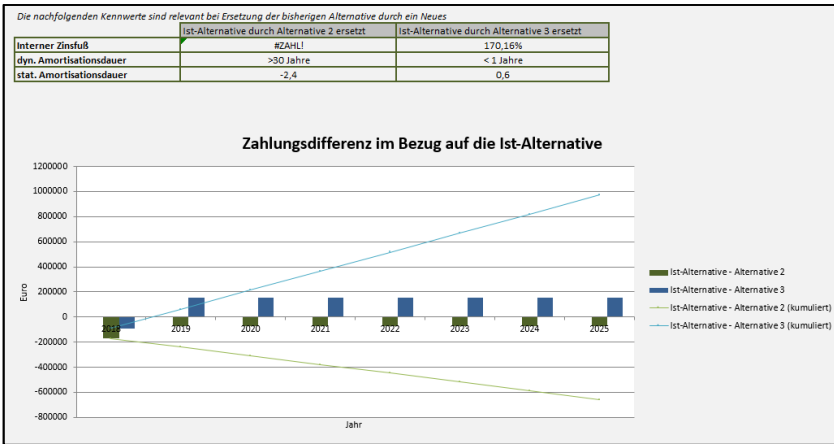


Abbildung 118: CAD-Vergleich - Differenzkennzahlen

Effizienzanalyse

Die Effizienzanalyse analysiert durch Nutzwerte die nicht monetären Faktoren der verschiedenen Software, um diese zu vergleichen. Die strategischen Faktoren werden getrennt analysiert. Im ersten Schritt werden die Kriterien durch ein analytisches Verfahren oder manuell gewichtet. In diesem Fall ist die Sicherheit ein wichtiger Aspekt und deshalb stärker gewichtet (Abbildung 119, links). Anschließend sind die Kriterien für die verschiedenen Alternativen zu bewerten (Abbildung 119, rechts).

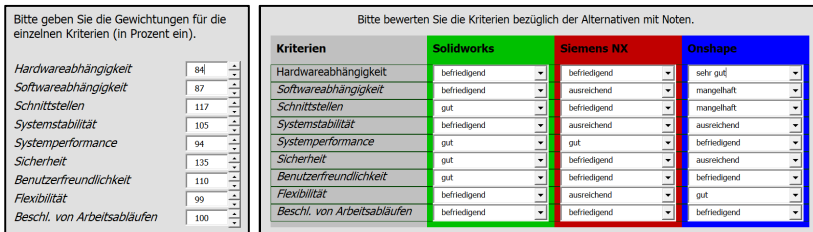


Abbildung 119: CAD-Vergleich Gewichtung und Bewertung der Effizienz

Die Analyse der eingegebenen Werte (Abbildung 120) zeigt, dass Solidworks (Kennzahl= 0,7) die größte Vorteilhaftigkeit bezüglich der Effizienz zeigt und Onshape (Kennzahl= 0,52) die schlechteste.

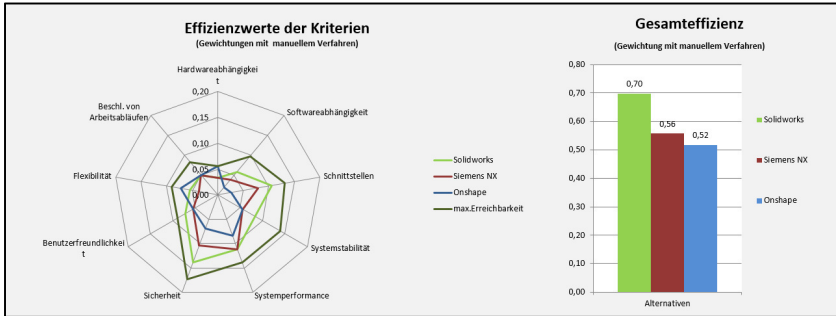


Abbildung 120: CAD-Vergleich - Analyse der Effizienzwertanalyse

Strategische Analyse

Die strategische Analyse analysiert durch Nutzwert die nicht monetären zukunftsorientierten Faktoren. Das Vorgehen ist das gleiche wie bei der Effizienzanalyse. Bei der Gewichtung der strategischen Faktoren ist der Fokus in diesem Validierungsszenario auf die Lehre gerichtet.

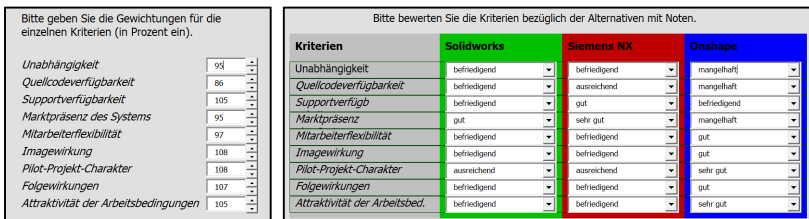


Abbildung 121: CAD-Vergleich Gewichtung und Bewertung der strategischen Faktoren

Der Vergleich zeigt, dass Onshape (Kennzahl= 0,64) eine CAD-Software mit Zukunftscharakter ist, aber einzelne Schwächen bei den Faktoren Quellcode und Marktpräsenz hat. Solidworks (Kennzahl= 0,6) und NX (Kennzahl= 0,62) haben ähnliche strategische Bewertungen.

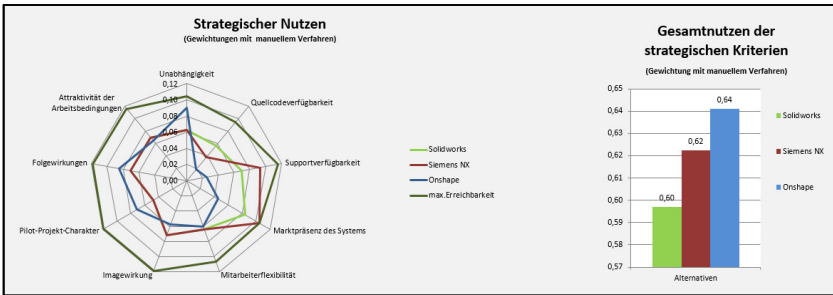


Abbildung 122: CAD-Vergleich - Analyse der strategischen Kriterien

Integrationsanalyse

Die Integrationsanalyse beruht auf der Ontologieanalyse. Als Grundlage muss dafür die Ontologie mit den Input- und Output Informationen der Alternativen angereichert werden. Die Granularität der Informationen kann bis zu dem Datentyp aufgeschlüsselt werden.



Abbildung 123: Input- und Output Informationen der CAD-Alternativen

Die Informationen werden dann in dem IT-Software- Fitting Tool aufbereitet und zum Vergleich visualisiert.

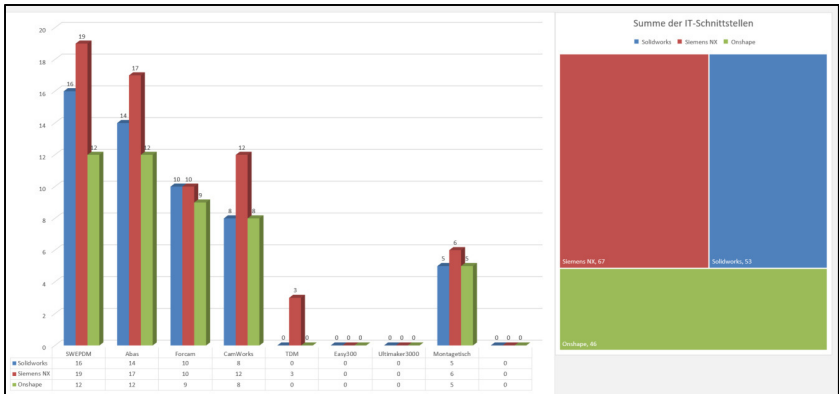


Abbildung 124: Integrationsanalyse – Vergleich der CAD-Schnittstellen

Es zeigt sich in der Analyse (Abbildung 124), dass NX mit Insgesamt 67 Schnittstellen durch den größeren Funktionsumfang mehr potenzielle-Schnittstellen anbietet. Solidworks liegt an zweiter Stelle mit 53 möglichen Schnittstellen und Onshape ist das Schlusslicht mit 46 möglichen Schnittstellen.

Gesamtbewertung

In der Gesamtbewertung werden die Hauptkennzahlen auf einem Dashboard dargestellt. In diesem Fall zeigt sich, dass jedes der analysierten CAD-Systeme unterschiedliche Stärken und Schwächen mit sich bringt.

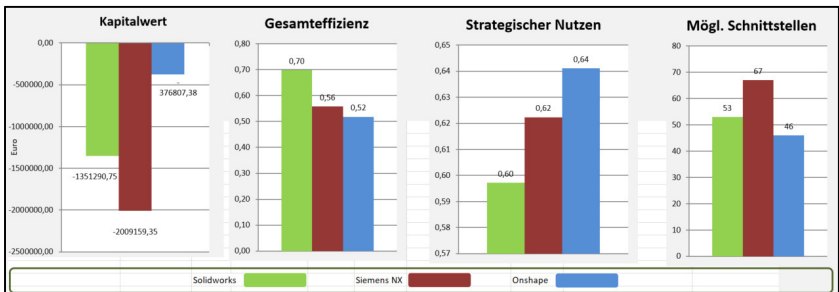


Abbildung 125: Vergleich der Hauptkennzahlen der CAD-Alternativen

Die Entscheidung ist stark abhängig von den Zielen des Unternehmens. Unterschiedliche Präferenzen führen zu einer unterschiedlichen Wahl des IT-Systems. Um die Systeme besser vergleichen zu können, werden in der folgenden Abbildung die Kennzahlen im Zusammenhang dargestellt. Dabei wird der strategische Wert und der Effizienzwert zusammengefasst und in Korrelation zu den Kapitalkosten aufgeführt.

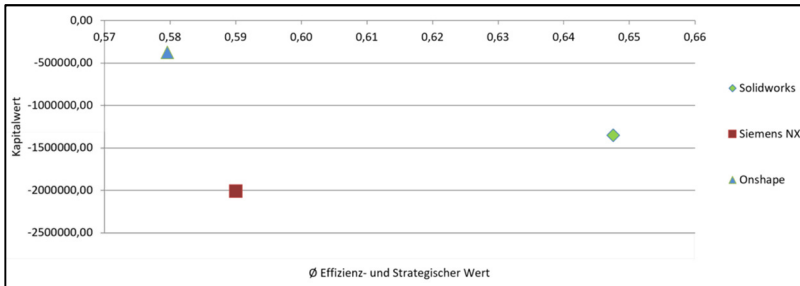


Abbildung 126: Vergleich des Durchschnitts von Effizienz- und Strategischem Wert mit dem Kapitalwert

Im Fall des I4.0 Collaboration Lab kann auf Basis der Analyse eine Empfehlung für das CAD-System Solidworks abgeleitet werden. Das CAD-System zeichnet sich vor allem durch die Gesamteffizienz aus. Der durchschnittliche Kostenaufwand ist vertretbar, sowie die Anzahl der möglichen Schnittstellen.

