

Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus generieren heute einen signifikanten Anteil ihres Umsatzes und Gewinns mit produktbegleitenden Dienstleistungen. Weiterhin sind sie mit der Herausforderung konfrontiert, die digitale Transformation ihres Unternehmens zu gestalten. Eines der wichtigsten Konzepte der Industrie 4.0 ist der Digitale Schatten. Er kann als das hinreichend genaue, digitale Abbild des Unternehmens in Echtzeit definiert werden. Der Digitale Schatten fungiert folglich als übergeordnete Datenbank, die sämtliche relevanten Ereignisse im Unternehmen strukturiert aufnimmt. Damit leistet der Digitale Schatten einen wichtigen Beitrag dazu, vorhandene Datensilos in Unternehmen aufzubrechen und eine verlässliche Datenbasis für eine Vielzahl darauf aufbauender, rollenspezifischer Applikationen zu schaffen.

Folglich besteht das übergeordnete Ziel der Arbeit darin, Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus dazu zu befähigen, einen Digitalen Schatten für ihre Dienstleistungen einzuführen. Hierzu wird auf Basis einer fallstudienbasierten Untersuchung zunächst eruiert, wie Instandhaltungsdienstleistungen als Basis für einen Digitalen Schatten zu modellieren sind. Anschließend wird ein Datenmodell entwickelt, das als Grundlage für eine Datenbank dienen kann.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein Prozessbaukasten. Dieser beinhaltet sämtliche Prozessmodule, die in einer Instandhaltungsdienstleistung auftreten können. Aus der individuellen Konfiguration der Prozessmodule kann ein unternehmensindividuelles Datenmodell für den Digitalen Schatten der Instandhaltungsdienstleistungen bestimmt werden. Um die Anwendung dieses Prozessbaukastens und die anschließende Einführung des Digitalen Schattens zu unterstützen, besteht ein weiteres Ergebnis der Arbeit in einer Vorgehensweise zur Einführung eines Digitalen Schattens.



Tobias Harland

## Gestaltung des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau



Herausgeber:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh



Gestaltung des Digitalen Schattens  
für Instandhaltungsdienstleistungen  
im Maschinen- und Anlagenbau

Design of the Digital Shadow  
for Maintenance Services of Equipment Manufacturers

Von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Tobias Harland

**Berichter:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh  
Außerplanmäßiger Professor Dr.-Ing. Volker Stich

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Dezember 2018



# SCHRIFTENREIHE RATIONALISIERUNG

**Tobias Harland**

Gestaltung des Digitalen Schattens  
für Instandhaltungsdienstleistungen  
im Maschinen- und Anlagenbau

**Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh

Band 160

***fir***  an der  
**RWTH Aachen**

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Tobias Harland:

Gestaltung des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen  
im Maschinen- und Anlagenbau

1. Auflage, 2019

Apprimus Verlag, Aachen, 2019  
Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien  
an der RWTH Aachen  
Steinbachstr. 25, 52074 Aachen  
Internet: [www.apprimus-verlag.de](http://www.apprimus-verlag.de), E-Mail: [info@apprimus-verlag.de](mailto:info@apprimus-verlag.de)

ISBN 978-3-86359-697-2

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2018)

*Für  
meine Familie*





## Gestaltung des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau

### **Zusammenfassung**

Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus generieren heute einen signifikanten Anteil ihres Umsatzes und Gewinns mit produktbegleitenden Dienstleistungen. Weiterhin sind sie mit der Herausforderung konfrontiert, die digitale Transformation ihres Unternehmens zu gestalten. Eines der wichtigsten Konzepte der Industrie 4.0 ist der Digitale Schatten. Er kann als das hinreichend genaue, digitale Abbild des Unternehmens in Echtzeit definiert werden. Der Digitale Schatten fungiert folglich als übergeordnete Datenbank, die sämtliche relevanten Ereignisse im Unternehmen strukturiert aufnimmt. Damit leistet der Digitale Schatten einen wichtigen Beitrag dazu, vorhandene Datensilos in Unternehmen aufzubrechen und eine verlässliche Datenbasis für eine Vielzahl darauf aufbauender, rollenspezifischer Applikationen zu schaffen.

Folglich besteht das übergeordnete Ziel der Arbeit darin, Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus dazu zu befähigen, einen Digitalen Schatten für ihre Dienstleistungen einzuführen. Hierzu wird auf Basis einer fallstudienbasierten Untersuchung zunächst eruiert, wie Instandhaltungsdienstleistungen als Basis für einen Digitalen Schatten zu modellieren sind. Anschließend wird ein Datenmodell entwickelt, das als Grundlage für eine Datenbank dienen kann.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein Prozessbaukasten. Dieser beinhaltet sämtliche Prozessmodule, die in einer Instandhaltungsdienstleistung auftreten können. Aus der individuellen Konfiguration der Prozessmodule kann ein unternehmensindividuelles Datenmodell für den Digitalen Schatten der Instandhaltungsdienstleistungen bestimmt werden. Um die Anwendung dieses Prozessbaukastens und die anschließende Einführung des Digitalen Schattens zu unterstützen, besteht ein weiteres Ergebnis der Arbeit in einer Vorgehensweise zur Einführung eines Digitalen Schattens.



## Design of the Digital Shadow for Maintenance Services of Equipment Manufacturers

### **Abstract**

Equipment manufacturers today generate a significant share of their sales and profits with value-added services for their products. Furthermore, they are confronted with the challenge to design the digital transformation of their company. One of the most important concepts in the Industrie 4.0 is the Digital Shadow. It can be defined as the sufficiently precise, digital image of the company in real-time. The Digital Shadow thus functions as a superordinate database that records all relevant events in the company in a structured manner. In this way, the digital shadow makes an important contribution to breaking up existing data silos in companies and creating a reliable data basis for many role-specific applications based on it.

Consequently, the overall objective of the present work is to enable equipment manufacturers to introduce a digital shadow for their services. To this end, a case study research will first be conducted to determine how maintenance services can be modeled as the basis for a digital shadow. Then a data model is developed that can serve as a foundation for a database.

