



Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften

Dissertation

Referenzmodell zur Gestaltung des  
Digitalen Schattens der Instandhaltung  
nach den Prinzipien eines generischen  
Managementkonzepts

Dipl.-Ing. Robin Godot Richard Kühnast, BSc

Juni 2020

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 26.06.2020



Unterschrift Verfasser/in  
Robin Godot Richard, Kühnast-Benedikt

## Danksagung

Ich möchte mich an erster Stelle bei meinem Doktorvater Herrn o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Biedermann für die Betreuung der Arbeit bedanken. Besonders hervorzuheben ist dabei das geschaffene Umfeld, in dem sich Dissertanten hervorragend entwickeln (und beweisen) können. Vielen Dank für die herausfordernden, spannenden vier Jahre!

Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Kurt Matyas danke ich für die freundliche Bereitschaft der Zweitbegutachtung der Dissertation.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch an alle Projektpartner richten, die mich während der Zeit mit dem so wichtigen Input aus der Praxis unterstützten. Vielen Dank an alle beteiligten Personen der Siemens Mobility GmbH, der Egger Holzwerkstoffe GmbH und der Boom Software AG.

Mein großer Dank gilt außerdem dem gesamten Team des Lehrstuhls für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften der Montanuniversität Leoben für die kritischen Diskussionen, zahlreichen Gespräche und tollen Erlebnisse.

Meiner Familie danke ich für den Rückhalt und die Unterstützung während meiner gesamten Studienzzeit.

Und zu guter Letzt danke ich meiner Frau Pia, die mich immer, aber vor allem auch in der Schlussphase so liebevoll unterstützt hat.

## Kurzfassung

Die zunehmende Digitalisierung bietet Unternehmen die Chance den Einsatz der Ressource Information in allen Funktionen des Managements zu optimieren. Die Instandhaltung steht vor der Herausforderung, die Kombination aus vertikaler und horizontaler Integration der IT-Systeme nutzbar zu machen und damit ihren Wertschöpfungsbeitrag zu erhöhen. Der Digitale Schatten der Instandhaltung wird als digitales Modell verstanden, in dem sich Veränderungen der physischen Welt echtzeitnah auf das Informationssystem auswirken. Die resultierenden Potenziale sind eine bessere Entscheidungsqualität, höhere Planbarkeit, transparentes Controlling sowie die optimale Unterstützung der operativen Tätigkeiten.

Das Ziel der Arbeit liegt in der Erstellung eines Referenzmodells, mit dem sich das Informationssystem der Instandhaltung abbilden lässt. Dazu wird ein abgewandeltes ARIS-Haus konstruiert, in dem die Perspektiven Daten, Funktionen und Ziele das Informationssystem repräsentieren. Basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche wird das Funktionsmodell nach den Prinzipien eines generischen Instandhaltungsmanagements konstruiert. Anschließend wird das Zielmodell entwickelt, mit dem sich aus der Steuerungssicht ein Datenmodell ableiten lässt. Das letzte Modell kann durch die vorgegebene Struktur und inhaltliche Ausarbeitung als Digitaler Schatten des Instandhaltungsmanagements gesehen werden.

Das Ergebnis der Arbeit stellt dem Modellanwender ein Werkzeug zur Verfügung, das sich in zweifacher Weise in der Praxis anwenden lässt. Mit dem Top-Down-Ansatz lassen sich Funktionen und Ziele formulieren, aus denen sich die notwendigen Daten ergeben. Die Validierung erfolgt unter anderem durch die Modellierung der TPM-Philosophie, in der, ausgehend von den Funktionen und Zielen, das entsprechende Datenmodell erstellt wird. Die zweite Anwendungsmöglichkeit geht den gegensätzlichen Weg und zeichnet Bottom-Up die Verbindung von den verfügbaren Daten zu den erreichbaren Funktionen und Zielen. Die Validierung des zweiten Ansatzes geschieht in der Modellierung eines Informationssystems in der Praxis (Softwarehersteller). Die Ergebnisse lassen sich nutzen, um das Informationssystem zu bewerten und Handlungsempfehlungen zu formulieren.

## Abstract

Digitalization offers companies the chance to optimize the use of the resource information in all management functions. Maintenance is faced with the challenge of making the combination of vertical and horizontal integration of IT systems usable and thus increasing the value added contribution. The digital shadow of maintenance is understood as a digital model in which changes in the physical world have a real-time effect on the information system. The resulting potentials are better decision quality, greater planning ability, transparent controlling and optimal support for operating activities.

The aim of the work is to create a reference model that can be used to model the maintenance information system. For this purpose, a modified ARIS house is constructed in which the perspectives data, functions and objectives represent the information system. Based on a comprehensive literature research the functional model will be constructed according to the principles of a generic maintenance management concept. Subsequently, the objective model is developed with which a data model can be derived from the control perspective. The last model can be seen as the digital shadow of maintenance management due to its given structure and content.

The result of the work provides the model user with a tool that can be applied in practice in two ways. With the top-down approach, functions and objectives can be formulated from which the necessary data can be derived. Validation is carried out, among other things, by modeling the TPM philosophy, in which the corresponding data model is created based on the functions and goals. The second possible application takes the opposite approach and draws a bottom-up path from the available data to the achievable functions and goals. The validation of the second approach takes place in the modelling of an information system in practice (software manufacturer). The results can be used to evaluate the information system and formulate recommendations for action.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2	Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsfragen .....	2
1.3	Wissenschaftliche Einordnung .....	3
1.4	Methodische Vorgehensweise .....	3
1.5	Aufbau der Arbeit .....	5
<b>2</b>	<b>Konzeptionelle und terminologische Grundlegung</b> .....	<b>7</b>
2.1	Systemtheoretische Grundlegung .....	7
2.2	Informationssystem .....	9
2.3	Modelltheoretische Grundlegung .....	9
2.3.1	Aufbau und Klassifikation von Modellen.....	10
2.3.2	Metamodelle .....	11
2.3.3	Referenzmodelle .....	12
2.3.4	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung .....	13
2.4	Techniken in der Referenzinformationsmodellierung .....	14
2.4.1	Geschäftsprozessmodellierung mit dem ARIS-Haus .....	15
2.4.2	Datenmodellierung .....	17
2.4.3	Ereignis-gesteuerte Prozessketten (EPK).....	20
2.4.4	IDEF0-Modell.....	21
2.4.5	Funktions- und Zielbäume .....	21
2.4.6	Resümee zum Einsatz der Modellierungstechniken.....	22
2.5	Managementtheoretische Grundlegung .....	22
2.6	St. Galler Management-Konzept .....	26
2.7	Instandhaltungsmanagement .....	27
2.7.1	Zielsetzung der Instandhaltung .....	28
2.7.2	Regelkreise des Instandhaltungsmanagements.....	30
2.8	Managementkonzepte der Instandhaltung .....	31
2.8.1	Ausfallorientierte Instandhaltung .....	32
2.8.2	Präventive Instandhaltung .....	33
2.8.3	Total Productive Maintenance .....	34
2.8.4	Lean Smart Maintenance .....	34
2.8.5	Generische Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements .....	35
2.8.6	Auswahl der Prozessmodule .....	36
2.8.7	Beschreibung der ganzheitlichen IH-Managementansätze .....	37