Validierungsszenario Workflow Checker

Für die Funktionalität des Workflow Checkers ist es zuerst notwendig den Abteilungen die IT-Systeme und CPS zuzuordnen. Im Industrie 4.0 Collaboration Lab sind die Abteilungen nach den Lebenszyklusphasen aufgeteilt.

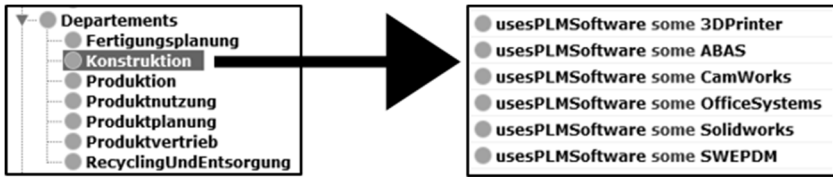


Abbildung 127: Zuordnung der Systeme zu den Abteilungen

In der nachfolgenden Tabelle ist aufgeführt welche Abteilung welches System benutzt. Die Tabelleninformationen sind in der Ontologie hinterlegt (Vorgehen analog wie in Abbildung 127).

Tabelle 8: Abteilungen mit Systemliste

Produkt-entwicklung	Konstruktion	Fertigungspla-nung	Produktion
Abas	Abas	Abas	Abas
OfficeSystems	OfficeSystems	OfficeSystems	OfficeSystems
Ultimaker3000	SolidWorks	CAMWorks	Forcam
	SWEPPDM	Forcam	TDM
		SWEPPDM	Ultimaker3000
		TDM	Easy300
		Ultimaker3000	Assembly-TableX
		Assembly-TableX	
Einkauf	Vertrieb	Recycling & Entsorgung	
Abas	Abas	Abas	
	OfficeSystems		

In dem nachfolgenden Use-Case soll analysiert werden, wie ein Workflow ohne Medienbruch realisiert werden kann. Als Szenario sollen die Montage-tische mit Construction Image Data versorgt werden, um eine adäquate Montageanleitung zu erstellen.

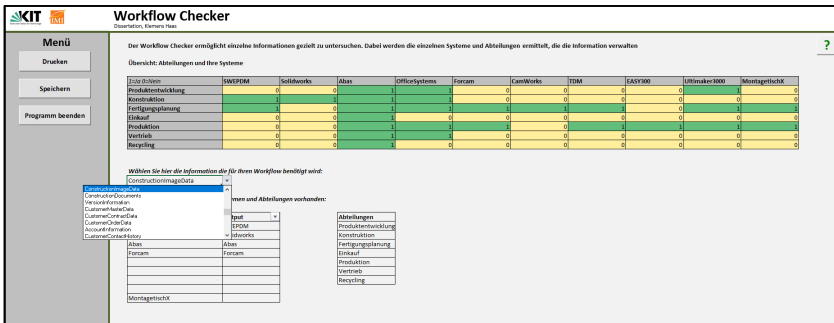


Abbildung 128: Workflow-Checker - Auswahl der Information

Zuerst wird überprüft in welchen Systemen und Abteilungen die Information „ConstructionImageData“ verwaltet werden kann (Abbildung 129).

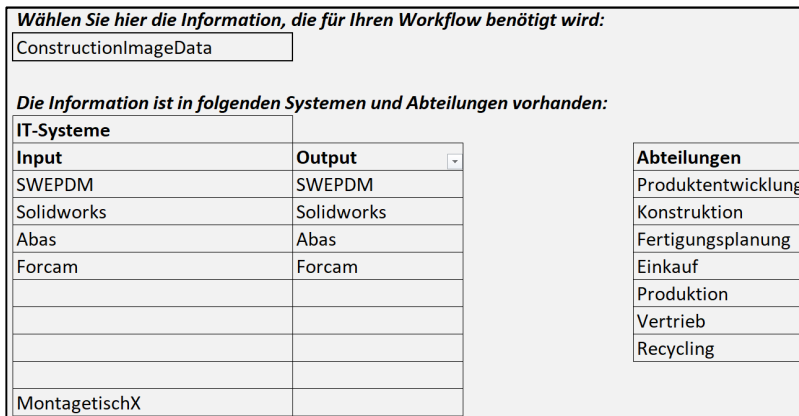


Abbildung 129: Workflow Checker – Verwaltung der Information “ConstructionImageData”

Es zeigt sich, dass die gesamte Informationskette mit Systemen unterstützt werden kann (Abbildung 130). Die Übergabepunkte und Schnittstellen können implementiert werden. Dabei stellt sich auch die Frage in welchen System es

Sinn macht die Information zu pflegen. Aus den Kenntnissen kann ein umsetzbarer Workflow abgeleitet werden. Mit dieser Methode können auch bestehende Workflows untersucht werden.



Abbildung 130: Workflow für ConstructionImageData

Validierungsszenario Interface Optimization

In dem Analyseszenario Interface Optimization werden die Schnittstellen zwischen Systemen aufgezeigt und dadurch mögliches Vernetzungspotenzial freigesetzt. Als Übersicht werden in der Matrix in Abbildung 131 die Anzahl der möglichen Schnittstellen zwischen den Systemen dargestellt.

Schnittstellen Anzahl Gesamt	SWEPM	Solidworks	Abas	Forcam	CamWorks	TDM	EASY300	Ultimaker3000	MontageteischX
SWEPM		16	26	15	11	0	0	0	7
Solidworks			14	10	8	0	0	0	5
Abas				19	23	8	0	0	20
Forcam					7	0	0	0	4
CamWorks						6	0	0	9
TDM							0	0	4
Easy300								0	0
Ultimaker3000									0
Montageteisch									
NX									
Onshape									

Abbildung 131: Interface Optimization - Mögliche Anzahl der Schnittstellen

In diesem Szenario soll die Schnittstelle zwischen zwei Hauptsystemen genauer untersucht werden. Das ERP-System von Abas und das PDM-System von Solidworks.

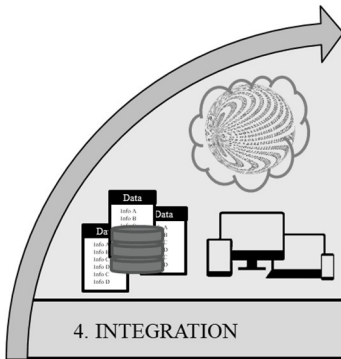
System 1	System 2
SWEPPDM	Abas
Output System 1 und Input System 2	Input System 1 und Output System 2
Contracts	Contracts
ProcessData	ProcessData
OfficeDocuments	OfficeDocuments
StockData	StockData
Invoices	Invoices
CADModel	CADModel
BillOfMaterials	BillOfMaterials
ConstructionMovieData	ConstructionMovieData
Specifications	Specifications
ConstructionImageData	ConstructionImageData
ConstructionDocuments	ConstructionDocuments
VersionInformation	VersionInformation
NC-Code	NC-Code

Abbildung 132: Schnittstellen-Checkliste zwischen Abas und SWEPPDM

Zuerst wird in der der Checkliste überprüft, welche Schnittstellen bereits implementiert sind. Dabei wird unterschieden zwischen dem Output des ersten Systems und dem Input des zweiten Systems und andersherum. Die nicht implementierten Schnittstellen können im Nachgang untersucht werden. Dabei kann Vernetzungspotenzial identifiziert werden.

In diesem Fall besteht eine geringe Kopplung zwischen den Systemen und es bietet sich beispielsweise an über eine Schnittstelle für den NC-Code nachzudenken, da Abas auch MES-Funktionalitäten umfasst. In diesem Fall kann eine unidirektionale Schnittstelle von SWEPPDM zu Abas implementiert werden.

5.3.4 Integration einer Lösung im I4.0 Collaboration Lab



In dieser Phase wird basierend auf der Analyse die Lösung umgesetzt. Bei der Umsetzung des IT-Software-Fitting Ergebnisse wird ein IT-System in die IT-Systemlandschaft eingebettet. In unserem Szenario bleibt die bereits existierende CAD-Software Solidworks bestehen und wird nicht ersetzt. Als Ergebnis des Workflow-Checkers müssen die Schnittstellen zwischen Solidworks, EPDM und MontagetechnischeSES für den Informationsfluss implementiert werden.

Im Validierungsszenario Interface Optimization wurden potenzielle Schnittstellen zwischen EPDM und Abas analysiert. Ein Ergebnis ist, dass ein Datenaustausch des NC-Codes sinnvoll wäre.

Als Beispiel wird nachfolgend die Implementierung einer Schnittstelle zwischen dem ERP-System Abas und dem Montagetechnische-SES-System vorgestellt. Das Vorgehen wurde im Rahmen eines Workshops "IoT Plattform für Ingenieursanwendungen" durchgeführt (Abbildung 133).

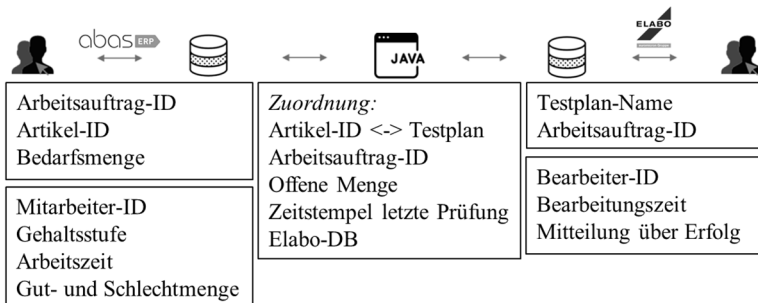


Abbildung 133: Schnittstelle – Abas und Elabo-SES

Zuerst ist eine Schnittstellenrecherche der Systeme durchzuführen. Dabei ist es hilfreich Unterstützung durch die Unternehmen der Systeme zu bekommen

bzw. einzukaufen. Als beste Lösung hat sich in diesem Fall eine Java-Skript Schnittstelle angeboten. Die Informationen werden dabei aus der jeweiligen Datenbank ausgelesen und in die andere eingefügt. Dabei werden Daten wie Auftrags-ID, Artikel-ID, Mitarbeiter-ID, etc. übermittelt.

5.4 Fazit

In diesem Kapitel ist das Vorgehen einer prototypischen Realisierung von „DAs“ beschrieben, sowie exemplarisch die Funktionsweise der Analysetools vorgestellt. Als Evaluationsumgebung wird das Industrie 4.0 Collaboration Lab verwendet.