The result of this work is a modular kit of processes. This includes all process modules that can occur in a maintenance service. From the individual configuration of the process modules, a company-specific data model for the digital shadow of maintenance services can be determined. To support the application of this modular kit of processes and the subsequent introduction of the digital shadow. Another result of the present work is a procedure for the introduction of a digital shadow.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1	Motivation .....	3
1.2	Zielsetzung .....	5
1.3	Forschungskonzeption & Aufbau der Arbeit .....	7
<b>2</b>	<b>Begriffliche Grundlagen und Eingrenzung des Untersuchungsbereichs</b> .....	<b>11</b>
2.1.1	Digitaler Schatten .....	11
2.1.2	Industrielle Dienstleistungen .....	12
2.1.3	Instandhaltung .....	15
2.1.4	Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland .....	18
2.1.5	Informationen und Informationssysteme .....	20
2.1.6	(Geschäfts-)Prozesse .....	23
2.1.7	Zusammenfassung: Eingrenzung des Betrachtungsbereichs .....	24
<b>3</b>	<b>Gestaltung des Digitalen Schattens - Status quo in Forschung und Technik</b> .....	<b>27</b>
3.1	Status quo in der Forschung .....	27
3.1.1	Anforderungen .....	27
3.1.2	Vorarbeiten zum Digitalen Schatten .....	28
3.1.3	Vorarbeiten zur Modellierung von industriellen Dienstleistungen .....	31
3.1.4	Vorarbeiten für Daten- und Informationsmodelle von Dienstleistungen .....	39
3.1.5	Zwischenfazit: Ableitung des resultierenden Forschungsbedarfs .....	48
3.2	Erfassungstechnologien für den Digitalen Schatten .....	50
3.2.1	Klassifizierung der Technologien .....	51
3.2.2	Beschreibung der Technologien .....	52
3.2.3	Bewertung der Technologien .....	64
3.3	Systemarchitekturen für den Digitalen Schatten .....	69
3.3.1	Beschreibung der Systemarchitekturen .....	69
3.3.2	Vergleich der Systemarchitekturen .....	76
<b>4</b>	<b>Theoretische Bezugspunkte und Konzepte</b> .....	<b>79</b>
4.1	Case Study Research .....	79
4.2	Vorgehensweise zur Entwicklung des Referenzmodells .....	82
4.3	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung .....	84
4.4	Auswahl der Modellierungstechnik und des -werkzeugs .....	86
4.4.1	Prozessmodellierung .....	88
4.4.2	Datenmodellierung .....	91
<b>5</b>	<b>Konzeptionierung des Digitalen Schattens</b> .....	<b>93</b>
5.1	Modellierungsebenen des Digitalen Schattens von Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau .....	93

5.1.1	Modellierungsebenen des Systems <i>Digitaler Schatten</i> .....	93
5.1.2	Modellierungsebenen der Instandhaltungsdienstleistung.....	97
5.1.3	Konsolidierung des Modellrahmens .....	102
5.2	Erhebung der Referenzprozessmodule von Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau .....	103
5.2.1	Auswahl der Fallstudien .....	106
5.2.2	Aufnahme und Analyse der Fallstudien.....	108
5.2.3	Referenzprozessmodule des Prozessbaukastens .....	110
<b>6</b>	<b>Detaillierung des Referenzmodells für den Digitalen Schatten.....</b>	<b>121</b>
6.1	Datenmodell des Digitalen Schattens .....	121
6.1.1	Dimension <i>Prozesse</i> .....	124
6.1.2	Dimension <i>Ressourcen</i> .....	125
6.1.3	Dimension <i>Ergebnisse</i> .....	127
6.1.4	Dimension <i>Dokumente</i> .....	127
6.1.5	Konsolidierung des Datenmodells.....	128
6.2	Informationsbedarfe in Serviceorganisationen .....	131
6.2.1	Strategie.....	135
6.2.2	Leistungsprogramm .....	136
6.2.3	Aufbau- und Ablauforganisation.....	138
6.2.4	Auftragsabwicklung .....	140
6.2.5	Kontinuierliche Verbesserung .....	141
6.2.6	Prüfung der Datenverfügbarkeit .....	143
6.3	Systeme und Technologien zur Erfassung der Daten des Digitalen Schattens .....	147
6.3.1	Szenario 1: Aufnahme von Stammdaten.....	148
6.3.2	Szenario 2: Aufnahme von Prozessergebnissen.....	150
6.3.3	Szenario 3: Identifikation von Objekten .....	152
6.3.4	Szenario 4: Anmeldung und Bestätigung von Prozessschritten ...	153
6.3.5	Szenario 5: Workflow .....	154
6.3.6	Konsolidierung .....	156
6.4	Formale Prüfung des Modells anhand der Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung.....	158
<b>7</b>	<b>Einführung des Digitalen Schattens .....</b>	<b>161</b>
7.1	Konzeptionierung der Vorgehensweise.....	161
7.2	Anwendung und Validierung der Vorgehensweise .....	164
7.2.1	Schritt 1: Prozessanalyse.....	164
7.2.2	Schritt 2: Entwurf des Datenmodells .....	167
7.2.3	Schritt 3: Technische Implementierung .....	173
7.2.4	Schritt 4: Nutzung des Digitalen Schattens .....	179
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>183</b>
8.1	Zusammenfassung und kritische Reflexion der Ergebnisse.....	183

---

8.2	Ausblick auf weitere Forschungs- und Entwicklungsbedarfe.....	185
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>187</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>201</b>
10.1	Dokumentation des Referenzmodells .....	201
10.2	Aufnahme und Analyse der Fallstudien .....	228
10.3	Analyse Informationsbedarfe, Daten & Erfassungstechnologien.....	269
10.4	Interviews und Validierungsgespräche.....	280
10.4.1	Aufnahme der Fallstudien .....	280
10.4.2	Fokusgruppeninterviews zu Aufgaben im Service- und Instandhaltungsmanagement .....	280
10.4.3	Abschließende Validierungsgespräche .....	281