2.9	Informationsmanagement.....	44
2.9.1	Informationsmanagement in der Instandhaltung .....	44
2.9.2	Informationssysteme der Instandhaltung.....	44
2.10	Digitaler Schatten der Instandhaltung .....	45
2.10.1	Abgrenzung der Begriffe Digitaler Schatten und Zwilling .....	46
2.10.2	Konzeptionierung des Digitalen Schattens.....	47
2.10.3	Konzepte des Digitalen Schattens.....	48
<b>3</b>	<b>Modellierung des Informationssystems der Instandhaltung .....</b>	<b>50</b>
3.1	Zielsetzung des Referenzmodells .....	50
3.2	Architektur des Referenzmodells .....	51
3.2.1	Abgewandeltes ARIS-Haus – Systemabgrenzung .....	51
3.2.2	Hierarchieebenen .....	53
3.3	Methodische Vorgehensweise .....	53
3.3.1	Auswahl der Prozessmodule .....	53
3.3.2	Modellierungsprozess.....	54
3.3.3	Methodenauswahl nach den Systemebenen.....	55
3.4	Funktionsmodellierung .....	57
3.4.1	Eingrenzung des Modellinhalts.....	58
3.4.2	Funktionsmodellierung der operativen Instandhaltungsprozesse ....	59
3.4.3	Funktionsmodellierung der operativ-strategischen Instandhaltungsprozesse .....	67
3.4.4	Funktionsmodellierung der strategischen Instandhaltungsprozesse	71
3.5	Zielmodellierung .....	73
3.5.1	Struktur und Hierarchie der Ziele.....	73
3.5.2	Zielmodellierung des operativen Regelkreises .....	73
3.5.3	Zielmodellierung des strategisch-operativen Regelkreises .....	74
3.5.4	Zielmodellierung des strategischen Regelkreises .....	75
3.6	Steuerungsmodellierung .....	75
3.6.1	Steuerungsmodellierung der operativen Instandhaltungsprozesse..	76
3.6.2	Steuerungsmodellierung der strategisch-operativen Instandhaltungsprozesse .....	84
3.6.3	Steuerungsmodellierung der strategischen Instandhaltungsprozesse .....	91
3.7	Datenmodellierung .....	96
3.7.1	Identifikation Entitätstypen & Basisattribute .....	97
3.7.2	Identifikation Beziehungstypen.....	99
3.8	Kritische Würdigung des Referenzmodells .....	100
3.8.1	Funktionsmodell .....	101

3.8.2	Zielmodell .....	101
3.8.3	Datenmodell .....	102
3.8.4	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung .....	104
<b>4</b>	<b>Anwendung des Referenzmodells nach dem Gegenstrom-Prinzip.....</b>	<b>106</b>
4.1	Anwendung des Referenzmodells als Soll-Modell .....	106
4.1.1	Soll-Modell der ausfallbezogenen (reaktiven) Instandhaltung.....	107
4.1.2	Soll-Modell der präventiven Instandhaltung .....	111
4.1.3	Soll-Modell der Total Productive Maintenance .....	114
4.1.4	Resümee der Soll-Modelle .....	119
4.2	Anwendung des Referenzmodells als Ist-Modell .....	119
4.2.1	Ist-Modell (Softwarehersteller).....	120
4.2.2	Resümee des Ist-Modells .....	125
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>126</b>
5.1	Zusammenfassung.....	126
5.2	Kritische Würdigung .....	127
5.3	Ausblick .....	128



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensmodell nach SCHÜTTE .....	5
Abbildung 2: Forschungskonzept nach ULRICH.....	6
Abbildung 3: Konzepte der Systemtheorie.....	8
Abbildung 4: Informationssystem als Schnittmenge verschiedener Teilbereiche .....	9
Abbildung 5: Modellierungsbestandteile .....	12
Abbildung 6: ARIS-Haus .....	15
Abbildung 7: Beispiel für ein Entity-Relationship-Modell.....	19
Abbildung 8: Systematik der IDEF0-Modellierung .....	21
Abbildung 9: Managementfunktionen.....	23
Abbildung 10: St. Galler Managementkonzept.....	27
Abbildung 11: Zusammenhang der Systemverfügbarkeit zu den wichtigsten Konzepten des Instandhaltungsmanagements .....	29
Abbildung 12: Beziehungsmatrix der Formalziele der Instandhaltung .....	30
Abbildung 13: Entwicklungsstufen des Instandhaltungsmanagements .....	32
Abbildung 14: Prozessmodell Planung in der Instandhaltung .....	36
Abbildung 15: Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements aus Grundwerken und Normen.....	43
Abbildung 16: Nutzungsübersicht von CMM-Systemen.....	45
Abbildung 17: Abgrenzung Digitaler Schatten zu Zwilling.....	47
Abbildung 18: Zielsetzung der Modellierung .....	51
Abbildung 19: Vergleich ARIS-Haus und abgewandeltes ARIS-Haus .....	52
Abbildung 20: Vorgehensweise Modellierungsprozess.....	55
Abbildung 21: Hierarchische Systemebene .....	56
Abbildung 22: Strukturelle Systemebene.....	57
Abbildung 23: IH-Managementsystem als IDEF0-Modell .....	59
Abbildung 24: Operativer Regelkreis .....	60
Abbildung 25: Struktur der Instandhaltungsdurchführungsplanung auf der zweiten Systemebene .....	62
Abbildung 26: Hierarchie der Instandhaltungsdurchführungsplanung .....	62
Abbildung 27: Systemstruktur der Auftragssteuerung.....	63
Abbildung 28: Systemhierarchie der Auftragssteuerung.....	64
Abbildung 29: Unterteilung der Instandhaltung .....	64
Abbildung 30: Systemstruktur der Instandhaltungsdurchführung .....	66
Abbildung 31: Systemhierarchie der Instandhaltungsdurchführung.....	66
Abbildung 32: Strategisch-operativer Regelkreis .....	67