Die Methode wird anhand der vier iterativen Schritte ausgeführt. Als Grundlage sind die vorhandenen Informationen aufgelistet und anschließend in fünf Oberklassen (Construction Data, Simulation Data, Production Data, Commercial Data, Customer Data) aufgeteilt. In der Phase der Informationsadaption sind die Informationen in einer Ontologie strukturiert und mit den entsprechenden Zuordnungen gespeichert. Dazu gehören die Informationen bezüglich der IT-Systeme, der CPS und der Abteilungen. Das Phasenergebnis ist eine vernetzte Ontologie. Die drei Analyseverfahren (Workflow Checker, IT-Software Fitting und Interface Optimization) sind in diesem Kapitel exemplarisch angewendet. Im Szenario IT-Software Fitting wird untersucht, ob die bestehende CAD-Software durch ein Konkurrenzprodukt ausgetauscht werden soll. Dieses Verfahren betrachtet monetäre und nicht-monetäre Faktoren. Der Workflow Checker untersucht in diesem Szenario inwiefern eine Informationskette ohne Medienbrüche für die Information Construction Image Data umgesetzt werden kann. In der Analyse Interface Optimization ist das Vernetzungspotenzial zwischen den Systemen Abas und SW EPDM analysiert. Als Umsetzungsbeispiel ist eine Schnittstellenimplementierung vorgestellt.

Es zeigt sich, dass die Methodik auf das Industrie 4.0 Collaboration Lab anwendbar ist und Analysen durchgeführt werden können. Das I4.0 Collaboration Lab ist nur rudimentär vernetzt und besitzt großes Verbesserungspotenzial.

6 Zusammenfassung und Ausblick

„Science, my lad, is made up of mistakes, but they are mistakes which it is useful to make, because they lead little by little to the truth.“

-Jules Vernes, Schriftsteller-

Die Digitalisierung voranzutreiben ist entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Die Herausforderungen durch die rasante Entwicklung der Informationstechnologie ist immens und besonders für kleine und mittelständische Unternehmen eine große Hürde.

6.1 Zusammenfassung

In dieser Dissertation ist ein Ansatz zur Analyse von IT-Systemlandschaften vorgestellt. Als Grundlage wird zuerst auf die IT-Systeme im Unternehmen eingegangen um die systemseitigen Zusammenhänge in einem Unternehmen zu verstehen. Des Weiteren sind aktuelle Konzepte und Visionen im Kontext von Industrie 4.0 erörtert. Aufbauend auf der Theorie ist eine Methodik zur Analyse der IT-Systemumgebung in Unternehmen vorgestellt. Diese ist in vier Schritte untergliedert. Im ersten Schritt wird eine Informationsklassifizierung der Daten und dazugehörigen IT-Systeme durchgeführt. Die Informationsklassifizierung bildet die Grundlage für die strukturierte Speicherung der Daten. Durch den Prozess der Datenerfassung mit bereichsübergreifenden Diskussionen werden auch Begrifflichkeiten geklärt und dadurch Dubletten vermieden. Im zweiten Schritt werden die Daten in die Ontologie überführt. Dies dient neben der Speicherung auch der Kontrolle der Informationen. Auffälligkeiten können zu diesem Zeitpunkt bereits aufgegriffen und hinterfragt werden. Im dritten Schritt werden aufbauend auf der Ontologie Analysen durchgeführt.

Die Ergebnisse werden im vierten Schritt durch entsprechende Schnittstellenlösungen implementiert. Die drei Analyseverfahren orientieren sich an den Fragestellungen aus der Zielsetzung.

- Systemintegration

Das Tool IT-Software Fitting gibt eine gute Unterstützung bei der Auswahl eines neuen IT-Systems. Das Analysewerkzeug ermöglicht eine Zusammenfassung der wichtigsten wirtschaftlichen Key Performance Indikatoren. Des Weiteren werden konfigurierbare Nutzwerte und strategische Werte aufbereitet. Auf dieser Basis, ergänzt durch eine Schnittstellenanalyse, kann eine begründete Entscheidung hinsichtlich der Integration eines neuen Systems getroffen werden.

➔ Die Methodik unterstützt anhand von Kennzahlen und Nutzwerten die Auswahl von IT-Systemen.

- Informationsfluss

Der Workflow Checker zeigt sich als patentes Werkzeug Geschäftsprozesse vor der Umsetzung zu überprüfen. Medienbrüche innerhalb von Workflows haben große Auswirkungen auf das gesamte Unternehmen. Verzögerungen im Prozessablauf und nicht abgestimmte Abläufe verschlechtern das Unternehmensergebnis. Mit dem Workflow Checker kann überprüft werden, ob die relevante Information in den entsprechenden für den Workflow notwendigen Systemen und Abteilungen vorhanden ist. Dadurch wird eine systemübergreifende Betrachtung hinsichtlich des Informationsflusses möglich.

➔ Das Vorgehen zeigt auf, das durch die Analyse von Informationsflüssen die IT-Systemumgebung orchestriert werden kann.

- Schnittstellenpotenziale

Das dritte Werkzeug Interface Optimization untersucht Systemschnittstellen und identifiziert verborgenes Potenzial. Dabei können schnell konkrete Vernetzungsmöglichkeiten zwischen Systemen aufgedeckt werden. Insbesondere bei der Integration neuer Systeme können auf diese Weise die möglichen Schnittstellen evaluiert werden.

- ➔ Der Analyseansatz ermittelt Schnittstellenpotenziale in der IT-Systemumgebung. Dabei können auch Schnittstellen zu anderen Systemen (z.B. CPS) analysiert werden.

Es hat sich gezeigt, dass die drei Analysetools sich gut ergänzen und eine strukturierte Basis für das IT-Systemmanagement bieten. Die Methodik ermöglicht einen guten Gesamtüberblick über die Schnittstellen der IT-Systemlandschaft und zeigt Vernetzungspotentiale auf. Des Weiteren unterstützen Kennzahlen die Entscheidungsfindung im Hinblick auf IT-Systementscheidungen. Für die Methodik ist ein hoher Informationserhebungsaufwand und Fachwissen notwendig. Durch die unternehmensübergreifende Herangehensweise sind viele Personen involviert, die koordiniert werden müssen. Die Anwendungsfälle zeigen, dass das erarbeitete Konzept nicht auf die Anwendbarkeit von IT-Systemdaten eingeschränkt ist. In dieser Ausarbeitung sind Cyber Physische Systeme in der Methodik integriert, die in die Informationsmatrix eingebunden sind. Die Anwendung der Methodik eignet sich für Unternehmensberatungen, die sich auf Informationsmanagement spezialisiert haben.

6.2 Ausblick

Die Arbeit stellt die theoretische Grundlage für ein Digitalisierungsinstrument. Dabei liegt der Fokus auf der Analyse von IT-Schnittstellen. Auf Basis der erfassten und gegebenenfalls ergänzenden Daten können weitere Analyseaspekte betrachtet werden. Alternativ können die Informationen in der Wissensdatenbank in bereits bestehende Datenanalytiktools im Unternehmen integriert werden.

Zur Unterstützung bei der Informationsklassifizierung und Informationsadaption kann ein umfassender Vorlagenkatalog erstellt werden. Dabei werden die jeweiligen Informationen der Systeme in einer Wissensdatenbank gespeichert. Dieser kann auch in Kooperation mit Vendors generiert werden. Zudem ermöglicht dies konkrete Schnittstelleninformationen zu hinterlegen.

Ein großes Potenzial liegt auch in der Verbindung mit weiteren Informationen aus dem Unternehmen. Besonders interessant ist die Ergänzung mit Ressourcendaten. Die IT-Systeme und deren Informationen können dadurch zum Beispiel Personen, Kostenstellen und Geräten zugeordnet werden. Dadurch können Workflowabläufe und deren Auswirkungen auf Ressourcen analysiert werden. Die Methodik kann auch auf andere Themenfelder beziehungsweise Branchen angewandt werden. Eine weitere Möglichkeit ist andere im Unternehmen bestehende Ontologien (z.B. PPR-Ontologien) zu integrieren.

7 Literaturverzeichnis

Abicht, L.; Spöttl, G. (2012): *Qualifikationsentwicklungen durch das Internet der Dinge: Trends in Logistik, Industrie und "Smart House"*. Bielefeld: Bertelsmann Verlag.

Abramovici, M. (2007): *Future trends in product lifecycle management (PLM)*. In: Frank-Lothar Krause (Hg.): *The Future of Product Development. Proceedings of the 17th CIRP Design Conference*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 665–674.

Alemanni, M.; Alessia, G.; Tornincasa, S.; Vezzetti, E. (2008): *Key performance indicators for PLM benefits evaluation. The Alcatel Alenia Space case study*. In: *Computers in Industry* 59 (8), S. 833–841. DOI: 10.1016/j.com-pind.2008.06.003.

Amid, A.; Moalagh, M.; Zare Ravasan, A. (2012): *Identification and classification of ERP critical failure factors in Iranian industries*. In: *Information Systems* 37 (3), S. 227–237. DOI: 10.1016/j.is.2011.10.010.

Apel, D., R.; Behme Eberlein, W.; Merighi, C. (2015): *Datenqualität erfolgreich steuern: Praxislösungen für Business-Intelligence-Projekte*. Apel, D.; Behme, W.; Eberlein, R.; Merighi, C. 3. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Arnold, V.; Dettmering, H.; Engel, T.; Karcher, A. (2011): *Product Lifecycle Management beherrschen. Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Balzert, H. (2011): *Lehrbuch der Softwaretechnik. Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb*. 3. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Bankhofer, U.; Vogel, J. (2008): *Datenanalyse und Statistik: Eine Einführung für Ökonomen im Bachelor*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Bartolo, P. J. (2005): *Virtual Modelling and Rapid Manufacturing*. Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping. London, New York, Singapore: Taylor & Francis Verlag.

Baun, C.; Kunze, M.; Nimis, J.; Tai, S. (2011): *Cloud Computing: Web-basierte dynamische IT-Services*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

DIN EN ISO (Deutsches Institut für Normung e. V.) 55350-100. Beuth Verlag GmbH, 2017: *Begriffe zu Qualitätsmanagement und Statistik - Teil 100: Qualitätsmanagement*.

Beheshti, H. M.; Beheshti, C. M. (2010): Improving productivity and firm performance with enterprise resource planning. In: *Enterprise Information Systems* 4 (4), S. 445–472. DOI: 10.1080/17517575.2010.511276.

Bieg, H.; Kußmaul, H.; Waschbusch, G. (2016): *Investition*. 3. Aufl. München: Franz Vahlen Verlag (Vahlens Handbücher).

BITKOM (2014): *Big-Data-Technologien - Wissen für Entscheider*. Leitfaden. In: *BITKOM*. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Big-Data-Technologien-Wissen-fuer-Entscheider.html>, zuletzt geprüft am 18.03.2019.

Bleis, C. (2011): *Grundlagen Investition und Finanzierung*. Lehr- und Arbeitsbuch. 3. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

Bouguettaya, A.; Gao, Y.; Klimenko, A.; Chen, L.; Zhang, X.; Dzerzhinskiy, F. et al. (Hg.) (2017): *Web information systems engineering - WISE 2017*. 18th international conference, Puschino, Russia, October 7-11, 2017 : proceedings. International Conference on Web Information Systems Engineering; WISE. Cham: Springer Verlag (Lecture notes in computer science, 10569).

Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S. (2011): *Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag (VDI-Buch).