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Beispieldaten zu Auftragsstart und -ende eines industriellen Dienstleisters (eigene Analyse) .....	4
Abbildung 1-2: <i>acatech Industrie 4.0 Maturity Index</i> (SCHUH ET AL. 2017a, S. 16) .....	6
Abbildung 1-3: Zielsetzung der Arbeit (eigene Darstellung) .....	7
Abbildung 1-4: Forschungskonzeption nach ULRICH ET AL. (1984, S. 193) und Aufbau der Arbeit .....	9
Abbildung 2-1: Gütersystematik (CORSTEN U. GÖSSINGER 2007, S. 20) .....	12
Abbildung 2-2: Charakteristische Merkmale von Dienstleistungen (eigene Darstellung) .....	14
Abbildung 2-3: Idealtypische Systematisierung von Serviceleistungen (ENGELHARDT U. RECKENFELDERBÄUMER 2006, S. 222) .....	15
Abbildung 2-4: Instandhaltungsarten nach DIN 13306 (DIN EN 13306, S. 23) .....	17
Abbildung 2-5: Typologie nach Fertigungsart und Erzeugnisstruktur (BELZ ET AL. 1997, S. 37) .....	20
Abbildung 2-6: Beziehung zwischen Zeichen, Daten, Information und Wissen (KRCMAR 2015a, S. 4) .....	21
Abbildung 2-7: Komponenten eines Informationssystems (s. ABTS U. MÜLDER 2017, S. 15) .....	22
Abbildung 2-8: Eingrenzung der Arbeit (eigene Darstellung) .....	25
Abbildung 3-1: Migrationspfad zum Digitalen Schatten (s. BAUERNHANSL ET AL. 2017, S. 30) .....	30
Abbildung 3-2: Prinzipien der Produktionsfaktorkombination bei der Dienstleistungsproduktion (MALERI U. FRIETZSCHE 2008, S. 93) .....	32
Abbildung 3-3: Integrative Leistungserstellung (KLEINALTENKAMP 1997, S. 351) .....	33
Abbildung 3-4: Grundmodell der Dienstleistungsproduktion (CORSTEN U. GÖSSINGER 2007, S. 130) .....	35
Abbildung 3-5: Serviceproduktion (AMBERG ET AL. 2011, S. 91) .....	36
Abbildung 3-6: Ordnungsrahmen des Referenzmodells (GAJEWSKI 2004, S. 81) .....	38
Abbildung 3-7: Ordnungsrahmen des Service-Referenzmodells (KALLENBERG 2002, S. 97) .....	39
Abbildung 3-8: Servicemanagement-Pyramide (BECKER U. NEUMANN 2006, S. 628) .....	41
Abbildung 3-9: Informationsbedarfe im generalisierten Instandhaltungsprozess (s. DAEUBLE ET AL. 2015, S. 1022) .....	42



---

Abbildung 3-10: Eingabe-/Ausgabe-Dokumente in der Instandhaltung (Auszug) (DIN EN 13460, S. 25).....	44
Abbildung 3-11: <i>Overview of activity types in ASFS networks</i> (HERTZ ET AL. 2012)..	46
Abbildung 3-12: <i>Assistance processes: definition and metrics</i> (LEGNANI ET AL. 2007, S. 294) .....	47
Abbildung 3-13 Abgeleitete TechnologiELandschaft der Auto-ID-Systeme (i. A. a. MARTIN 2016, S. 522).....	52
Abbildung 3-14: Übersicht optischer Codierungsstrukturen mit beispielhaften Codearten (i. A. a. MARTIN 2016, S. 524).....	52
Abbildung 3-15: Aufbau von Barcodes (eigene Darstellung i. A. a. OVERMEYER 2014, S. U106) .....	53
Abbildung 3-16: Eigenschaften ausgewählter Barcodes (OVERMEYER 2014, S. U107) .....	54
Abbildung 3-17: <i>The New Technology Stack</i> (PORTER U. HEPPELMANN 2014, S. 70) 70	
Abbildung 3-18: Schichtenmodell: Digitale Infrastrukturen (ARBEITSKREIS SMART SERVICE WELT / ACATECH (HRSG.) 2015, S. 17).....	71
Abbildung 3-19: <i>The Architected Environment</i> (INMON 2005, S. 16).....	72
Abbildung 3-20: <i>The Big Data Stack</i> (DAVENPORT U. DYCHÉ 2013, S. 10).....	74
Abbildung 3-21: <i>Big data and data warehouse coexistence</i> (DAVENPORT U. DYCHÉ 2013, S. 21).....	74
Abbildung 3-22: ‚Internet of Production‘-Infrastruktur (SCHUH ET AL. 2017b, S. 121). 75	
Abbildung 3-23: Vergleich möglicher Systemarchitekturen für den Digitalen Schatten 1/3 .....	76
Abbildung 3-24: Vergleich möglicher Systemarchitekturen für den Digitalen Schatten 2/3 .....	77
Abbildung 3-25: Vergleich möglicher Systemarchitekturen für den Digitalen Schatten 3/3 .....	77
Abbildung 4-1: Mengentheoretische Illustration des Referenzmodellbegriffs (THOMAS 2006, S. 14).....	82
Abbildung 4-2: Vorgehensmodell zur Referenzmodellbildung (SCHÜTTE 1998, S. 185) .....	83
Abbildung 4-3: Metamodellierung (GEHRING 1998 zitiert nach GADATSCH 2017, S. 83) .....	86
Abbildung 4-4: ARIS-Haus mit Phasenkonzept (SCHEER 2002, S. 41) .....	88
Abbildung 4-5: Modellierungsmethoden im Vergleich – Notation (GADATSCH 2017, S. 128) .....	89