---

Abbildung 33: Systemstruktur der Instandhaltungsprogrammplanung .....	68
Abbildung 34: Systemhierarchie der Instandhaltungsprogrammplanung.....	69
Abbildung 35: Systemstruktur der Schwachstellenanalyse.....	70
Abbildung 36: Systemhierarchie der Schwachstellenanalyse.....	70
Abbildung 37: Strategische Instandhaltungsprozesse .....	71
Abbildung 38: Systemstruktur der IH-Strategieplanung.....	72
Abbildung 39: Systemhierarchie der IH-Strategieplanung .....	73
Abbildung 40: Operative Zielebene.....	74
Abbildung 41: Strategisch-operative Zielebene .....	74
Abbildung 42: Strategische Zielebene .....	75
Abbildung 43: Steuerungsperspektive der Funktion Personalidentifizierung und – zuweisung .....	76
Abbildung 44: Steuerungsperspektive der Funktion Beschaffung Material und Ersatzteile.....	77
Abbildung 45: Steuerungsperspektive der Funktion Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge, Transport-, Hebe- und Stützeinrichtungen .....	78
Abbildung 46: Steuerungsperspektive der Funktion Bearbeitungsplanung .....	79
Abbildung 47: Steuerungsperspektive der Funktion Mengenplanung.....	79
Abbildung 48: Steuerungsperspektive der Funktion Zeitplanung.....	80
Abbildung 49: Steuerungsperspektive der Funktion Auftragsüberwachung .....	81
Abbildung 50: Steuerungsperspektive der Funktion Wartung.....	82
Abbildung 51: Steuerungsperspektive der Funktion Inspektion .....	83
Abbildung 52: Steuerungsperspektive der Funktion Instandsetzung .....	84
Abbildung 53: Steuerungsperspektive der Funktion Herstellerangaben analysieren	85
Abbildung 54: Steuerungsperspektive der Funktion Erfahrungswerte einsetzen.....	85
Abbildung 55: Steuerungsperspektive der Funktion Wartungszeitpunkt prognostizieren.....	86
Abbildung 56: Steuerungsperspektive der Funktion Störungen analysieren .....	87
Abbildung 57: Steuerungsperspektive der Funktion Ressourcengrobplanung .....	88
Abbildung 58: Steuerungsperspektive der Funktion Schadensanalyse .....	89
Abbildung 59: Steuerungsperspektive der Funktion Feststellung Ursachen für Schäden .....	90
Abbildung 60: Steuerungsperspektive der Funktion Ermittlung Folgewirkungen.....	90
Abbildung 61: Steuerungsperspektive der Funktion Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung der Schwachstellen.....	91
Abbildung 62: Steuerungsperspektive der Funktion Ableitung IH-Strategie aus Zielsystem .....	92
Abbildung 63: Steuerungsperspektive der Funktion Bestimmung Ausfallkosten .....	93
Abbildung 64: Steuerungsperspektive der Funktion Anlagenkritikalitätsbestimmung.....	93

---

Abbildung 65: Steuerungsperspektive der Funktion Identifikation Schwerpunktanlagen.....	94
Abbildung 66: Steuerungsperspektive der Funktion Kostenanalyse.....	94
Abbildung 67: Steuerungsperspektive der Funktion Anpassung Strategiemix .....	95
Abbildung 68: Steuerungsperspektive der Funktion Abgleich IH-Strategie mit Budget- und Ressourcenplanung .....	95
Abbildung 69: Entitäten (D1-D3) mit Attributen .....	97
Abbildung 70: Entitäten (D4-D8) mit Attributen .....	98
Abbildung 71: Entitäten (D9-D13) mit Attributen .....	98
Abbildung 72: Entitäten (D14-D18) mit Attributen .....	99
Abbildung 73: Datenmodell mit Verbindungen.....	100
Abbildung 74: Konzeptionelles Modell der Klassen und Objekte des Instandhaltungsmanagements .....	103
Abbildung 75: Anwendung des Referenzmodells auf drei Managementkonzepte.	107
Abbildung 76: Inhalte des Soll-Modells der ausfallorientierten Instandhaltung.....	108
Abbildung 77: Steuerungsmodell der Instandsetzung.....	109
Abbildung 78: Zielmodell der reaktiven Instandhaltung .....	110
Abbildung 79: Ausgewählte Attribute für das Datenmodell der ausfallorientierten Instandhaltung.....	110
Abbildung 80: Inhalte des Soll-Modells der präventiven Instandhaltung.....	111
Abbildung 81: Operative Zielebene der präventiven IH .....	113
Abbildung 82: Strategisch-operative Zielebene der präventiven IH .....	113
Abbildung 83: Datenmodell der präventiven Instandhaltung.....	114
Abbildung 84: Inhalte des Soll-Modells der Total Productive Maintenance .....	115
Abbildung 85: Eingeschränkte Strategieplanung der Total Productive Maintenance.....	117
Abbildung 86: Operative Zielebene der Total Productive Maintenance .....	118
Abbildung 87: Strategisch-operative Zielebene der Total Productive Maintenance.....	118
Abbildung 88: Strategische Zielebene der Total Productive Maintenance.....	118
Abbildung 89: Datenmodell der Total Productive Maintenance .....	119
Abbildung 90: Datenmodell Softwarehersteller .....	121
Abbildung 91: Entity Relationship Diagramm Softwarehersteller.....	122
Abbildung 92: Operative Zielebene des Informationssystems (Softwarehersteller).....	124
Abbildung 93: Strategisch-operative Zielebene des Informationssystems (Softwarehersteller).....	124
Abbildung 94: Strategische Zielebene des Informationssystems (Softwarehersteller).....	125

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Modellierungsansätze nach GALAR .....	11
Tabelle 2: Nutzenpotenziale von Datenmodellen.....	17
Tabelle 3: Symbole der EPK.....	20
Tabelle 4: Vor- und Nachteile der ausfallorientierten Instandhaltung .....	33
Tabelle 5: Ausprägungsstufen der Prozessmodelle in den Grundwerken des Instandhaltungsmanagements .....	41
Tabelle 6: Ausprägungsstufen der Prozessmodule in den Grundwerke und Normen des Instandhaltungsmanagements .....	42
Tabelle 7: Abstraktionsebenen im Modell .....	53
Tabelle 8: Instandhaltungsdurchführungsplanung .....	61
Tabelle 9: Auftragssteuerung .....	63
Tabelle 10: Detailprozesse der Instandhaltungsdurchführung.....	65
Tabelle 11: Schwachstellenanalyse .....	70
Tabelle 12: IH-Strategieplanung .....	72
Tabelle 13: Eigenschaften, Ausprägungen und Auswirkungen der ausfallbedingten Instandhaltung.....	108
Tabelle 14: Eigenschaften, Ausprägungen und Auswirkungen der präventiven Instandhaltung.....	112
Tabelle 15: Eigenschaften, Ausprägungen und Auswirkungen der Total Productive Maintenance.....	115
Tabelle 16: Datenvollständigkeitsgrad in den einzelnen Funktionen .....	123
Tabelle 17: Modellierte Funktionen nach Regelkreis und Prozessdetailgrad .....	b
Tabelle 18: Entitäten und zugeordnete Attribute des Datenmodells .....	c
Tabelle 19: Ziele abgeleitet aus der Steuerungsperspektive .....	g

## Abkürzungsverzeichnis

AfA	Absetzung für Abnutzung
ARENA	Active Research Environment for the Next generation of Automobiles
ARIS	Architecture of Integrated Information Systems
BPMN	Business Process Modelling Notation
CMMS	Computerized Maintenance Management System
CMS	Condition Monitoring System
DF	Detailfrage
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERD	Entity-Relationship-Diagramm
ERM	Entity-Relationship-Modell
FK	Foreign Key
GFAMAM	Global Forum on Maintenance and Asset Management
GoB	Grundsätze ordnungsgemäßer Buchführung
GoM	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung
HOBE	House of Business Engineering
ICAM	Integrated Computer Aided Manufacturing
IDEF	ICAM Definition
IH	Instandhaltung
IM	Informationsmanagement
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
LSM	Lean Smart Maintenance
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
MTTR	Mean Time To Repair
OEE	Overall Equipment Effectiveness
P.-Nummer	Personalnummer
PDCA	Plan Do Check Act
PK	Primary Key