Brecht, U. (2015): *Kostenmanagement. Neue Tools für die Praxis*. 3. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Brendel, M. (2003): CRM für den Mittelstand. Voraussetzungen und Ideen für die erfolgreiche Implementierung. 2. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Broy, M. (2010): Cyber-Physical Systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. acatech DISKUTIERT. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Broy, M.; Kirstan, S.; Krcmar, H.; Schätz, B. (2011): What is the Benefit of a Model-Based Design of Embedded Software Systems in the Car Industry? In: J. Rech und C. Bunse (Hg.): Emerging technologies for the evolution and maintenance of software models. Hershey, Pa: IGI Global, S. 343–369.

Bruno, G.; Antonelli, D.; Villa, A. (2015): A Reference Ontology to Support Product Lifecycle Management. In: *9th Procedia CIRP ICME Conference*, S. 41–46. DOI: 10.1016/j.procir.2015.06.009.

Bühl, A. (2008): SPSS 16. Einführung in die moderne Datenanalyse. 11. Aufl. München: Pearson Studium Verlag.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2017): Industrie 4.0 Innovationen für die Produktion von morgen. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Industrie_4.0.pdf, zuletzt geprüft am 19.03.2019.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.html (BMVI) (2017): Breitbandausbau in Deutschland. Online verfügbar unter <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/breitbandausbau-in-deutschland.html>, zuletzt geprüft am 18.03.2019.

Bundesregierung für Informationstechnik (2012): Wirtschaftliche Aspekte von Software-Migrationen. Begleitdokument zum Migrationsleitfaden 4.0. Hg. v. Bundesregierung für Informationstechnik Bundesministerium des Intern. Berlin. Online verfügbar unter https://www.cio.bund.de/Shared-Docs/Publikationen/DE/Architekturen-und-Standards/migrationsleitfaden_4_0_wirtschaftliche_aspekte_download.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 19.03.2019.

Cantamessa, M.; Montagna, F.; Neirotti, P. (2012): Understanding the organizational impact of PLM systems. Evidence from an aerospace company. In:

International Journal of Operations & Production Management 32 (2), S. 191–215. DOI: 10.1108/01443571211208623.

Carstensen, P. (2009): *Investitionsrechnung kompakt. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Cecil, J.; Panetto, H. (2013): *Information systems for enterprise integration, interoperability and networking: theory and applications*. In: *Enterprise Information Systems* (Hg.): STM, Behavioural Science and Public Health Titles (7), S. 1–6.

Chen, F.; Deng, P.; Wan, J.; Zhang, D.; Vasilakos, A. V.; Rong, X. (2015): *Data Mining for the Internet of Things. Literature Review and Challenges*. In: *International Journal of Distributed Sensor Networks* 11 (8). DOI: 10.1155/2015/431047.

Chen, Y.; Chu, H. (2009): *Development of a mechanism for ontology-based product lifecycle knowledge integration*. In: *Expert Systems with Applications* 36 (2), S. 2759–2779. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.01.049.

Columbus, L. (2014): *Gartner's ERP Market Share Update Shows The Future Of Cloud ERP Is Now*. Hg. v. Forbes. forbes.com. Online verfügbar unter <http://www.forbes.com/sites/louis columbus/2014/05/12/gartners-erp-market-share-update-shows-the-future-of-cloud-erp-is-now/#61d79f2e74a1>, zuletzt geprüft am 08.02.2017.

Coronel, C.; Morris, S. (2019): *Database systems. Design, implementation, and management*. 13. Aufl. Australia, United States: Cengage Learning.

Defense Technical Information Center (2001): *System Engineering Fundamentals*. Hg. v. Defense Acquisition University Press. Fort Belvoir Virginia. Online verfügbar unter <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA606327>, zuletzt geprüft am 24.03.2018.

Dimitrov, T. (2015): *Permanente Optimierung dynamischer Probleme der Fertigungssteuerung unter Einbeziehung von Benutzerinteraktionen*. Karlsruher Schriften zur Anthropomatik. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing (21).

DIN EN ISO 9000. Beuth Verlag GmbH, 2015: *DIN EN ISO 9000 (Deutsches Institut für Normung e. V.) Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen*.

Donaukurier (2016): BDI betrachtet deutsche IT-Infrastruktur als mangelhaft. Online verfügbar unter <http://www.donaukurier.de/nachrichten/digital/netzundtechnik/Deutschland-Unternehmen-Internet-BDI-betrachtet-deutsche-IT-Infrastruktur-als-mangelhaft;art251974,3224599>, zuletzt geprüft am 09.08.2017.

DuCharme, B. (2013): Learning SPARQL. Querying and Updating with SPARQL 1.1. 2. Aufl. Beijing, Köln, Cambridge, Farnham, Sebastopol, Tokyo: O'Reilly Media Verlag.

Dürholt, H. (2007): Konzeption eines Vorgehensmodells für die Durchführung von prozessorientierten PLM-Projekten in mittelständischen Unternehmen. Dissertation. Universität Duisburg-Essen. Fakultät für Ingenieurwissenschaften. Online verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00016946/Duerholt_Diss.pdf, zuletzt geprüft am 20.03.2019.

Ehrig, M.; Studer, R. (2006): Wissensvernetzung durch Ontologien. In: T. Pellegrini und A. Blumauer (Hg.): Semantic Web. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 469–484.

Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R. (2014): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Eigner, M.; Stelzer, R. (2009): Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2nd ed. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer Verlag (VDI-Buch).

Eilenberger, G.; Ernst, D.; Toebe, M. (2013): Betriebliche Finanzwirtschaft. Einführung in Investition und Finanzierung, Finanzpolitik und Finanzmanagement von Unternehmungen. 8. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

Elanchezian, C.; Sundar, G. S. (2007): Computer Aided Manufacturing. 2. Aufl. New Dehli, Boston: Laxmi Publications.

Ertel, W. (2016): Grundkurs Künstliche Intelligenz. Eine praxisorientierte Einführung. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

Ester, M.; Sander, J. (2000): Knowledge Discovery in Databases. Techniken und Anwendungen. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

European Commission (2015): Innovation in Digital Manufacturing. Report from the Workshop on Innovation in Digital Manufacturing. Hg. v. Communications Networks, Content and Technology Directorate-General DG CONNECT, A3 and European Factories of the Future Research Association (EFFRA). Report from the Workshop on Innovation in Digital Manufacturing. Brussels (EC Workshop). Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/news/european-co-operation-innovation-digital-manufacturing>, zuletzt geprüft am 20.03.2019.

European Commission (2016): Europe 2020 strategy. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/europe-2020-strategy>, zuletzt geprüft am 27.03.2017.

Fasel, D.; Meier, A. (2016): Big Data. Grundlagen, Systeme und Nutzungspotenziale. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

Fayyad, U. M.; Piatetsky-Shapiro, G.; Smyth, P.; Uthurusamy, R. (1996): Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. Cambridge: MIT Press (American Association for Artificial Intelligence).

Feldhusen, J.; Gebhardt, B. (2008): Product Lifecycle Management für die Praxis. Ein Leitfaden zur modularen Einführung, Umsetzung und Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Filinovich, E. (2017): Methods Of Implementing ERP Enterprise Resource Planning Software. Hg. v. selfgrowth.com. Online verfügbar unter <http://www.selfgrowth.com/articles/methods-of-implementing-erp-enterprise-resource-planning-software>, zuletzt geprüft am 20.03.2019.

Fischer, J. W.; Hoheisel, W.; Dietrich, U. (2014): Bereit für PLM? Steinbeis hilft Unternehmen die Durchgängigkeit des Engineerings zu gestalten. In: *Transfermagazin* (2). Online verfügbar unter <https://www.steinbeis.de/de/publikationen/transfermagazin/ausgabe-022014/bereit-fuer-plm.html>, zuletzt geprüft am 26.06.2017.

Fischer, J. W.; Lammel, B.; Hosenfeld, D.; Bawachkar, D.; Brinkmeier, B. (2013): Do(PLM)Con: An Instrument for Systematic Design of Integrated PLM-Architectures. In: M. Abramovici und R. Stark (Hg.): Smart product engineering. Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum,

Germany, March 11th - 13th, 2013. Berlin: Springer (Lecture Notes in Production Engineering), S. 211–220.

Fischer, J. W.; Ovtcharova, J. (2013): Wie Unternehmen die operative Informationsentwicklung im Produktentstehungsprozess gestalten können. Hg. v. PLM Portal. Online verfügbar unter <http://www.plmportal.org/de/forschung-detail/wie-unternehmen-die-operative-informationsentwicklung-im-produktentstehungsprozess-gestalten-koennen.html>, zuletzt geprüft am 26.06.2017.

Fischer, Jörg (2017): Do(PLM)Con Blogspot. Do(PLM)Con: A methodology for design of PLM-Architectures. Hg. v. doplmmcon.blogspot.de. Online verfügbar unter <http://doplmmcon.blogspot.de/>, zuletzt geprüft am 03.08.2017.

Frantz, Rafael Z.; Corchuelo, Rafael; Roos-Frantz, F.; Sawicki, S. (2015): A technology proposal to realise enterprise application integration. In: *International Journal of Computer Research* 22 (3), S. 307.

Fukuda, S.; Bernard, A.; Gurumoorthy, B.; Bouras, A. (2014): Product Lifecycle Management for a Global Market: 11th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2014, Yokohama, Japan, July 7-9, 2014. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Gärtner, B.; Feldbauer-Durstmüller, B. (2013): Controlling und ERP-Systeme: Aktuelle Ergebnisse der eingesetzten ERP-Systeme im Controlling in Österreich. In: *Controller Magazin* 38 (4), S. 82–85.

Gernert, C.; Ahrend, N. (2001): IT-Management: System statt Chaos. Ein praxisorientiertes Vorgehensmodell. München, Wien: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.

Gluchowski, Peter; Chamoni, Peter (Hg.) (2015): Analytische Informationssysteme. Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen. 5., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4187211>.

Görz, G.; Schneeberger, J.; Schmid, U. (2013): Handbuch der Künstlichen Intelligenz. 5. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

- Götze, U. (2008): Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 6. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Grafmüller, Leontin K.; Habicht, Hagen (2017): Current Challenges for Mass Customization on B2B Markets. In: J. Bellemare, S. Carrier, K. Nielsen und F. Piller (Hg.): *Managing Complexity: Proceedings of the 8th World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation (MCPC 2015)*, Montreal, Canada, October 20th-22th, 2015, S. 269–279.
- Grande, M. (2014): 100 Minuten für Anforderungsmanagement. Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler. Wiesbaden: Vieweg Teubner Verlag.
- Graupe, D. (2013): *Principles Of Artificial Neural Networks*. 3. Aufl. Singapore: World Scientific Publishing (Advanced Series In Circuits And Systems, 7).
- Haas, K.; Kappe, S.; Siebert, M.; Wicaksono, H.; Ovtcharova, J. (2017): Digital Assistance Based on an Ontology Driven Model of the IT-Systems Along the Product Lifecycle. On the Move to Meaningful Internet Systems. OTM 2017 Workshops: Confederated International Workshops, EI2N, FBM, ICSP, Meta4eS, OTMA 2017 and ODBASE Posters. Rhodos, Greece, 2017.
- Haas, K.; Ovtcharova, J. (2016): Informationsmodell für die Digitale Fabrik. Studie für den Verband der Automobilindustrie (VDA). Hg. v. Intern veröffentlichtes Dokument des VDA. Berlin.
- Haas, K.; Schuck, H.; Mücke, T.; Ovtcharova, J. (2016): A Holistic Product Lifecycle Management Approach to Support Design by Machine Data. In: *Procedia CIRP* 50, S. 420–423. DOI: 10.1016/j.procir.2016.04.135.
- Hähle, Sven (2017): Marktübersicht Cloud-Hosting: Die wichtigsten Anbieter im Überblick. Hg. v. t3n. Online verfügbar unter <http://t3n.de/magazin/ueberblick-cloud-hosting-flexible-datenspeicher-232775/>, zuletzt geprüft am 20.03.2019.
- Hankel, M. (2015): Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Hg. v. ZVEI. Hannover Messe 2015. Online verfügbar unter

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4_0-RAMI-4_0.pdf, zuletzt geprüft am 09.08.2017.