Abbildung 4-6: Grundform der „erweiterten“ EPK (SEIDLMEIER 2015, S. 28).....	90
Abbildung 5-1: Systemarchitektur für den Digitalen Schatten.....	94
Abbildung 5-2: Vergleich der Modelle industrieller Dienstleistungen 1/3 .....	100
Abbildung 5-3: Vergleich der Modelle industrieller Dienstleistungen 2/3 .....	101
Abbildung 5-4: Vergleich der Modelle industrieller Dienstleistungen 3/3 .....	102
Abbildung 5-5: Modellrahmen für den Digitalen Schatten.....	103
Abbildung 5-6: Übersicht über bestehende Ansätze zur detaillierten Beschreibung von Instandhaltungsdienstleistungen (eigene Darstellung) .....	105
Abbildung 5-7: Übersicht über untersuchte Fallstudien .....	106
Abbildung 5-8: Ableitung und Weiterentwicklung des Prozessbaukastens auf Basis der Fallstudien (eigene Darstellung) .....	109
Abbildung 5-9: Befüllung des Prozessbaukastens über die Fallstudien .....	110
Abbildung 5-10: Übersicht über die Module des Prozessbaukastens.....	111
Abbildung 5-11: Anzahl Zuordnungen je Referenzprozessmodul.....	118
Abbildung 5-12: Abgleich der Referenzprozessmodule mit bestehenden Ansätzen (eigene Darstellung) .....	120
Abbildung 6-1: Zusammenspiel von Digitalem Schatten und Anwendungssystemen am Beispiel des Modulettauschs .....	122
Abbildung 6-2: Zuordnung von Entitätstypen zu Referenzprozessmodulen (Beispiel) .....	123
Abbildung 6-3: <i>Standard transactional life-cycle model</i> (VAN DER AALST 2016, S. 131) .....	125
Abbildung 6-4: Datenmodell des Digitalen Schattens als eERM .....	129
Abbildung 6-5: Auszug aus dem Digitalen Schatten einer Serviceorganisation.....	130
Abbildung 6-6: Attributszuordnungsdiagramm für den Entitätstyp <i>Serviceobjekt</i> ....	131
Abbildung 6-7: Aachener Lean-Services-Zyklus (STÜER 2015, S. 120).....	132
Abbildung 6-8: Aufgaben und Informationsbedarfe im Themenfeld <i>Strategie</i> .....	135
Abbildung 6-9: Aufgaben und Informationsbedarfe im Themenfeld <i>Leistungsprogramm</i> .....	137
Abbildung 6-10: Aufgaben und Informationsbedarfe im Themenfeld <i>Aufbau- und Ablauforganisation</i> .....	138
Abbildung 6-11: Aufgaben und Informationsbedarfe im Themenfeld <i>Auftragsabwicklung</i> .....	140
Abbildung 6-12: Aufgaben und Informationsbedarfe im Themenfeld <i>Kontinuierliche Verbesserung</i> .....	142

---

Abbildung 6-13: Daten aus dem Digitalen Schatten zur Bestimmung von Leistungskenngrößen hinsichtlich Kosten (Beispiel).....	144
Abbildung 6-14: Anteil des gedeckten Informationsbedarfs im Servicemanagement durch den Digitalen Schatten.....	145
Abbildung 6-15: Übersicht über mögliche Szenarien zur Erfassung der Daten des Digitalen Schattens.....	147
Abbildung 6-16: Datenerfassungskonzept für den Digitalen Schatten.....	156
Abbildung 6-17: Verteilung der Szenarien zur Datenerfassung.....	157
Abbildung 7-1: Vorgehensweise im Business Engineering (ÖSTERLE 1995, S. 23) und Arbeitsschritte zur Einführung des Digitalen Schattens.....	162
Abbildung 7-2: Liste der Prozessschritte bei der InfraServ Knapsack (Auszug).....	165
Abbildung 7-3: Abgleich der Prozessschritte mit den Prozessmodulen des Referenzmodells (Auszug).....	166
Abbildung 7-4: Auszug aus dem Prozess der InfraServ Knapsack.....	167
Abbildung 7-5: Eliminieren und Ergänzen von Entitätstypen (Auszug).....	168
Abbildung 7-6: Datenmodell der InfraServ Knapsack.....	169
Abbildung 7-7: Usecases und Informationsbedarfe für die InfraServ Knapsack.....	170
Abbildung 7-8: Definition der Schlüsselattribute (Auszug).....	171
Abbildung 7-9: Zuordnung von Informationsbedarfen zu Attributen.....	172
Abbildung 7-10: Attributzuordnungsdiagramm aus dem Referenzmodell für den Entitätstyp <i>Ressource: Mitarbeiter</i> .....	172
Abbildung 7-11: Mögliche Systemarchitektur der InfraServ Knapsack.....	175
Abbildung 7-12: Fixe Workflows und Ad-hoc Workflows.....	176
Abbildung 7-13: Review-Formblatt mit beispielhaften Inhalten.....	181
Abbildung 10-1: Prozessbaukasten des Referenzmodells.....	201
Abbildung 10-2: Prozessmodul <i>Anfrage/Auftrag erfassen</i> .....	202
Abbildung 10-3: Prozessmodul <i>Anfrage/Auftrag technisch klären</i> .....	202
Abbildung 10-4: Prozessmodul <i>Angebot erstellen</i> .....	203
Abbildung 10-5: Prozessmodul <i>Ressourcen disponieren</i> .....	203
Abbildung 10-6: Prozessmodul <i>Auftrag vorbereiten</i> .....	204
Abbildung 10-7: Prozessmodul <i>Problem remote lösen</i> .....	204
Abbildung 10-8: Prozessmodul <i>Termin abstimmen</i> .....	205
Abbildung 10-9: Prozessmodul <i>Werkzeug versenden</i> .....	205
Abbildung 10-10: Prozessmodul <i>Zu Kunden/Servicestützpunkt fahren</i> .....	205