SCOR-Modell Supply-Chain-Operations-Reference-Modell

TPM Total Productive Maintenance

UML Unified Modeling Language

# 1 Einleitung

Mit der Digitalisierung ergibt sich für die Instandhaltung die Chance, die Wahrnehmung als Kostenverursacher nachhaltig in Richtung eines wertschöpfenden Partners der Produktion zu verändern<sup>1</sup>. Den größten Hebel besitzt die Ressource Information<sup>2</sup>, da sie eine entscheidende Wandlung vollzogen hat. Vor dem Informationszeitalter, beschränkten geltende Gesetzmäßigkeiten wie Übertragungsrate, Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit den Informationsfluss. Es wurde viel Wert auf den Selektionsprozess gelegt und das Informationsmanagement war von Natur aus schlank. Mit dem Einsturz der Barrieren befinden wir uns in einer Zeit der Informationsüberwältigung, die die produzierenden Betriebe vor große Herausforderungen stellt. Die Informationserfassung, -aufbereitung und -versorgung sind nach wie vor die elementaren Bestandteile des Informationsflusses<sup>3</sup> und damit auch des Instandhaltungsmanagements, jedoch müssen die eingesetzten Systeme in der Lage sein, auch aus einer Vielzahl an Daten die richtigen Informationen zu extrahieren. Es ergibt sich die folgende Ausgangssituation und Problemstellung.

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien führen die produzierenden Industrieunternehmen vor große Herausforderungen im Management der Informationen. Die digitale Abbildung der wertschöpfenden Geschäftsprozesse lässt sich mit den horizontal- und vertikal stark vernetzten Informationssystemen theoretisch umsetzen und bietet großes Potenzial die Komplexität bei einer Lebenszyklusbetrachtung beherrschbar zu machen<sup>4</sup>. Besonderen Nutzen versprechen dabei jene Systeme, die in dem Produktionsprozess stark involviert sind und deren Bedeutung durch die Automatisierung in Zukunft noch weiter zunehmen wird. Das Informationssystem der Instandhaltung besitzt diese Eigenschaften und ist der betriebswissenschaftliche Forschungsgegenstand dieser Arbeit.

Die Architektur eines Informationssystems muss sich parallel zur digitalen Transformation an die neuen Möglichkeiten und Anforderungen anpassen. Referenzmodelle, die diese Regeln, Strukturen und Aufgaben zusammenfassend vorgeben, gibt es noch wenige<sup>5</sup>. Diese Weiterentwicklungen sind jedoch erforderlich, um die Potenziale, wie echtzeitnahe Auswertungen und Versorgung von Assistenzsystemen mit Informationen, nutzbar zu machen<sup>6</sup>. In der Praxis werden die Informationssysteme der Instandhaltung oft technisch entwickelt und lassen daher den Bezug zum

---

<sup>1</sup> Vgl. Sherwin, D. (2000), S. 138

<sup>2</sup> Vgl. Biedermann, H. (2015), S. 23

<sup>3</sup> Vgl. Sihm, W. (1992), S. 41

<sup>4</sup> Vgl. Biedermann, H. (2018), S. 24

<sup>5</sup> Siehe Cordes, A.-K. (2018); Harland, T. (2019); Reidt, A. (2019)

<sup>6</sup> Vgl. Biedermann, H. (2019), S. 34

Instandhaltungsmanagement und dessen Weiterentwicklung vermissen. Die präsenten Systeme bieten in vielen Fällen lediglich Insellösungen<sup>7</sup> an und bilden nicht die notwendige ganzheitliche Betrachtung ab. Es entstehen damit isolierte Systeme, die sich den Kernaufgaben von IT-Systemen zuordnen lassen: die Leistungsverrechnung, das Auftragswesen, die Planung oder computergestützte Modelle, die Zuverlässigkeits- oder Lebensdauervorhersagen zulassen. Der größte Forschungsbedarf besteht in der Modellierung des Informationssystems als Gesamtsystem. Vor allem die Schnittstellenproblematik stellt die Praxis vor große Herausforderungen, denen sich die Forschung mithilfe von Datenmodellierungstechniken verstärkt widmen sollte<sup>8</sup>. In dem noch jungen Forschungsgebiet gibt es bereits Lösungen für Instandhaltungsdienstleistungen<sup>9</sup> und Prozesse, Prognosen und Planung in Ersatzteil-Supply-Chains<sup>10</sup>. Es wurde außerdem eine Referenzarchitektur eines integrierten Informationssystems zur Unterstützung der Instandhaltung entwickelt<sup>11</sup>, die ausgehend von einer Literaturanalyse die funktionale Sicht, Verteilungs- und Prozesssicht modelliert. Die vorgestellten Ansätze liefern brauchbare Ergebnisse für die technische Konzipierung des Informationssystems, lassen jedoch entweder die Datenperspektive außer Acht, oder konzentrieren sich nur auf das Auftragswesen. Weder in der Theorie noch in der Praxis ist ein Ansatz bekannt, der basierend auf den Prozessmodulen eines ganzheitlichen Managementkonzepts ein Referenzmodell bildet und daraus ein entsprechendes Datenmodell generiert.

## 1.2 Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsfragen

Das Hauptziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Referenz für das Informationssystem des Instandhaltungsmanagements. Daraus ergibt sich folgende wissenschaftliche Kernfrage:

*Wie muss ein Referenzinformationsmodell gestaltet sein, um den Anforderungen eines generischen Instandhaltungsmanagementkonzepts entsprechend, die unterschiedlichen Funktionen mit der Ressource Information zu unterstützen?*

Aus der Kernfrage lassen sich folgende Detailfragen (DF) ableiten:

*DF1. Welche generischen Geschäftsprozesse sind nach aktuellem Stand der Literatur für das Instandhaltungsmanagement definiert und wie lassen sich diese modellieren?*

*DF2. Welche Sichtweisen müssen zusätzlich erstellt werden, um aus den definierten Geschäftsprozessen die notwendigen Daten abzuleiten?*

---

<sup>7</sup> Siehe Hokanen, T. (2004)

<sup>8</sup> Vgl. Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011), S. 806

<sup>9</sup> Siehe Harland, T. (2019)

<sup>10</sup> Siehe Cordes, A.-K. (2018)

<sup>11</sup> Siehe Reidt, A. (2019)



*DF3. Wie müssen die Datenmodelle gestaltet sein, um den strukturellen und inhaltlichen Anforderungen des Digitalen Schattens zu entsprechen?*

*DF4. Wie lässt sich eine Verbindung von den Zielen der Instandhaltung zu den dafür notwendigen Daten der Instandhaltung zeichnen?*

### 1.3 Wissenschaftliche Einordnung

Thematisch lässt sich die Erstellung von Informationssystemen der Wirtschaftsinformatik zuordnen. Für das interdisziplinäre Fach zwischen Betriebswirtschaftslehre, Technik und Informatik ist der zentrale Produktionsfaktor<sup>12</sup> die Information<sup>13</sup>.