Hardtke, A.; Prehn, M. (2013): Perspektiven der Nachhaltigkeit: Vom Leitbild zur Erfolgsstrategie. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Haun, Matthias (2016): Cognitive Organisation. Prozessuale und funktionale Gestaltung von Unternehmen. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Hecker, W.; Lau, C.; Müller, A. (2015): Zukunftsorientierte Unternehmenssteuerung in der Energiewirtschaft. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.

Heesen, B. (2016): Investitionsrechnung für Praktiker. Fallorientierte Darstellung der Verfahren und Berechnungen. 6. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Helmis, S.; Hollmann, R. (2009): Webbasierte Datenintegration. Ansätze zur Messung und Sicherung der Informationsqualität in heterogenen Datenbeständen unter Verwendung eines vollständig webbasierten Werkzeuges. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Helmke, S.; Uebel, M. (Hg.) (2016): Managementorientiertes IT-Controlling und IT-Governance. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.

Helmke, S.; Uebel, M.; Dangelmaier, W. (2017): Effektives Customer Relationship Management: Instrumente - Einführungskonzepte - Organisation. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.

Hildebrand, K.; Gebauer, M.; Hinrichs, H.; Mielke, M. (2015): Daten- und Informationsqualität. Auf dem Weg zur Information Excellence. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.

Hinton, K. (2017): Creating with 3D Scanners. New York: Rosen Publishing.

Hitzler, P.; Krötzsch, M.; Rudolph, S.; Sure, Y. (2007): Semantic Web. Grundlagen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Hoffmeister, C. (2017): Das Gold des 21. Jahrhunderts. Ein Gespräch über das Schürfen von Daten im Internet mit Dieter Kempf, Vorstandsvorsitzender

der Datev. Zeit.de. Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/angebote/zukunftsfaktor-technologie/gold-21-jahrhundert>, zuletzt geprüft am 29.01.2017.

Hoffmeister, W. (2008): Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse. Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen. 2. Aufl. Berlin: Berliner Wissenschaftsverlag.

Höhne, S. (2017): „Wanna-Cry“ So funktioniert der riesige Computer-Virus. Hg. v. Mitteldeutsche Zeitung. Online verfügbar unter <http://www.mz-web.de/wirtschaft/-wanna-cry--so-funktioniert-der-riesige-computer-virus-26928068>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Hopf, J. M.; Ovtcharova, J. (2016): Deeper insights into product development through data visualization techniques. In: *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 467, S. 485–494.

Horridge, M.; Knublauch, H.; Rector, A.; Stevens, R.; Wroe, C. (2004): A Practical Guide To Building OWL Ontologies Using The Protégé-OWL Plugin and CO-ODE Tools Edition 1.0. Manchester: University of Manchester Publishing.

Huber, W. (2016): Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag.

Hutzschenreuter, T. (2015): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Grundlagen mit zahlreichen Praxisbeispielen. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.

Imkamp, D.; Berthold, J.; Heizmann, M.; Kniel, K.; Manske, E.; Peterek, M. et al. (2016): Challenges and trends in manufacturing measurement technology—the “Industrie 4.0” concept. In: *Journal of Sensors and Sensor Systems* 5 (2), S. 325–335.

Informatik und Gesellschaft (2015): Internet-Zensur in Deutschland. Welche Sperrungen/Zensuren gab es bisher in Deutschland und was waren die Auslöser? Hg. v. Informatik und Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://iug2014.wordpress.com/projekt/recht-und-zensur/zensur-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Jain, A.; Jain, P. (2009): *Principles of Marketing*. New Dehli: Vg Global Publications.

Jirkovsky, V.; Obitko, M.; Marik, V. (2017): Understanding Data Heterogeneity in the Context of Cyber-Physical Systems Integration. In: *IEEE Trans. Ind. Inf.* 13 (2), S. 660–667. DOI: 10.1109/TII.2016.2596101.

Judah, S.; Selvage, M. Y.; Jain, A. (2016): Magic Quadrant for Data Quality Tools. Hg. v. Gartner. Online verfügbar unter <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-3U2BY95&ct=170222&st=sb>, zuletzt geprüft am 05.09.2017.

Jung, H. (2011): *Controlling*. 3. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

Kalenberg, F. (2013): *Kostenrechnung: Grundlagen und Anwendungen-Mit Übungen und Lösungen*. 3. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

Kalyvas, J. R.; Overly, M. R. (2015): *Big Data. A Business and Legal Guide*. Boca Raton, London, New York: CRC Press.

Kiritsis, D.; Bufardi, A.; Xirouchakis, P. (2003): Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. In: *Advanced Engineering Informatics* 17 (3-4), S. 189–202.

Klaus, H.; Rosemann, M.; Gable, Guy G. (2000): What is ERP? In: *Information Systems Frontiers* 2 (2), S. 141–162.

Kletti, J. (2015): *MES - Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung*. 2. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg Verlag.

Klier, M. (2008): Metriken zur Bewertung der Datenqualität - Konzeption und praktischer Nutzen. In: *Informatik-Spektrum* 31 (3), S. 223–236. DOI: 10.1007/s00287-007-0206-0.

Kossiakoff, A.; Sweet, W. N.; Seymour, S. J.; Biemer, S. M. (2011): *Systems Engineering Principles and Practice*. 2. Aufl. New Jersey: John Wiley & Sons Publishing.

Kotler, P.; Armstrong, G.; Harris, L. C.; Piercy, N. (2016): *Grundlagen des Marketing*. 6. Aufl. München: Pearson Verlag.

Kraewing, M. (2017): Digital Business Strategie für den Mittelstand. Entwicklung und Konzeption mit internationaler Ausrichtung. Freiburg, München, Stuttgart: Haufe Verlag.

Kraus, U. (2003): ERP-OnTo-PDM: Konzept und prototypische Realisierung einer ontologiebasierten ERP/PDM Kopplung mittels XML-Technologie. Dissertation. Universität Duisburg-Essen. Fachbereich Maschinenwesen (Energie- und Verfahrenstechnik, Maschinentechnik). Online verfügbar unter http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-11897/ERP_PDM.pdf, zuletzt geprüft am 23.03.2019.

Krcmar, H. (2015): Einführung in das Informationsmanagement. 2. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Kuder, M. (2005): Kundengruppen und Produktlebenszyklus. Dynamische Zielgruppenbildung am Beispiel der Automobilindustrie. Dissertation. Technische Universität Chemnitz. Lehrstuhl für Marketing und Handelsbetriebslehre. Unter Mitarbeit von C. Zanger. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Kurbel, K. (2016): Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie: Von MRP bis Industrie 4.0. 8. Aufl. Berlin, Boston: De Gruyter Verlag.

Kußmaul, H. (2011): Betriebswirtschaftslehre für Existenzgründer: Grundlagen mit Fallbeispielen und Fragen der Existenzgründungspraxis. 7. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

Leimeister, J. M. (2015): Einführung in die Wirtschaftsinformatik: Springer Berlin Heidelberg.

Leiting, A. (2012): Unternehmensziel ERP-Einführung: IT muss Nutzen stiften. Wiesbaden: Springer Verlag.

Linder, A. (2005): Web Mining - Die Fallstudie Swarovski. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung. Dissertation. Universität Zürich. Unter Mitarbeit von H. P. Wehrli und W. Stier. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

- Lintala, M.; Ovtcharova, J.; Bonnal, P. (2012): Approach on Lifecycles on Research Environment and Analysis Based on Systems Engineering (SE). In: L. Rivest, A. Bouras und B. Louhichi (Hg.): Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises. IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, 2012, Revised Selected Papers. Berlin, Heidelberg: Springer (IFIP Advances in Information and Communication Technology, 388), S. 646–655.
- Louis, P. (2009): Manufacturing Execution Systems: Grundlagen und Auswahl. Unter Mitarbeit von Dissertation. Institut für Wirtschaftsinformatik, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und quantitative Methoden. Philipps-Universität Marburg. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Luszczak, A.; Gayer, M.; Singer, R. (2013): Microsoft Dynamics Nav 2013 - Grundlagen. Kompaktes Anwenderwissen zur Abwicklung von Geschäftsprozessen. Deutschland: Microsoft Press.
- Maier, F. (2016): Unternehmen investieren mehr in Security. Hg. v. computerwoche. Online verfügbar unter <https://www.computerwoche.de/a/unternehmen-investieren-mehr-in-security,3315843>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.
- Martens, J. (2003): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. 2. Aufl. München, Wien: Oldenbourg Verlag.
- Mast, C.; Huck, S.; Güller, K. (2005): Kundenkommunikation. Ein Leitfadens. Stuttgart: Lucius & Lucius Verlag.
- McKinsey&Company (2017): Digitalisierung: Deutschland verschenkt 500 Milliarden Euro Potenzial. Hg. v. McKinsey&Company. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.de/digitalisierung-deutschland-verschenkt-500-milliarden-euro-potenzial>, zuletzt geprüft am 24.03.2017.
- Meinel, S. (2010): ERP-System im Mittelstand. Wirtschaftlichkeitsanalyse eines Luftfahrtunternehmens. Paderborn: Igel Verlag.
- Mensch, G. (2002): Investition. Investitionsrechnung in der Planung und Beurteilung von Investitionen. München, Wien: Oldenbourg Verlag.
- Min, H. (2015): The Essentials of Supply Chain Management: New Business Concepts and Applications. London: Pearson Verlag.