Abbildung 10-11: Prozessmodul <i>Zu Kunden/Servicestützpunkt reisen</i> .....	206
Abbildung 10-12: Prozessmodul <i>Vor Ort anmelden</i> .....	206
Abbildung 10-13: Prozessmodul <i>Gefährdung beurteilen</i> .....	206
Abbildung 10-14: Prozessmodul <i>Equipment rüsten</i> .....	207
Abbildung 10-15: Prozessmodul <i>Freigabe erhalten</i> .....	207
Abbildung 10-16: Prozessmodul <i>Serviceobjekt identifizieren</i> .....	207
Abbildung 10-17: Prozessmodul <i>Fehler identifizieren</i> .....	208
Abbildung 10-18: Prozessmodul <i>Funktion prüfen</i> .....	208
Abbildung 10-19: Prozessmodul <i>Modul prüfen</i> .....	209
Abbildung 10-20: Prozessmodul <i>Ressourcenverfügbarkeit prüfen</i> .....	209
Abbildung 10-21: Prozessmodul <i>Modul reinigen</i> .....	210
Abbildung 10-22: Prozessmodul <i>Modul demontieren</i> .....	210
Abbildung 10-23: Prozessmodul <i>Modul instand setzen (vor Ort)</i> .....	211
Abbildung 10-24: Prozessmodul <i>Modul instand setzen (Werkstatt)</i> .....	211
Abbildung 10-25: Prozessmodul <i>Modul montieren</i> .....	211
Abbildung 10-26: Prozessmodul <i>Modul versenden</i> .....	212
Abbildung 10-27: Prozessmodul <i>Arbeiten dokumentieren</i> .....	212
Abbildung 10-28: Prozessmodul <i>Auftrag abrechnen</i> .....	213
Abbildung 10-29: Prozessmodul <i>Auftrag vor Ort abschließen</i> .....	213
Abbildung 10-30: Datenmodell des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen .....	214
Abbildung 10-31: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Auftrag</i> .....	215
Abbildung 10-32: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ereignis</i> .....	215
Abbildung 10-33: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Prozess</i> .....	215
Abbildung 10-34: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Prozessmodul</i> .....	216
Abbildung 10-35: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Status</i> .....	216
Abbildung 10-36: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Mitarbeiter</i> .....	217
Abbildung 10-37: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Werkzeug</i> .....	217
Abbildung 10-38: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Fahrzeug</i> .....	217
Abbildung 10-39: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Mitarbeiter</i> Kunde .....	218

---

Abbildung 10-40: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Serviceobjekt</i> .....	218
Abbildung 10-41: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Werkstatt</i>	218
Abbildung 10-42: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Plan/CAD-Modell</i> .....	219
Abbildung 10-43: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Modul</i> ....	219
Abbildung 10-44: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Neumodul</i> .....	219
Abbildung 10-45: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ressource: Externer Dienstleister</i> .....	220
Abbildung 10-46: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Kunde</i> .....	221
Abbildung 10-47: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Serviceobjekt</i> .....	221
Abbildung 10-48: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Maschinenparameter</i> .....	221
Abbildung 10-49: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Störung</i> .....	222
Abbildung 10-50: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Modul</i> .....	222
Abbildung 10-51: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Zustand des Moduls</i> .....	222
Abbildung 10-52: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Mitarbeiter</i>	223
Abbildung 10-53: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Werkzeug</i> .	223
Abbildung 10-54: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Externer Dienstleister</i> .....	223
Abbildung 10-55: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Neumodul</i> .	224
Abbildung 10-56: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Verfügbarkeit</i> .....	224
Abbildung 10-57: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Fahrzeug</i> ..	224
Abbildung 10-58: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Leistung</i> ....	225
Abbildung 10-59: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Starttermin (Plan)</i> .....	225
Abbildung 10-60: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Ergebnis: Endtermin (Plan)</i> .....	225
Abbildung 10-61: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Dokument: Servicebericht</i> .....	226
Abbildung 10-62: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Dokument: Checkliste</i> .....	226

---

Abbildung 10-63: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Dokument: Freigabe</i> .....	226
Abbildung 10-64: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Dokument: Foto/Video/Tonaufnahme</i> .....	226
Abbildung 10-65: Attributszuordnungsdiagramm <i>Entitätstyp Dokument: Angebot/Auftragsbestätigung/Rechnung</i> .....	227

## Abkürzungsverzeichnis

ATEX	Atmosphères Explosibles
Auto-ID	automatische Identifizierung
BDE	Betriebsdatenerfassung
BPMN	Business Process Model and Notation
CAD	Computer-aided Design
CAQ	Computer-aided Quality
CRM	Customer-Relationship-Management
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMS	Dokumentenmanagement-System
DV	Datenverarbeitung
EDV	elektronische Datenverarbeitung
eEPK	erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette
eERM	erweitertes Entity-Relationship-Modell
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FEM	Finite-Elemente-Methode
GoM	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung
GPS	Global Positioning System
ID	Identifikationsnummer
IEC	International Electrotechnical Commission
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
MES	Manufacturing Execution System
OE	Organisationseinheit
OLAP	Online Analytical Processing
PDF	Portable Document Format
PLM	Product-Lifecycle-Management
RFID	Radio-Frequency-Identification (Radiofrequenzidentifikation)
RM	Referenzmodell

SCM	Supply-Chain-Management
SMS	Service-Management-System
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure



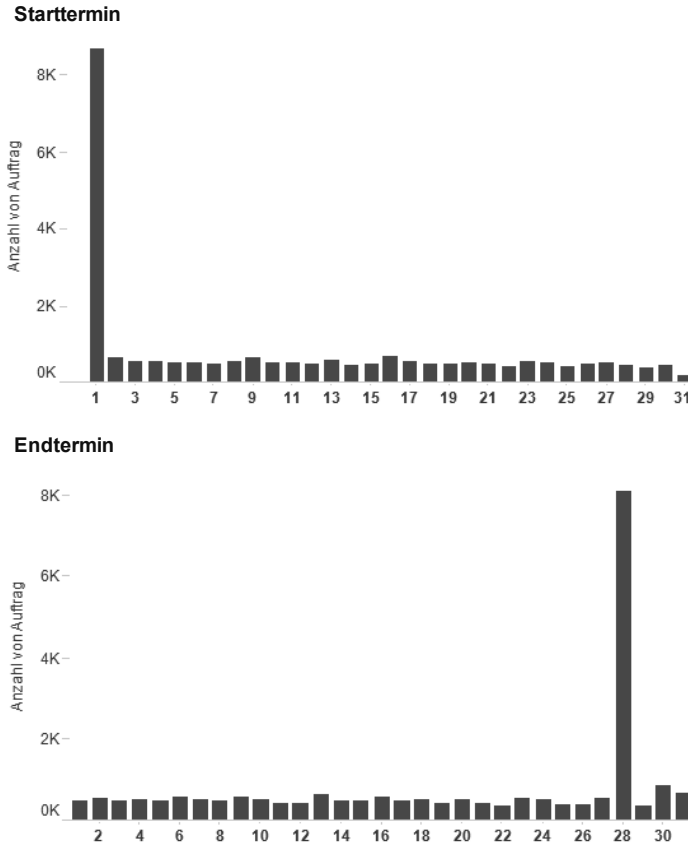
# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Daten werden heute mehr denn je als Rohstoff betrachtet. Maschinen- und Anlagenbauer sehen bspw. ein neues Geschäftsmodell darin, ihren Kunden die optimalen Produktionsparameter einer Maschine für ein bestimmtes Material als digitales Produkt anzubieten. Hierzu analysieren sie Daten aus dem Betrieb der Maschinen einer Vielzahl von Kunden (s. ARBEITSKREIS SMART SERVICE WELT / ACATECH (HRSG.) 2015, S. 58f.). Die Daten, die den Betrieb der Maschinen beschreiben, dienen folglich als Rohstoff für die Verarbeitung zu dem digitalen Produkt. Die Kunden des Anlagenbauers nutzen die zu Informationen veredelten Daten, um Anlagenparameter schneller für ein neues Material konfigurieren und ihre Produktionsprozesse effizienter gestalten zu können. Das Beispiel illustriert, was ein Unternehmen in der „Industrie 4.0“ ausmacht: Es lernt systematisch aus Daten und steigert dadurch seine Agilität (s. SCHUH ET AL. 2017a, 11f.). Das Prinzip des **Lernens aus Daten** beschränkt sich dabei nicht auf die Produktionsprozesse, sondern betrifft sämtliche Geschäftsprozesse, insbesondere auch den Service eines Unternehmens (s. SCHUH ET AL. 2017a, S. 38).

Gemäß dieser Sichtweise ist ein Unternehmen heute als ein „informationsverarbeitendes System“ zu verstehen, das aus Daten Entscheidungen und Handlungen ableitet (FIR E. V. AN DER RWTH AACHEN (HRSG.) 2017, S. 5). Genau wie ein Rohstoff können Daten in unterschiedlicher Qualität vorliegen. Die Qualität von Daten kann bspw. an ihrer Vollständigkeit, Fehlerfreiheit oder Aktualität gemessen werden (s. ROHWEDER ET AL. 2015, S. 28f.). Sie hat maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Entscheidungen, die auf Basis der Daten getroffen werden. Anders als bei vielen natürlichen Rohstoffen kann die Datenqualität bereits im Vorfeld beeinflusst werden. So können Daten nicht nur nachträglich bereinigt, sondern durch technische Systemoptimierungen, organisationale Prozessverbesserungen sowie Schulungen von Mitarbeitern proaktiv auf ein höheres Qualitätsniveau gebracht werden (s. WEIGEL 2015, S. 83f.).

Ein Beispiel für die Datenqualität eines internen Dienstleisters, der Instandhaltungsarbeiten in mehreren Stahlwerken eines Konzerns anbietet, ist in Abbildung 1-1 dargestellt. In der oberen Hälfte des Bildes sind die Starttermine der Instandhaltungsaufträge auf die Tage eines Monats abgetragen. Hierbei wurden die Daten eines Jahres auf einen Monat aggregiert. In der unteren Hälfte des Bildes sind die zugehörigen Endtermine der Aufträge dargestellt. Aus diesen Daten lässt sich ablesen, dass ein Großteil der Aufträge exakt zu Monatsbeginn startet und exakt zum 28. eines jeden Monats endet. Offenbar spiegeln diese Daten nicht die tatsächlichen Abläufe des Unternehmens wider, sondern sind vielmehr ein Beispiel für mangelnde Datenqualität. Aufträge werden zu Beginn des Monats gesammelt freigegeben und zum Ende des Monats gesammelt zurückgemeldet. Eine Analyse bspw. zur optimierten Schichtbelegung oder zur Dauer von Aufträgen ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich.



**Abbildung 1-1: Beispieldaten zu Auftragsstart und -ende eines industriellen Dienstleisters (eigene Analyse)**

Auch jenseits dieses Beispiels stellt die Datenqualität und -verfügbarkeit ein Problem in Unternehmen dar. So geben in einer aktuellen Studie etwa 40 % der befragten Führungskräfte an, dass die Sicherstellung der Datenqualität zu ihren wichtigsten Herausforderungen bei der Einführung von Big-Data-Initiativen zählt. Mehr als 30 % sehen die Sammlung und Verwaltung von großen Datenmengen als wesentliche Problemstellung (THE ECONOMIST (HRSG.) 2015, S. 22). Speziell für den Bereich der industriellen Dienstleistungen haben „organisch gewachsene“ Strukturen zu fragmentierten Systemlandschaften geführt, in denen eine Vielzahl an Daten redundant gepflegt wird (s. BIENZEISLER ET AL. 2014, S. 28f.).