Den Gegenstand betriebswirtschaftlicher Forschung bilden nach GUTENBERG die wirtschaftlichen Tatbestände des betrieblichen Geschehens<sup>14</sup>. In den Weiterentwicklungen der Betriebslehre als Wissenschaft wurden in der Nachkriegszeit unterschiedliche Strömungen verzeichnet. Folgende Forschungsansätze wurden im deutschsprachigen Raum erfasst<sup>15</sup>:

- Produktivitätsorientierter Ansatz von Erich Gutenberg
- Entscheidungsorientierter Ansatz von Edmund Heinen
- Systemorientierter Ansatz von Hans Ulrich
- Verhaltensorientierter Ansatz
- Umweltorientierter Ansatz
- Institutionenökonomischer Ansatz

Für die vorliegende Arbeit wurde der systemorientierte Forschungsansatz nach ULRICH gewählt. Grundsätzlich werden die verschiedenen Ansätze von den geforderten Forschungsergebnissen bestimmt. Die möglichen Erkenntnisse geben den Erkenntnisweg vor und bilden damit die Grundlage für die Entscheidung<sup>16</sup>. Abbildungen 1 und 2 zeigen die gewählte Vorgehensweise, in der auch die zugehörigen Inhalte dieser Arbeit aufscheinen. Zentrales Element der angewandten Forschung ist der Praxisbezug, der in diversen Abschnitten erstellt werden muss. Die Forschungskonzeption beginnt und endet in der Praxis, die Theorie dient als Informationslieferant<sup>17</sup>.

### 1.4 Methodische Vorgehensweise

In der vorliegenden Arbeit wird ein Referenzmodell des Informationssystems der Instandhaltung entwickelt, das Ziele, Funktionen und Daten der Instandhaltung in einem

---

<sup>12</sup> In der Betriebswirtschaftslehre galten zunächst nur Arbeitsleistung, Betriebsmittel und Werkstoffe als Elementarfaktoren zu denen noch dispositive Faktoren – die Geschäfts- und Betriebsleitung, Planung und Organisation – gehörten, siehe Gutenberg, E. (1958), S. 27; Die Produktionsfaktoren wurden dann in mehreren Ansätzen durch den Begriff Information ergänzt siehe Zimmermann, D. (1972) und Krcmar, H. (2015), S. 15,

<sup>13</sup> Vgl. Mertens, P. et al. (2000), S. 6

<sup>14</sup> Vgl. Gutenberg, E. (1958), S. 13

<sup>15</sup> Vgl. Wöhe, G. et al. (2016), S. 16ff

<sup>16</sup> Vgl. Ulrich, H. (2001), S. 21

<sup>17</sup> Vgl. Ulrich, H. (1984), S. 192

Modell zusammenführt. Die Vereinigung der unterschiedlichen Sichtweisen in der Steuerungsperspektive ermöglicht es, die Verbindung von Daten zu Zielen über die Funktionen zu zeichnen. Das übergeordnete Metamodell basiert auf der Modellierungssprache und den Modellierungsregeln des ARIS-Ansatzes, wobei die Perspektiven Aufbauorganisation und Output durch Ziele und eine Erweiterung der Funktionsperspektive ersetzt werden. Für jede Sichtweise werden verschiedene Modelle erstellt, die das Instandhaltungsmanagement in relevante Systeme gliedern. Die Unterteilung ermöglicht die Modellierung der Daten auf hohen und niedrigen Abstraktionsniveaus und ist daher in der Lage, die Komplexität der Geschäftsprozesse der Instandhaltung zu digitalisieren. Das Ergebnis ist ein Referenzmodell des Digitalen Schattens von Instandhaltungsorganisationen und soll in zweifacher Anwendung validiert werden. Zunächst wird das Referenzmodell benutzt, um Top-Down drei Soll-Modelle zu entwickeln, mit dem Ziel, Datenmodelle für drei unterschiedliche Managementkonzepte zu definieren. Im nächsten Schritt wird das Informationssystem eines Softwareherstellers in der Theorie und Praxis, ausgehend von den bestehenden Daten, einer Ist-Analyse unterzogen, deren Ziel es ist, die erreichbaren Instandhaltungsziele abzuleiten. Für diese Arbeit wird ein generischer Ansatz herangezogen, um die Ziele, Funktionen und Daten einer modernen, ganzheitlichen Instandhaltung zu modellieren und damit auch auf das Informationssystem zu übertragen.

Um die formulierte wissenschaftliche Zielsetzung zu erreichen und die erkannten Problemstellungen zu lösen, müssen verschiedene betriebswirtschaftliche Methoden aus dem Bereich der Wirtschaftsinformatik eingesetzt werden. Die Architektur der Modelle wird durch die Grundsätze der ARIS-Geschäftsprozessmodellierung bestimmt. Die zur Modellierung angewandten Methoden aus dem ARIS-Toolset sind öffentlich einsehbar und der Standard für viele Informationssysteme<sup>18</sup>. Die Ergebnisse lassen sich dadurch schnell und praktikabel in bestehende Informationssysteme integrieren. Die Inhalte der entstehenden Perspektiven des Referenzmodells<sup>19</sup> werden deduktiv aus Grundwerken des Instandhaltungsmanagements abgeleitet. Prinzipiell folgt die Arbeit dem methodischen Vorgehensmodell zur Referenzmodellierung nach SCHÜTTE (siehe Abbildung 1).

---

<sup>18</sup> Vgl. Barnett, G. (2019), S. 3

<sup>19</sup> Siehe Scheer, A.-W. (1999a)

Vorgehensmodell zur Referenzmodellierung nach SCHÜTTE	Kapitel
Problemdefinition	Einleitung – Kapitel 1
Konstruktion des Referenzmodellrahmens	Grundlegung – Kapitel 2
Konstruktion der Referenzmodellstruktur	Grundlegung und Modellierung – Kapitel 2 und 3
Komplettierung	Modellierung – Kapitel 3
Anwendung / Validierung	Anwendung und Ergebnisse Kapitel 4 und 5

Abbildung 1: Vorgehensmodell nach SCHÜTTE<sup>20</sup>

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Der Forschungsansatz nach ULRICH beginnt in der Praxis und endet in der Praxis. Diese Form der Aktionsforschung wurde in den Forschungsprozess integriert (siehe Abbildung 2). Das erste Kapitel fokussiert die Erfassung und Typisierung der praxisrelevanten Probleme mit der sich die wissenschaftliche Arbeit beschäftigt. Mit der Ausgangssituation und Problemstellung werden die Rahmenbedingungen erklärt. Daraus abgeleitet ergibt sich die wissenschaftliche Zielsetzung und die wissenschaftstheoretische Einordnung. Den Abschluss bildet die methodische Vorgehensweise mit der die erhobenen Probleme gelöst werden sollen. In Kapitel zwei wird die konzeptionelle und terminologische Grundlegung betrieben. Beginnend mit der Systemtheorie werden darauf aufbauend die problemrelevanten Theorien und Hypothesen erfasst und interpretiert. Die Modelltheorie, Managementtheorie sowie Informationssysteme stehen hier im Vordergrund. Der zweite Abschnitt von Kapitel zwei fokussiert die Erfassung und Spezifizierung problemrelevanter Verfahren. Ausgehend vom Informationsmodell werden Referenzmodelle sowie Techniken der Referenzinformationsmodellierung beschrieben. Es werden außerdem das Instandhaltungsmanagement, der inhaltliche Schwerpunkt der Arbeit, das Informationsmanagement und gegenwärtige Informationssysteme des Instandhaltungsmanagements detailliert ausgeführt. Das Kapitel schließt mit dem Konzept einer schlanken, wertschöpfenden Instandhaltung (Lean Smart Maintenance).