- Mishra, A.; Mishra, D. (2011): ERP project implementation: evidence from the oil and gas sector. In: *Acta Polytechnica Hungarica* 8 (4), S. 55–74.
- Mitchel-Guthrie, P. (2014): Looking backwards, looking forwards: SAS, data mining, and machine learning. Hg. v. SAS. Online verfügbar unter <http://blogs.sas.com/content/subconsciousmusings/2014/08/22/looking-backwards-looking-forwards-sas-data-mining-and-machine-learning/>, zuletzt geprüft am 03.02.2017.
- Momoh, A.; Shehab, R. Roy E. (2010): Challenges in enterprise resource planning implementation: state-of-the-art. In: *Business Process Management Journal* 16 (4), S. 537–565. DOI: 10.1108/14637151011065919.
- Monostori, L. (2014): Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. In: *Procedia CIRP, Volume 17*, S. 9–13.
- Mücke, T. (2017): Informationssystematik zur Optimierung von Konstruktions- und NC-Prozessen. Ganzheitliche Optimierung durch Vernetzung von PLM-, ERP- und MES geprägten Prozessen unter Berücksichtigung von Betriebsmittelinformationen aus der Fertigung. Dissertation. TU Sofia. 2. Aufl. Norderstedt: Books on Demand.
- Nicoletti, R.; Oberladstätter, M.; König, F. (2007): Messtechnik und Instrumentierung in der Nuklearmedizin: eine Einführung. Wien: Facultas Verlag.
- Nikookar, G.; Yahya Safavi, S.; Hakim, A.; Homayoun, A. (2010): Competitive advantage of enterprise resource planning vendors in Iran. In: *Information Systems* 35 (3), S. 271–277. DOI: 10.1016/j.is.2009.09.002.
- VDI 3633-1, 2014: Norm. Verein Deutscher Ingenieure. Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen. Berlin. Beuth Verlag GmbH.
- Nwankpa, J. K. (2015): ERP system usage and benefit: A model of antecedents and outcomes. In: *Computers in Human Behavior* 45, S. 335–344. DOI: 10.1016/j.chb.2014.12.019.
- Oberle, D. (2006): Semantic Management of Middleware. New York: Springer Verlag (Semantic Web and Beyond Computing for Human Experience).

Otto, B.; Österle, H. (2015): *Corporate Data Quality: Voraussetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Ovtcharova, J. (Hg.) (2010): *Virtual engineering: principles, methods and applications*. DS 60: Proceedings of DESIGN 2010, the 11th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.

Ovtcharova, J. (2015): Die Vernetzung dreier Welten. In: *TDMessage*, 2015.

Ovtcharova, J.; Gabler, T. (2017): *Die virtuelle Realität in Ihrem Unternehmen. Warum sie die Welt verändern wird & 10 Jahre Erfahrung mit der virtuellen Realität bei Gabler. Grenzüberschreitender Erfahrungsaustausch*. Campus Industrie 4.0. Parc Expo, Mulhouse, 14.06.2017.

Ovtcharova, J.; Häfner, P.; Häfner, V.; Katicic, J.; Vinke, C. (2015): *Innovation braucht Resourceful Humans Aufbruch in eine neue Arbeitskultur durch Virtual Engineering*. In: A. Botthof und E. A. Hartmann (Hg.): *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 111–124.

Panetto, H.; Zdravkovic, M.; Jardim-Goncalves, R.; Romero, D.; Cecil, J.; Mezgar, I. (2016): *New perspectives for the future interoperable enterprise systems*. In: *Computers in Industry* 79, S. 47–63. DOI: 10.1016/j.com-pind.2015.08.001.

Pape, U.: *Kapitalwert*. Hg. v. Gabler Wirtschaftslexikon. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kapitalwert-39806>, zuletzt geprüft am 24.03.2019.

Pfuhl, M. (2013): *Case-Based Reasoning auf der Grundlage Relationaler Datenbanken. Eine Anwendung zur strukturierten Suche in Wirtschaftsnachrichten*. Dissertation Institut für Wirtschaftsinformatik. Universität Marburg. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

Plattform Industrie 4.0 (2019): *RAMI 4.0 -Ein Orientierungsrahmen für die Digitalisierung. Leitfaden*. Online verfügbar unter https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-einfuehrung-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 28.04.2019.

Plümer, T.; Steinfatt, E. (2017): *Produktions- und Logistikmanagement*. 2. Aufl. Berlin, Boston: De Gruyter Verlag.

- Poggensee, K. (2014): *Investitionsrechnung: Grundlagen – Aufgaben – Lösungen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.
- Pollard, C.; Cater-Steel, A. (2009): Justifications, Strategies, and Critical Success Factors in Successful ITIL Implementations in U.S. and Australian Companies: An Exploratory Study. In: *Information Systems Management* 26 (2), S. 164–175. DOI: 10.1080/10580530902797540.
- Porter, M. E. (2008): *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press.
- PROCAD (2018): *PLM in der Automobilzulieferindustrie*. Hg. v. PROCAD. Online verfügbar unter <https://www.procad.de/blog/plm-in-der-automobilzulieferindustrie/>, zuletzt geprüft am 06.01.2018.
- Putnoki, H.; Schwadorf, H.; Bergh, F. T. (2011): *Investition und Finanzierung*. München: Vahlen Verlag.
- DIN EN ISO 9000, 2015: *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*, zuletzt geprüft am 05.09.2017.
- Raphael, B.; Smith, I.F.C. (2013): *Fundamentals of Computer-Aided Engineering*. 2. Aufl. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Reinheimer, S. (2017): *Industrie 4.0: Herausforderungen, Konzepte und Praxisbeispiele*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.
- Reyes, E. R.; Negny, S.; Robles, G. C.; Le Lann, J. M. (2015): Improvement of online adaptation knowledge acquisition and reuse in case-based reasoning. Application to process engineering design. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 41, S. 1–16. DOI: 10.1016/j.engappai.2015.01.015.
- Rohling, G. (2017): *Facts and Forecasts: The Economic Impact of Digital Expansion. From Big Data to Smart Data*. Hg. v. Siemens. Online verfügbar unter <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/from-big-data-to-smart-data-facts-and-forecasts.html>, zuletzt aktualisiert am 27.01.2017, zuletzt geprüft am 29.01.2017.

Rolfes, B. (2003): *Moderne Investitionsrechnung: Einführung in die klassische Investitionstheorie und Grundlagen marktorientierter Investitionsentscheidungen*. München, Wien: Oldenbourg Verlag.

Rother, M.; Shook, J. (1999): *Learning to see. Value-stream mapping to create value and eliminate muda*. Cambridge, Mass.: Lean Enterprise Institute (A lean tool kit method and workbook).

Saake, G.; Sattler, K. U. (2014): *Algorithmen und Datenstrukturen: Eine Einführung mit Java*. 5. Aufl. Heidelberg: dpunkt.verlag.

Saaksvuori, A.; Immonen, Anselmi (2008): *Product Lifecycle Management*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Sadiq, S. (2013): *Handbook of Data Quality: Research and Practice*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Salajegheh, A.; Kimiaee, F.; Ahmadian, H. Y. (2011): *Project Management, A Solution for ERP Failures*. In: *Proceedings of the 5th SASTech, Khavaran Higher-education Institute, Mashhad, Iran*. DOI: 10.1109/ICSESS.2011.5982449.

Salmon, K. (2013): *Achieving Strategic Benefits with PLM*. Unter Mitarbeit von C. Jacoby, A. Zukerman und A. Billings. Hg. v. Kurt Salmon. Online verfügbar unter <http://www.kurtsalmon.com/uploads/2013%2B1219%2BAchieving%2BStrategic%2BBenefits%2Bwith%2BPLM%2BVF.pdf>, zuletzt geprüft am 21.08.2016.

Sarcar, M.M.M. K.; Rao, K. M.; Narayan, K. L. (2008): *Computer Aided Design and Manufacturing*. New Dehli: Prentice Hallo of India Publishing.

Schäfer, H. (2006): *Unternehmensinvestitionen: Grundzüge in Theorie und Management*. 2. Aufl. Heidelberg: Physica-Verlag von Springer.

Scheer, A. W.; Boczanski, M.; Muth, M.; Schmitz, W. G.; Segelbacher, U. (2006): *Prozessorientiertes Product Lifecycle Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

Scheffler, W. (2010): *Besteuerung von Unternehmen: Steuerplanung*. Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg: C. F. Müller Verlag.

Schenk, M.; Wirth, S.; Müller, E. (2014): *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag (VDI-Buch).

Schlag, Christian (2012): *Schnelles Internet – Breitbandkluft in Deutschland*. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Online verfügbar unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumentwicklung/RaumentwicklungDeutschland/Projekte/Archiv/Breitband/breitband_node.html, zuletzt geprüft am 23.03.2019.

Scholz, D. (2010): *Innerbetriebliche Standortplanung: Das Konzept der Slicing Trees bei der Optimierung von Layoutstrukturen*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Schreiber, W.; Zimmermann, P. (2011): *Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt - Technologien und Anwendungen*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Schuh, G.; Rozenfeld, H.; Assmus, Dirk; Zancul, E. (2008): *Process oriented framework to support PLM implementation*. In: *Computers in Industry* 59 (2-3), S. 210–218. DOI: 10.1016/j.compind.2007.06.015.

Schuh, G.; Stich, V. (2012): *Produktionsplanung und -steuerung 1: Grundlagen der PPS*. 4. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Verlag (VDI-Buch).

Schuh, G.; Stich, V. (2014): *Enterprise Integration: Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag (VDI-Buch).

Schulte, C. (2013): *Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain*. 6. Aufl. München: Vahlen Verlag.

Schulte, G. (2001): *Material- und Logistikmanagement*. München: Oldenbourg Verlag.

Schütz, A.: *Komplexität von IT-Architekturen. Konzeptualisierung, Quantifizierung, Planung und Kontrolle*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag.

Schwarz, T. (2015): *Big Data im Marketing: Chancen und Möglichkeiten für eine effektive Kundenansprache*. Freiburg, München: Haufe Verlag.

Shatat, A. S. (2015): Critical success factors in enterprise resource planning (ERP) system implementation: An exploratory study in Oman. In: *Electronic Journal of Information Systems Evaluation* 18 (1), S. 36.

Sherman, R. (2014): A Supply Chain Matters Guest Contribution. Hg. v. Ferrari Consulting Group. theferrarigroup.com. Online verfügbar unter <http://www.theferrarigroup.com/supply-chain-matters/2014/04/07/supply-chain-matters-guest-contribution-web-3-0-enables-the-smart-supply-chain-network/>, zuletzt geprüft am 02.02.2017.

Sprenger, F.; Engemann, C. (2015): *Internet der Dinge. Über smarte Objekte, intelligente Umgebungen und die technische Durchdringung der Welt*. Bielefeld: transcript Verlag.

Staab, S. (2002): Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten. In: *Informatik-Spektrum* 25 (3), S. 194–209.

Stanford University (2018): Protégé. Online verfügbar unter <https://protege.stanford.edu/>, zuletzt geprüft am 03.08.2018.

Stark, J. (2015a): *Product Lifecycle Management (Volume 1): 21st Century Paradigm for Product Realisation*. Cham: Springer International Publishing.

Stark, J. (2015b): *Product Lifecycle Management (Volume 2): The Devil is in the Details*. Cham: Springer International Publishing.

Stark, J. (2018): *Product Lifecycle Management (Volume 3): The Executive Summary*. Cham: Springer International Publishing.