An dieser Stelle können die Technologien, die unter dem Begriff ‚Industrie 4.0‘ verstanden werden, einen wesentlichen Beitrag leisten. Unter Industrie 4.0 wird die „echtzeitfähige, daten-volumenstarke und multimodale Kommunikation und Vernetzung zwischen cyber-physischen Systemen und Menschen“ verstanden (SCHUH ET AL. 2017a,

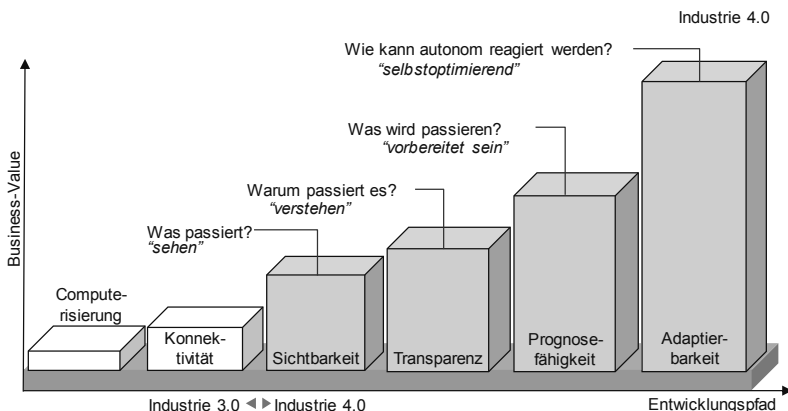
S. 10). In der Anwendung dieses Konzepts in Serviceorganisation ist eine deutlich tiefere Durchdringung von IT in die operative Dienstleistungserbringung zu erwarten. Diese äußert sich bspw. in der Integration von mobilen Endgeräten, Auto-ID-Technologien und IoT-Anwendungen in den Dienstleistungsprozess. Die Technologien ermöglichen es, Daten automatisiert und echtzeitnah zu erfassen und wirken damit einer unzureichenden Datenqualität entgegen.

HERTERICH ET AL. haben in einer empirischen Studie eine Reihe von Nutzenpotentialen für den Service herausgearbeitet, die mit der Einführung von cyber-physischen Systemen im technischen Service einhergehen. Insbesondere für die datenbasierte Optimierung technischer Dienstleistungen sehen sie ein „gesamtheitliches Datenmodell mit allen Serviceinformationen“ als zentrale Voraussetzung (s. HERTERICH ET AL. 2015, S. 675). Dieses **übergreifende Datenmodell für industrielle Dienstleistungen** ist notwendig, um Daten aus verschiedenen Quellsystemen einen gemeinsamen Kontext zu geben. Erst dadurch kann sichergestellt werden, dass sowohl Daten aus den klassischen betrieblichen Anwendungssystemen wie dem Enterprise-Resource-Planning (ERP)- und dem Service-Management-System (SMS) mit Daten aus mobilen Applikationen sowie mit Sensordaten zu einem **einheitlichen digitalen Abbild der Serviceorganisation** aggregiert werden können.

## 1.2 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht darin, Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus dazu zu befähigen, ein echtzeitnahes, digitales Abbild ihrer Dienstleistungsorganisation zu generieren. Dies folgt dem Ansatz des „Internet of Events“ (VAN DER AALST 2016, S. 3). Nach VAN DER AALST führt eine zunehmende Durchdringung von Technologie wie RFID, GPS und Sensornetzwerken auch zu einem zunehmenden Konvergieren der physischen und der digitalen Welt. Es entstehe hierbei ein „Internet of Events“, das die Aufzeichnung, Ableitung, und Analyse von Ereignissen ermögliche (s. VAN DER AALST 2016, 3ff). Folglich soll jedes relevante Ereignis, das in der Dienstleistungsorganisation stattfindet, mit seinen beschreibenden Größen digital abgebildet sein und damit für datenbasierte Analysen zugänglich gemacht werden.

Auf dem Entwicklungspfad eines Unternehmens in die „Industrie 4.0“ soll das Ergebnis dieser Arbeit eine Dienstleistungsorganisation dazu befähigen, die Reifegradstufe „Sichtbarkeit“ im „*acatech Industrie 4.0 Maturity Index*“ zu erreichen. Diese besteht nach SCHUH ET AL. darin, ein „jederzeit aktuelles, digitales Modell des Unternehmens zu erzeugen“, das auch „Digitaler Schatten“ genannt wird (s. SCHUH ET AL. 2017a, S. 16f.).



**Abbildung 1-2: acatech Industrie 4.0 Maturity Index (SCHUH ET AL. 2017a, S. 16)**

Das konkrete Ziel dieser Arbeit lässt sich demnach wie folgt formulieren:

---

*Ziel der Arbeit ist die Gestaltung des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau.*

---

Um dieses Ziel zu erreichen, soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit zunächst das **Konzept Digitaler Schatten** für den Untersuchungsbereich Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau beschrieben werden. Weiterhin soll ein **Referenzmodell für die Instandhaltungsdienstleistungen** entwickelt werden, das gemäß Abbildung 1-3 die realen Prozessen in der Dienstleistungsorganisation darstellt und ebenfalls die relevanten Ressourcen wie bspw. Mitarbeiter, Werkzeuge und Dokumente beinhaltet. Das Referenzmodell soll als Basis für die im Digitalen Schatten abzubildenden Daten dienen. Schließlich soll ein **Datenmodell** für den zu gestaltenden Digitalen Schatten entwickelt werden. Das Datenmodell soll den aus unterschiedlichen Informationssystemen stammenden Daten einen gemeinsamen Rahmen geben. Weiterhin soll sichergestellt sein, dass der Digitale Schatten alle relevanten Informationsbedarfe abdeckt. Diese sind in Abbildung 1-3 beispielhaft als „Applikationen“ aufgeführt. Um eine Anwendung im Unternehmen zu ermöglichen, soll das Modell um eine **Vorgehensweise zur Erstellung des Digitalen Schattens** in einem Unternehmen ergänzt werden.