<sup>20</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schütte, R. (1998), S. 185

Im dritten Kapitel beginnt der Modellierungsprozess des Informationssystems der Instandhaltung. Nach Beschreibung der Zielsetzung, Architektur und Vorgehensweise folgt die Erfassung und Untersuchung des relevanten Anwendungszusammenhangs mit der Funktions- und Zielmodellierung. Die Kombination der zwei Sichtweisen ermöglicht anschließend die Steuerungsmodellierung und den Übergang in das vierte Kapitel, die Ableitung des Datenmodells und Validierung der Artefakte durch Anwendung des Referenzmodells als Ist- oder Soll-Modell. Nach ULRICH beginnt und endet die Forschungskonzeption in der Praxis. Im fünften Kapitel werden daher die wichtigsten Resultate zusammengefasst, die die Beratung der Praxis ermöglichen. Die Arbeit endet mit einem Ausblick.

<b>Aufbau der Arbeit</b>	<b>Forschungskonzeption nach ULRICH</b>			
<b>Kapitel 1: Einleitung</b>	<b>Erfassung und Typisierung praxisrelevanter Probleme</b>			
	Ausgangssituation und Problemstellung	Wissenschaftliche Zielsetzung	Wissenschaftstheoretische Einordnung	Methodische Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit
<b>Kapitel 2: Konzeptionelle &amp; terminologische Grundlegung</b>	<b>Erfassung &amp; Interpretation problemrelevanter Theorien und Hypothesen</b>		<b>Erfassung &amp; Spezifizierung problemrelevanter Verfahren</b>	
	Systemtheoretische Grundlegung	Modelltheoretische Grundlegung	Informationsmodell	Referenz-informationsmodell
		Management-theoretische Grundlegung	Instandhaltungsmanagement	
			Informationsmanagement	Techniken der Referenzinformationsmodellierung
			Reaktive- und präventive IH	
			Total Productive Maintenance	
			Lean Smart Maintenance	
<b>Kapitel 3: Modellierung des Informationssystems der Instandhaltung</b>	<b>Erfassung und Untersuchung des relevanten Anwendungszusammenhangs</b>			
	Zielsetzung	Architektur	Methodische Vorgehensweise	Funktionsmodellierung
				Zielmodellierung
<b>Kapitel 4: Anwendung Ist-Modell und Soll-Modell</b>	<b>Ableitung von Beurteilungskriterien, Gestaltungsregeln und -modellen</b>		<b>Prüfung der Regeln und Modelle im Anwendungszusammenhang</b>	
	Datenmodellierung		Anwendung Referenzmodell als Soll- und Ist-Modell	
<b>Kapitel 5: Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>Beratung der Praxis</b>			
	Zusammenfassung		Ausblick	

Abbildung 2 Forschungskonzept nach ULRICH<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ulrich, H. (1984), S. 193

## 2 Konzeptionelle und terminologische Grundlegung

In diesem Kapitel werden die begrifflichen Grundlagen definiert. Dieser erste Schritt einer jeden wissenschaftlichen Arbeit formuliert ein System an Begriffen welches eindeutig ist und das Untersuchungsfeld relativ vollständig überspannt<sup>22</sup>.

### 2.1 Systemtheoretische Grundlegung

Ein System besteht aus Elementen, die in Verbindung zu einander stehen<sup>23</sup>. BERTALANFFY gilt zusammen mit ASHBY und seiner Theorie der Kybernetik<sup>24</sup> als Begründer der Systemtheorie. Schon ARISTOTELES postulierte, dass das Ganze mehr als die Summe seiner Teile sei<sup>25</sup>. Der Begriff Theorie kann in diesem Zusammenhang missverständlich interpretiert werden, lässt sich doch aus dieser Theorie keine Erkenntnis für eine Wissenschaft ableiten. Es sollte dementsprechend mehr als eine Sammlung von Konzepten verstanden werden<sup>26</sup>, die dem Wissenschaftler die Erforschung der Eigenschaften und des Verhaltens komplexer Gebilde ermöglicht<sup>27</sup>.

Ein wichtiger Faktor für die Verbreitung des systemorientierten Ansatzes in den Angewandten Wissenschaften und den Naturwissenschaften ist die steigende Komplexität der behandelten Themenstellungen. Unabhängig vom Forschungsgebiet entstehen durch Technologiesprünge, stetige Weiterentwicklungen und Innovationen kontinuierlich größere Zusammenhänge. Die Erfassung von Vorgängen, Eigenschaften, Zuständen und weiteren interessanten Informationen ist durch ausschließlich analytische Methoden in vielen Fällen nicht mehr erkenntnisgewinnend. Das Denken in Systemen ist daher vor allem bei der Modellierung von unterschiedlichen Aspekten einer Problemstellung von größter Bedeutung.

Diese Betrachtungsweise wurde auch in der systemorientierten Managementlehre von ULRICH als einer von fünf Schlüsselpunkten definiert. Die gewählte Perspektive stellt dem Wissenschaftler Denkwerkzeuge (z.B. Erfassung von Dynamik, Vernetzung und Offenheit gesellschaftlicher Institutionen) zur Verfügung und erlaubt eine ganzheitliche, wissenschaftliche Bearbeitung zusammenhängender Phänomene.<sup>28</sup>

In Abbildung 3 sind die drei wesentlichen Konzepte der Systemtheorie zu sehen. Die in Abschnitt 2.1 beschriebene Definition lässt sich um diese Konzepte erweitern und wird wie folgt formuliert:

---

<sup>22</sup> Vgl. Wolf, J. (2011), S. 11

<sup>23</sup> Vgl. Bertalanffy, L. von (1972), S. 18

<sup>24</sup> Siehe Ashby, W.R. (1956)

<sup>25</sup> Vgl. Bonitz, H. (2009), S. 77ff

<sup>26</sup> Vgl. Kaplan, M.A. (1972), S. 9

<sup>27</sup> Vgl. Kurzrock, R. (1972), S. 8

<sup>28</sup> Vgl. Ulrich, H. (1984), S. 12ff; Die weiteren vier Schlüsselpunkte lauten: Anwendungsorientierung, Mehrdimensionale Denkweise, Integrierende Denkweise und Wertorientierung