Steiner, D. (2014): *Prozessorientierte Auswahl eines ERP-Systems: Ein Leitfaden für die Praxis*. Hamburg: Igel Verlag.

Stevens, R. (1998): *Systems Engineering: Coping with Complexity*. Hockley, Essex: Prentice Hall Publishing.

Su, Y.; Yang, C. (2010): Why are enterprise resource planning systems indispensable to supply chain management? In: *European Journal of Operational Research* 203 (1), S. 81–94. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.07.003.

- Sudarsan, R.; Fenves, S. J.; Sriram, R. D.; Wang, F. (2005): A product information modeling framework for product lifecycle management. In: *Computer-Aided Design* 37 (13), S. 1399–1411. DOI: 10.1016/j.cad.2005.02.010.
- Sun, H.; Ni, W.; Lam, R. (2015): A step-by-step performance assessment and improvement method for ERP implementation: Action case studies in Chinese companies. In: *Computers in Industry* 68, S. 40–52.
- Svejvig, P.; Møller, C. (2012): A Workshop about the Future of Enterprise Information Systems. In: C. Møller und S. Chaudhry (Hg.): *Re-conceptualizing Enterprise Information Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, S. 45–57.
- ISO/IEC/IEEE 15288:2015, 2015: Systems and software engineering - System life cycle processes. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/63711.html>, zuletzt geprüft am 24.03.2018.
- Thiede, C. (2009): PLM Architecture. Strategy to support one of the biggest acquisitions in the Automotive Supplier Industry. Vortrag. Automotive Systems Information Technology SL PLM Architecture. Continental, 2009.
- Tiemeyer, E. (2016): *Handbuch IT-Systemmanagement. Handlungsfelder, Prozesse, Managementinstrumente, Good-Practices*. München: Hanser Verlag.
- Tümmler, J.: Avatare in Echtzeitsimulationen. Dissertation. Universität Kassel. Universität Kassel. Online verfügbar unter <http://www.uni-kassel.de/upperess/online/frei/978-3-89958-291-8.volltext.frei.pdf>, zuletzt geprüft am 24.03.2019.
- Vahrenkamp, R.; Kotzab, H. (2012): *Logistik: Management und Strategien*. 7. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.
- Vathanophas, Vichita (2007): Business process approach towards an inter-organizational enterprise system. In: *Business Process Mgmt Journal* 13 (3), S. 433–450. DOI: 10.1108/14637150710752335.
- VDI 4499-1, 2008: VDI 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik - Grundlagen. Verein Deutscher Ingenieure. Norm. Berlin. Beuth Verlag GmbH.

VDI/VDE-Gesellschaft (2013): Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Hg. v. VDI/VDE-Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/technik/fachthemen/mess-und-automatisierungstechnik/fachbereiche/thesen-und-handlungsfelder/>, zuletzt geprüft am 24.03.2019.

Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. (2017): Handbuch Industrie 4.0 Bd.1. Produktion. 2. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg Verlag.

Wang, J. W.; Wang, H. F.; Ding, J. L.; Furuta, K.; Kanno, Taro; Ip, W. H.; Zhang, W. J. (2016): On domain modelling of the service system with its application to enterprise information systems. In: *Enterprise Information Systems* 10 (1), S. 1–16.

Wang, R. Y.; Strong, D. M. (2015): Beyond Accuracy. What Data Quality Means to Data Consumers. In: *Journal of Management Information Systems* 12 (4), S. 5–33. DOI: 10.1080/07421222.1996.11518099.

Weinert, K. (2005): Spanende Fertigung. Prozesse, Innovationen, Werkstoffe. 4. Aufl. Essen: Vulkan-Verlag.

welt (2013): Deutschland ist Spitzenreiter beim YouTube-Sperren. Hg. v. welt.de. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article113175744/Deutschland-ist-Spitzenreiter-beim-YouTube-Sperren.html>, zuletzt geprüft am 11.08.2017.

Werner, H. (2010): Supply Chain Management. Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Westkämper, E.; Spath, D.; Constantinescu, C.; Lentjes, J. (Hg.) (2013): Digitale Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg Verlag.

Wiesner, S.; Thoben, K.-D. (2017): Cyber-Physical Product-Service Systems. In: S. Biffel, A. Lüder und D. Gerhard (Hg.): *Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems: Data Models and Software Solutions for Handling Complex Engineering Projects*. Cham: Springer International Publishing, S. 63–88.

Wollert, J. (2016): Industrie 4.0–warten bis die Revolution vorbei ist? In: *Autom. im Fokus von Ind. 4.0 Tagungsband AALE 2016; 13. Fachkonferenz, Lübeck. München DIV Dtsch. Ind. GmbH*, S. 127–136.

World Wide Web Consortium (2017): Gremium zur Standardisierung der Techniken im World Wide Web. Hg. v. World Wide Web Consortium. Online verfügbar unter <https://www.w3.org/>, zuletzt geprüft am 19.09.2017.

Yeoh, W.; Koronios, A. (2010): Critical success factors for business intelligence systems. In: *Journal of computer information systems* 50 (3), S. 23–32.

Youyou, W.; Kosinski, M.; Stillwell, D. (2015): Computer-based personality judgments are more accurate than those made by humans. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112 (4), S. 1036–1040. DOI: 10.1073/pnas.1418680112.

Zäh, M. F.; Wunsch, G.; Hensel, T.; Lindworsky, A. (2006): Nutzen der virtuellen Inbetriebnahme. Ein Experiment. In: *ZWF* 101 (10), S. 595–599. DOI: 10.3139/104.101070.

Zetsche, D. (2016): Forschungsgipfel. Hg. v. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. Online verfügbar unter <http://www.forschungsgipfel.de/2016/diskurs>, zuletzt geprüft am 28.03.2017.

Zischg, K. (2013): *Praxishandbuch Investition*. 2. Aufl. Wien: Linde Verlag.

8 Anhang

Analytisches Verfahren

Der analytische Hierarchieprozess (AHP) dient der Ordnung beziehungsweise Gewichtung von Kriterien auf Basis einer mathematischen Grundlage. Durch die Methode findet eine Priorisierung der Kriterien statt, die benutzt werden um über die jeweiligen Alternativen zu entscheiden. Das Vorgehen des analytischen Hierarchieprozesses ist in 7 Schritte aufgeteilt:

Die *Fragestellung* ist der *1.Schritt*. Das Problem beziehungsweise die Leitfrage wird formuliert. Anschließend im *2.Schritt* werden die *Kriterien gesammelt und geordnet*. Dabei sollen alle Kriterien berücksichtigt werden die zur Lösung des Problems beitragen. Die Kriterien sollen im Anschluss hierarchisch nach Gruppen gegliedert werden. So entsteht eine Art Hierarchiebaum. Im *3.Schritt* werden verschiedene *Alternativen erstellt*, die das Problem lösen.

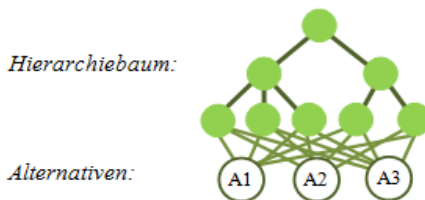


Abbildung 134: AHP Hierarchiebaum mit Alternativen

Der *Paarvergleich* ist der *4.Schritt*. Dabei werden alle *Kriterien*, die sich auf der gleichen Hierarchieebene befinden, miteinander verglichen. Die Anzahl der Vergleiche V lässt sich nach folgender Formel berechnen, wobei k die Anzahl der Kriterien sind:

Formel 12: AHP Anzahl der Vergleiche

$$V = 0,5 * k * (k - 1)$$

	K1	K2	K3	Σ	Anteil in %
K1		2	1	3	50 %
K2	0		2	2	33 %
K3	1	0		1	17 %

Legende:
 2 = wichtiger
 1 = gleich wichtig
 0 = unwichtiger

Abbildung 135: AHP Paarvergleich

Im 5.Schritt wird der *Paarvergleich* mit den *Alternativen* durchgeführt. Der Ablauf entspricht dem von Schritt 4. Die *Kriteriengewichtung* ist der 6.Schritt. Dabei werden diese entsprechend des Strukturbaums verrechnet. Die Verrechnung erfolgt analog der Verrechnungsweise bei der Nutzwertanalyse. Im letzten 7.Schritt ist die Reihenfolge der zu priorisierenden Alternative abzuleiten. Durch die vorherigen Schritte entsteht eine Rangfolge der Alternativen. Die vorteilhafteste Alternative löst das Problem nach dem analytischen Hierarchieprozess am besten.

Jedoch sollte absolute Vorteilhaftigkeit einer Alternative kritisch betrachtet werden, da die Alternativen bei dem analytischen Hierarchieprozess von den anderen Alternativen abhängig sind. Dieses Problem besteht aufgrund des Paarvergleiches, der diese in Beziehung zueinander setzt.

Nachfolgend ist die AHP-Anwendung für das Tool IT-Software Fitting dargestellt:

Analytisches Hierarchieverfahren ×

Das analytische Hierarchieverfahren

Bitte vergleichen Sie die nachfolgenden Kriterien nach Relevanz

		viel unwichtiger	unwichtiger	gleich wichtig	wichtiger	viel wichtiger	
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Softwareabhängigkeit</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Schnittstellen</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Systemstabilität</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Systemperformance</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Sicherheit</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Benutzerfreundliche</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Flexibilität</i>
<i>Hardwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Beschl. von Arbeitsabläufen</i>
<i>Softwareabhängigkeit</i>	ist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	wie <i>Schnittstellen</i>

Abbildung 136: AHP Vergleich der Kriterien der Effizienzanalyse

Aus den Vergleichsdaten können dann die anteiligen Gewichtungen errechnet werden.