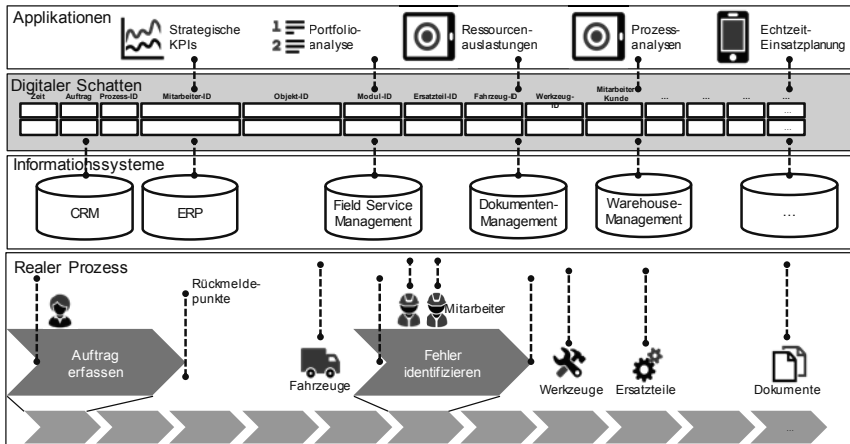


Abbildung 1-3: Zielsetzung der Arbeit (eigene Darstellung)

Das gesetzte Ziel mit seinen Unterzielen lässt sich in die folgende Forschungsfragen fassen:

**Hauptforschungsfrage:** *Wie ist der Digitale Schatten für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau zu gestalten?*

**Unterforschungsfragen:**

- Was ist der Digitale Schatten für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau und was sind die Anforderungen an diesen?
- Wie sind Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau als Grundlage für ein Datenmodell zu modellieren?
- Welche Daten in welcher Qualität charakterisieren Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau hinreichend genau?
- Wie ist eine Vorgehensweise zur Erstellung eines Digitalen Schattens für ein Unternehmen zu gestalten?

### 1.3 Forschungskonzeption & Aufbau der Arbeit

Der Digitale Schatten von Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau stellt im Sinne der anwendungsorientierten Forschung eine „Erfindung“ dar. Es ist daher nicht möglich, verschiedene Ausprägungen des Phänomens in der Realität zu beobachten und Schlussfolgerungen hieraus zu ziehen, wie es bspw. im Rahmen einer fallstudienbasierten Untersuchung (vgl. EISENHARDT 1989; EISENHARDT U. GRAEBNER 2007) oder anderer empirisch-induktiver Herangehensweisen Praxis wäre (vgl. ULRICH U. HILL 1976, S. 348). Das zu entwickelnde Konzept Digitaler Schatten ist heute nicht in der unternehmerischen Praxis zu beobachten.

Der Digitale Schatten für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau stellt eine mögliche Lösung für die oben beschriebene Problemstellung in der

Praxis dar und ist somit den „angewandten Handlungswissenschaften“ als Ausprägung der Realwissenschaften zuzuordnen. Der Wissenschaftsbegriff lässt sich nach ULRICH U. HILL grundsätzlich in die Formal- und Realwissenschaften aufgliedern (ULRICH U. HILL 1976, S. 305). Die Gliederung hilft, die zu untersuchenden Problemstellungen zuzuordnen und eine passende Forschungsstrategie auszuwählen. In den Formalwissenschaften wird die „Konstruktion von Zeichensystemen“ untersucht. Beispielhaft seien hier mathematische, logische und philosophische Problemstellungen genannt. In den Realwissenschaften steht „die Beschreibung, Erklärung und Gestaltung empirisch (sinnlich) wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte“ im Fokus (ULRICH U. HILL 1976, S. 305). Während innerhalb der Realwissenschaften die Grundlagenwissenschaften den Versuch unternehmen, die Ausschnitte der Wirklichkeit erklärbar zu machen, verfolgen die Handlungswissenschaften das Ziel, „menschliche Handlungsalternativen“ zu analysieren. Sie haben damit den Anspruch, „faktische Wahrheit“ zu liefern und müssen sich an der Zweckmäßigkeit messen lassen (ULRICH U. HILL 1976, S. 306).

Die entsprechende Forschungsstrategie zu dieser Art Problemstellung liefert ULRICH. In Abbildung 1-4 sind dessen Phasen der angewandten Forschung und die korrespondierenden Kapitel dieser Arbeit dargestellt. Die angewandte Forschung basiert per Definition auf der Anwendung theoretischer Erkenntnisse aus den Formalwissenschaften sowie der durch den Forscher erarbeiteten Konzepte in der Praxis. Da der Zweck dieser Art der Forschung in der Generierung von Lösungen für ein Problem der Praxis besteht, ist die fortwährende Einbindung der Praxis nicht nur notwendige Pflicht, sondern wesentlicher Bestandteil der Forschung (ULRICH ET AL. 1984, S. 192). Praxis bedeutet nach ULRICH „menschliches Verhalten“. Damit einher gehen zwei maßgebliche Herausforderungen: die passende Eingrenzung des Betrachtungsbereichs und die „Anerkennung der Komplexität“. Bei der Anwendung formalwissenschaftlicher Modelle muss daher stets kritisch hinterfragt werden, ob sie die Realität nicht unzulässig verkürzen und diese damit für die praktischen Anwendung unbrauchbar sind (ULRICH ET AL. 1984, S. 175).

In Kapitel 1 der Arbeit werden im Rahmen der Einleitung die Problemstellung und das Ziel der Arbeit vorgestellt. Kapitel 1 spiegelt damit die Erfassung und Typisierung des Problems der Praxis wider. In Kapitel 2 werden begriffliche Grundlagen erläutert sowie eine Eingrenzung des Untersuchungsbereichs durchgeführt. In Kapitel 3 wird der Status quo der Erkenntnisse in Wissenschaft und Technik zu der formulierten Problemstellung diskutiert. Kapitel 2 und 3 bilden die zweite Phase im Forschungsprozess nach ULRICH ab, indem die relevanten Theorien und Hypothesen der empirischen Grundlagenwissenschaften erfasst werden. In der dritten Phase des Forschungsprozesses werden problemrelevante Verfahren der Formalwissenschaften erfasst. In der vorliegenden Arbeit werden diese in Kapitel 4 dargestellt. Anschließend wird der Anwendungszusammenhang in Form von Fallstudien aus mehreren Unternehmen in einem Beschreibungsmodell erfasst bzw. durch ein Erklärungsmodell untersucht. Die Darstellung dessen erfolgt in den Kapiteln 5 und 6 dieser Arbeit. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird in Kapitel 7 die Vorgehensweise zur Einführung des Digitalen Schattens