Ein System ist das Modell einer Ganzheit, die (a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände, etc.) aufweist, die (b) aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht, und die (c) von ihrer Umgebung bzw. von einem Supersystem abgegrenzt wird.<sup>29</sup>

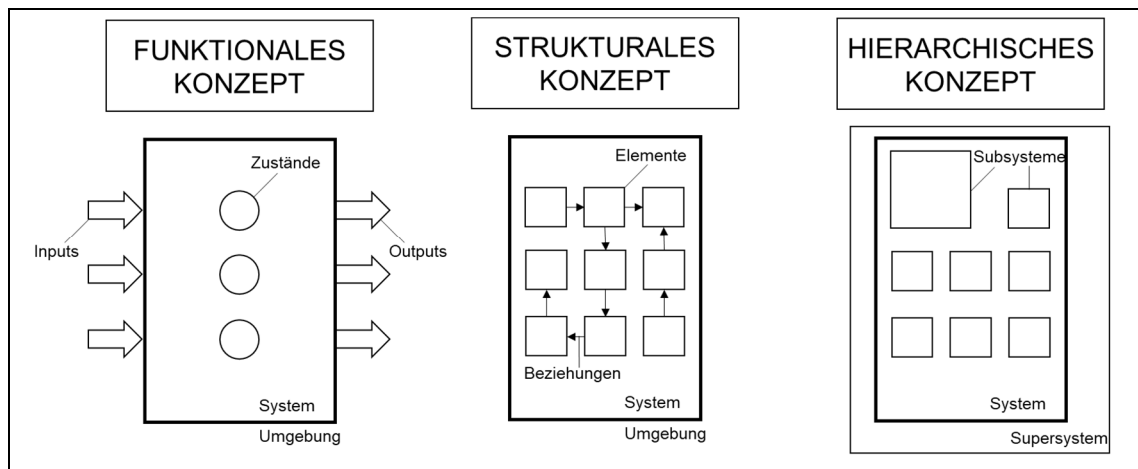


Abbildung 3: Konzepte der Systemtheorie<sup>30</sup>

Nachfolgend werden die Inhalte der Konzepte beschrieben, da sie eine wesentliche Rolle bei den erstellten Modellen des Informationssystems spielen. Eine vollständige Systembeschreibung liegt nach ROPOHL nur dann vor, wenn alle drei Aspekte betrachtet werden. Er führt jedoch auch an, dass es in der Praxis, aber auch in der Wissenschaft, Ausnahmen für diese Regel gibt.<sup>31</sup>

### Funktionales Konzept

Im funktionalen Konzept wird das System durch die Inputs, Outputs und die angenommenen Zustände beschrieben. Ein solches Konzept wird auch als Black-Box-Modell genannt, da die verarbeitenden Vorgänge innerhalb der „Box“ unbekannt sind.<sup>32</sup> Der Begriff Prozess findet hier vielfach Anwendung. Es wird für diese Arbeit ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Begriffe Funktion, Aktivität, Prozess und Vorgang keine in der Literatur einheitliche Definition besitzen und für diese Arbeit spezifisch definiert werden<sup>33</sup>.

### Struktureles Konzept

Beim strukturalen Konzept liegt der Fokus auf den Beziehungen zwischen den Elementen. Die Vorstellung ähnelt dem Grundgedanken der Systemtheorie stark, die jedes System als Menge von Elementen versteht, die miteinander in Beziehung stehen.

### Hierarchisches Konzept

In der Systemtheorie wird das hierarchische Konzept auch *System of Systems* genannt. Dabei gilt es zwei Regeln zu beachten. Einerseits sind die Subsysteme teilweise

<sup>29</sup> Ropohl, G. (2009), S. 76

<sup>30</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ropohl, G. (2009), S. 77

<sup>31</sup> Vgl. Ropohl, G. (2009), S. 77

<sup>32</sup> Vgl. Habermehlner, R. et al. (2019), S. 9

<sup>33</sup> Siehe Abschnitt 3.4 Funktionsmodellierung

unabhängig und funktionsfähig ohne das entsprechende Supersystem und andererseits können die Subsysteme unabhängig von ihrem Supersystem entwickelt werden.<sup>34</sup> Aus einem solchen System lässt sich in jedem Fall eine Systemhierarchie ableiten.

## 2.2 Informationssystem

Ein Informationssystem vereint Aspekte der Organisation, Technik und des Managements<sup>35</sup> in einem System (siehe Abbildung 4). Die Funktionalität ist nur gegeben, wenn alle drei Bereiche ausreichend integriert werden. Beispielsweise ermöglicht der Preisverfall von Sensorik nicht automatisch ein besseres Informationssystem. Nur wenn die Organisation und das Management diese Technik in ihre Prozesse integrieren, gelingt ein Schritt nach vorne<sup>36</sup>. Die Integration der Systeme gilt als größte Herausforderung in den produzierenden Industriebetrieben und lässt sich in drei Ansatzpunkten unterscheiden<sup>37</sup>:

- Datenintegration
- Funktionsintegration
- Prozess- und Vorgangsintegration

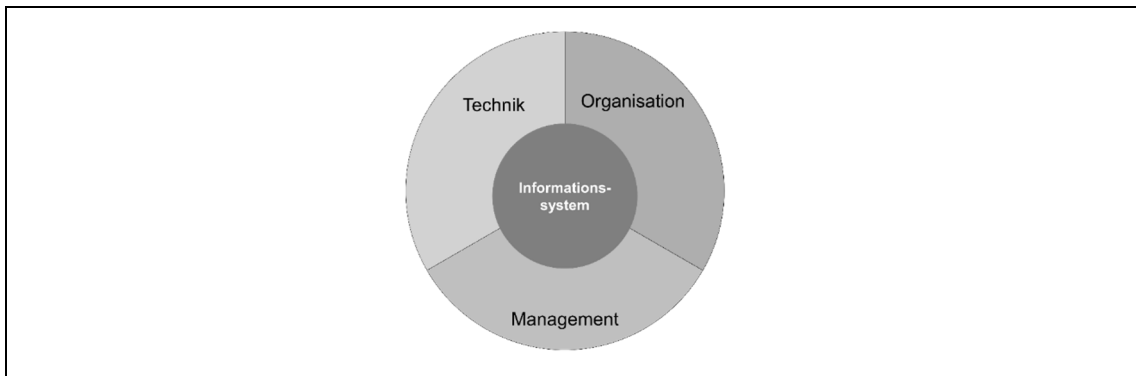


Abbildung 4: Informationssystem als Schnittmenge verschiedener Teilbereiche<sup>38</sup>

## 2.3 Modelltheoretische Grundlegung

Ausgehend von der allgemeinen Modelltheorie nach STACHOWIAK sind die Originale<sup>39</sup> wissenschaftlicher Modelle auch als Systeme zu betrachten<sup>40</sup>. Als Konsequenz werden Systeme von - für die Betriebswirtschaftslehre interessanten - Tatbeständen und

<sup>34</sup> Vgl. Haberfellner, R. et al. (2019), S. 7

<sup>35</sup> Der Begriff Management wird in diesem Zusammenhang funktional interpretiert.