Nr.	Kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Punkte	Prozent
1	Hardwareabhängigkeit		2	3	2	1	1	2	1	2	14	9,72
2	Softwareabhängigkeit	2		2	2	1	2	1	0	2	12	8,33
3	Schnittstellen	1	2		2	1	0	1	1	2	10	6,94
4	Systemstabilität	2	2	2		1	1	2	0	3	13	9,03
5	Systemperformance	3	3	3	3		2	3	2	4	23	15,97
6	Sicherheit	3	2	4	3	2		3	3	4	24	16,67
7	Benutzerfreundlichkeit	2	3	3	2	1	1		1	1	14	9,72
8	Flexibilität	3	4	3	4	2	1	3		4	24	16,67
9	Beschl. von Arbeitsabläufen	2	2	2	1	0	0	3	0		10	6,94
Total											144	100,00

Kriterium	Einzelgewichtung	anteilige Gewichtung
Hardwareabhängigkeit	115	12,71
Softwareabhängigkeit	116	12,82
Schnittstellen	103	11,38
Systemstabilität	109	12,04
Systemperformance	73	8,07
Sicherheit	72	7,96
Benutzerfreundlichkeit	110	12,15
Flexibilität	93	10,28
Beschl. von Arbeitsabläufen	114	12,60
Summe		100,00

Legende	Punkte
viel unwichtiger	0
unwichtiger	1
gleich wichtig	2
wichtiger	3
viel wichtiger	4

Abbildung 137: AHP Gewichtung der Kriterien der Effizienzanalyse

Vorlagenkatalog

PLM-Informationsklassifizierung

Tabelle 9: PLM IT-Systeme: Informationen Input und Output

FLOW OF DATA																															
i - Input	o - Output	3D-Printing	3D-Scanning	Computational Fluid Dynamics	Computer-Aided Design	Computer-Aided Engineering	Computer-Aided Manufacturing	Customer Information System	Electronic Design Automation	Enterprise Resource Planning	Manufacturing Execution System	Marketing Information System	Office Systeme	Product Data Management	Produktionsplanung und -steuerung	Supply Chain Management															
i/o - In- and Output																															
Construction Data	Bill of Materials																i	o	i	i/o	i/o	i/o	-	o	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	-
	CAD Model																i	o	i	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	i/o	-	-	i/o	-	-
	Construction Documents	-	o	-	i/o	i/o	i/o	i	o	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i/o	-															
	Construction Image Data	-	o	-	i/o	i/o	-	-	o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	-	-															
	Construction Movie Data	-	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-	-	-	i/o	-	-															
	Construction Vektor Data	i	o	i	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	i/o	-	-	i/o	-	-															
	Specifications	i	-	i	i/o	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	-															
	Technical Drawing Scans	-	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	i/o	i/o	i	i/o	-	-															
	Version Information	i	-	i	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	i/o	-	-	i/o	i/o	-															
Simulation Data	Mathematical Model	-	-	i/o	i	i/o	i/o	-	-	i/o	-	-	-	i/o	-	i/o															
	Model Geometry	-	o	i/o	i/o	i/o	i/o	-	i	i/o	-	-	-	i/o	-	i/o															
	Simulation Optimization	-	-	i/o	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-	i/o															
	Simulation Result Documents	-	-	o	o	o	i/o	-	o	i/o	-	-	i/o	i/o	-	i/o															
	Simulation Result Images	-	-	o	o	o	i/o	-	o	i/o	-	-	i/o	i/o	-	i/o															
	Simulation Result Movies	-	-	o	o	o	i/o	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o	-	i/o															
	Simulation Result Values	-	-	o	o	o	i/o	-	o	i/o	-	-	i	i/o	-	i/o															
	Simulation Scenarios	-	-	i/o	i	i/o	i/o	-	i	i/o	-	-	i/o	i/o	-	i/o															
Production Data	Capacity Utilization	o	-	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-															
	Downtime	o	o	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-															
	Energy Consumption	o	o	-	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o	-	-	-	-	-															
	Machine Status	o	o	-	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o	-	-	-	-	-															
	Material Consumption	o	-	-	-	-	i/o	-	o	i/o	i/o	-	-	-	-	-															
	Order Status	i/o	-	-	-	-	-	i	-	i/o	i/o	i/o	-	-	i/o	-															
	Processing Time	o	-	-	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-															
	Quality Analysis	o	o	-	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o	-	-	-	-	i/o															
	Scrap Rate	o	-	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-															
	Sensor Data	o	i	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	-	i/o	-	-	-															
	Setting Data	i	i/o	-	-	-	i/o	-	o	i/o	i/o	-	i/o	-	-	-															
	Tool Lists	o	-	-	-	-	o	-	o	i/o	i/o	-	-	-	-	i/o															
	Uptime	o	o	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	-	-	-	i/o	-															
Commercial Data	Contracts	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i/o	i															
	Controlling Data	-	-	-	-	-	-	o	-	i/o	-	i/o	i/o	-	-	i/o															
	Correspondence Data	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	i/o	i/o	-	-	i/o															

	Finance Data	-	-	-	-	-	-	i	-	i/o	-	i/o	i/o	-	i/o	i	
	Human Resource Data	-	-	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	i/o	-	-	-	i	
	Invoices	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	
	Legal Documents	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	i/o	i/o	-	-	i	
	Offers	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	i/o	i/o	-	i/o	i	
	Office Documents	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	
	Process Data	i/o	-	-	-	i/o	i/o	i	-	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	
	Purchasing Data	-	-	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	-	i	
	Quality Management Data	-	-	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	i/o	-	-	i	
	Sales Data	-	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	i/o	-	-	i/o	i
	Stock Data	-	-	-	-	-	-	-	-	i/o	i/o	i/o	-	i/o	i/o	i/o	i
	Strategy Documents	-	-	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	i/o	-	-	-	i
	Supply Chain Data	-	-	-	-	-	-	-	i	-	i/o	i/o	i/o	-	-	i/o	i
	Customer Data	Customer Action History	-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	i/o	-	-	i/o
Customer Bank Account Information		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	-	-	-	i/o	
Customer Contact History		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	-	-	-	i/o	
Customer Contract Data		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o
Customer Master Data		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	i/o	-	-	-	i/o
Customer Meeting Minutes		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	i/o	-	-	-	-
Customer Order Data		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	i/o	-	-	i/o	i/o
Customer Related Images		-	-	-	-	-	-	i/o	-	i/o	-	-	-	-	-	-	-

Die Tabelle 9 dient nur als Vorlage und Basis für die Modellierung. Jedes Unternehmen verwaltet unterschiedliche Daten. Zudem beinhalten die Systemlösungen der verschiedenen IT-Systemanbieter unterschiedliche Systemmodule und branchenspezifische Ausrichtungen.

Digitale Fabrik-Informationsklassifizierung

Analog zu den PLM-Systemen wird nachfolgend eine Grundlage für die Modellierung der Tools der Digitalen Fabrik vorgeschlagen. Die Grundlagen sind in Kapitel 2.3 aufgeführt.

Tabelle 10: Digitale Fabrik IT-Systeme: Informationen Input und Output

	FLOW OF DATA			Layoutplanung	Montageplanung	Logistikplanung	Ergonomieuntersuchung	Virtuelle Inbetriebnahme	Robotik	Anlagenplanung
	i - Input									
	o - Output									
	i/o - In- and Output									
Bill of Materials	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o

Construction Data	CAD Model	i/o	i/o	i/o	i/o	i	i/o	i/o
	Construction Documents	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o
	Construction Image Data		o		i/o	o	o	o
	Construction Movie Data		o		o	o	o	o
	Construction Vektor Data			i/o	i/o	i	i	o
	Specifications	i/o	i/o	i/o	o	i/o	i/o	i/o
	Technical Drawing Scans	i	i	i/o		i		i/o
	Version Information	i/o	i/o	i/o	o		i/o	i/o
Simulation Data	Mathematical Model	o	i/o	i/o	i/o	i	i/o	i/o
	Model Geometry	i	i/o	i/o	i/o	i	i/o	i/o
	Simulation Optimization	o	o	i/o	i/o	o	o	i/o
	Simulation Result Documents	o	o	o	i/o	o	o	o
	Simulation Result Images	o	o	o	o	o	o	o
	Simulation Result Movies	o	o	o	o	o	o	o
	Simulation Result Values	o	o	o	o	o	o	o
	Simulation Scenarios	i/o	o	i/o	o	o	o	o
Production Data	Capacity Utilization			i/o	i/o	i		i/o
	Downtime			i/o		i/o	o	i/o
	Energy Consumption	i/o		i/o				i/o
	Machine Status			i/o	i/o	i	i/o	i/o
	Material Consumption			i/o	i/o	i		o
	Order Status			i/o	i/o		i/o	i/o
	Processing Time			i/o	i/o	i/o	i/o	i/o
	Quality Analysis		o	i/o	o	o	o	
	Scrap Rate		o	i/o	o		o	o
	Sensor Data	i	i	I			i/o	i/o
	Setting Data	i	i	i/o	i/o		i/o	i/o
	Tool Lists		i/o	i/o		i	i/o	i/o
Uptime		i/o	i/o		i/o	i/o	i/o	
Commercial Data	Contracts							
	Controlling Data							
	Correspondence Data							

	Finance Data							
	Human Resource Data	i/o		i/o	i/o		i/o	
	Invoices							
	Legal Documents							
	Offers							
	Office Documents							
	Process Data	i/o	i/o	i/o	i/o		i/o	
	Purchasing Data							
	Quality Management Data	i/o		o			o	
	Sales Data							
	Stock Data			o				
	Strategy Documents							
Supply Chain Data	i/o		i/o			i/o		
Customer Data	Customer Action History					i		i
	Customer Bank Account Information							
	Customer Contact History							
	Customer Contract Data							
	Customer Master Data					i		i
	Customer Meeting Minutes							
	Customer Order Data			i/o		i		
Customer Related Images								

Cyber Physische Systeme-Informationsklassifizierung

Durch die Einbindung von Cyber Physischen Systemen können Assets (Maschinen, Förderfahrzeuge, etc.) in die vernetzte Unternehmensumgebung eingebunden werden. Durch Sensoren und Aktoren können auch bestehende „Dinge“ im Unternehmen nachträglich an das Netzwerk angebunden werden. Die Grundlagen von CPS sind in Kapitel 2.4.2 näher erläutert. Nachfolgend wird der Dateninput und output für ausgewählte Assets als Modellierungsgrundlage vorgeschlagen.

Tabelle 11: Cyber Physische Systeme: Informationen Input und Output

	FLOW OF DATA		Portalfräse	Fahrerloses Transportsystem	Montagetische	Roboter
	i - Input					
	o - Output					
	i/o - In- and Output					
Construction Data	Bill of Materials				i/o	
	CAD Model					
	Construction Documents				i/o	
	Construction Image Data				i/o	
	Construction Movie Data				i/o	
	Construction Vektor Data					
	Specifications				i/o	
	Technical Drawing Scans				i/o	
	Version Information				i/o	
Simulation Data	Mathematical Model					
	Model Geometry					
	Simulation Optimization					
	Simulation Result Documents					
	Simulation Result Images					
	Simulation Result Movies					
	Simulation Result Values					
	Simulation Scenarios					
Production Data	Capacity Utilization	o	o	o	o	o
	Downtime	o	o	o	o	o
	Energy Consumption	o	o		o	o
	Machine Status	o	o			o
	Material Consumption	o				
	Order Status	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o
	Processing Time	o	o	o	o	o
	Quality Analysis	o				
	Scrap Rate	o			o	o
	Sensor Data	i/o	i/o	i/o	i/o	i/o

	Setting Data	i	i	i	i
	Tool Lists	i			
	Uptime	o	o	o	o
Commercial Data	Contracts				
	Controlling Data				
	Correspondence Data				
	Finance Data				
	Human Resource Data			i/o	
	Invoices				
	Legal Documents				
	Offers				
	Office Documents				
	Process Data	i/o	i/o	i/o	i/o
	Purchasing Data				
	Quality Management Data				
	Sales Data				
	Stock Data				
Strategy Documents					
Supply Chain Data					
Customer Data	Customer Action History				
	Customer Bank Account Information				
	Customer Contact History				
	Customer Contract Data				
	Customer Master Data			i	
	Customer Meeting Minutes				
	Customer Order Data	i	i	i	i
	Customer Related Images				