<sup>36</sup> Vgl. Laudon, K.C. et al. (2010), S. 43

<sup>37</sup> Vgl. Mertens, P. et al. (2017), S. 65

<sup>38</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Laudon, K.C. et al. (2010), S. 39

<sup>39</sup> Nach Stachowiak, H. (1973), S. 131 sind Modelle stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher **Originale**, die selbst wieder Modelle sein können.

<sup>40</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 138

Geschehnissen der Wirklichkeit in Modellen erfasst<sup>41</sup>. Die drei Hauptmerkmale (und gleichzeitig Abgrenzungsmerkmale zum Systembegriff) des allgemeinen Modellbegriffs sind wie folgt<sup>42</sup>:

- Abbildungsmerkmal
- Verkürzungsmerkmal
- Pragmatisches Merkmal (Zweckorientierung<sup>43</sup>)

Das, aus vielen Elementen mit Attributen und Verbindungen, bestehende System wird durch das Modell für den Wissenschaftler pragmatisch. Die relevanten Abbildungsmerkmale werden im Modell inkludiert und damit einhergehend verkürzt (abstrahiert). Die jeweilige Reduktion ist zweckgebunden und spezifisch. Die gewählten Abstraktionen, Hervorhebungen, Fokussierungen und Hauptmerkmale eines Modells werden subjektiv vom Modellhersteller gewählt<sup>44</sup> und begründet.

### 2.3.1 Aufbau und Klassifikation von Modellen

Der Aufbau und die Klassifikation von Modellen sind in Abbildung 5 dargestellt. Jedes Modell folgt einer bestimmten Methode, die sich nach dem Zweck der Modellierung richtet. Das Modell wird nach Auswahl der Modellierungssprache durch einen Modellierungsprozess erstellt und beinhaltet die relevanten Eigenschaften des abzubildenden Gegenstands.<sup>45</sup>

Prinzipiell lässt sich die Modellierung in zwei Ansätze einteilen:

- Top-Down Modellierung
- Bottom-Up Modellierung

Tabelle 1 stellt einen Vergleich der zwei Modellierungsmöglichkeiten auf. Die Ableitung der Inhalte des Modells aus bereits existierendem Wissen (wissensbasiert) wird als Top-Down-Modellierung bezeichnet und folgt dem Prinzip der Deduktion. Die aus der Modellierung gewinnbaren Erkenntnisse geben hauptsächlich Auskunft über die Strukturen der modellierten Systeme. Die zweite Möglichkeit ist die Bottom-Up-Modellierung, in der, basierend auf Daten, das Verhalten des Systems Betrachtung findet.<sup>46</sup> Beide Ansätze werden für die Modellierung in Kapitel 3 eingesetzt und bilden in Kombination mit dem Forschungsansatz nach ULRICH<sup>47</sup> eine wirkungsvolle Methodik in der angewandten Forschung, da iterative Schleifen den Modellersteller immer wieder in die Praxis zurückführen.

---

<sup>41</sup> Vgl. Ulrich, H. (2001), S. 23

<sup>42</sup> Vgl. Stachowiak, H. (1973), S. 131ff

<sup>43</sup> Vgl. Hansen, H.R. et al. (2019), S. 130

<sup>44</sup> Vgl. Krcmar, H. (2015), S. 32f

<sup>45</sup> Vgl. Krcmar, H. (2015), S. 34f

<sup>46</sup> Vgl. Galar Pascual, D. (2015), S. 7f

<sup>47</sup> Siehe Abschnitt 1.3 Wissenschaftliche Einordnung



Tabelle 1: Vergleich der Modellierungsansätze nach GALAR<sup>48</sup>

	wissensbasierter Ansatz	datenbasierter Ansatz
<b>Synonyme</b>	Modellierung Top-Down-Modellierung	Systemidentifikation Bottom-Up-Modellierung
<b>Argumentation</b>	Deduktion	Induktion
<b>modelliert:</b>	die innere Struktur des Systems	das Verhalten des Systems durch experimentelle Daten
<b>Problemtyp</b>	Analyse	Synthese

### 2.3.2 Metamodelle

Die Modellierung von realen Sachverhalten hat sich in der Praxis durchgesetzt, da die Modelleigenschaften, -grenzen und eingesetzten Methoden frei wählbar sind. Der Nachteil dieser Freizügigkeit ist ein Mangel an Standardisierungen. Metamodelle können für den Zweck eingesetzt werden, in geregelten Sprachen und Notationen das Abbild der Realität oder eines weiteren Modells zu modellieren. Der Modellierungsprozess wird durch die Modellierungsmethode beschrieben. Nach STRAHRINGER<sup>49</sup> besteht diese aus zwei Komponenten (siehe Abbildung 5):

#### Modellierungssprache

Die Modellierungssprache wird durch eine bestimmte Grammatik und Notation charakterisiert. Die beiden Komponenten werden durch die zugrundeliegenden Metamodelle definiert.

#### Modellierungsprozess

Der zweite Aspekt der Modellierungsmethode ist die Vorgehensmethodik, bei der der Modellierungsprozess vorgegeben wird. Bei der Erstellung des Modells wird eine definierte Vorgehenssystematik eingehalten.

#### Beispiel zu Abbildung 5:

Abbildung 5 lässt sich anhand eines Beispiels nachvollziehen. Bei jeder Modellierung wird versucht, die relevanten Systemeigenschaften, -beziehung und –zustände einer Domäne zu erfassen. Als Domäne wird in diesem Zusammenhang ein spezifischer Bereich gesehen, der für den Modellierer von Interesse ist. Angenommen es soll eine Karte einer bestimmten Region angefertigt werden, so ist in diesem Fall die Domäne der physische Ort und die Karte ein Modell davon. Je nachdem, welche Ziele das Modell verfolgen soll, gilt es einem bestimmten Modellierungsprozess zu folgen und eine Modellierungssprache einzuhalten. Die Erstellung einer Straßenkarte wird durch einen Modellierungsprozess durchgeführt, der wiederum einem bestimmten Vorgehensmodell

<sup>48</sup> In Anlehnung an Galar Pascual, D. (2015), S. 7

<sup>49</sup> Vgl. Strahringer, S. (1998), S. 2

(dem unmittelbar darüber liegenden prozessbasierten Metamodell) entspricht. Gleichmaßen gilt es eine bestimmte Modellierungssprache einzuhalten, wobei zwischen Notation und Grammatik unterschieden wird. Die Notation gibt vor, welche Symbole (Zeichen) in der Modellierungssprache verwendet werden und die Grammatik stellt die Regeln auf. Bei der Erstellung einer Straßenkarte, entspricht die Notation der zu verwendenden Symbolik wie Autobahnen, Straßen und Feldwegen und die Grammatik gibt die Regeln vor, ab wann eine Autobahn in diesem Fall als Autobahn zu bezeichnen ist.

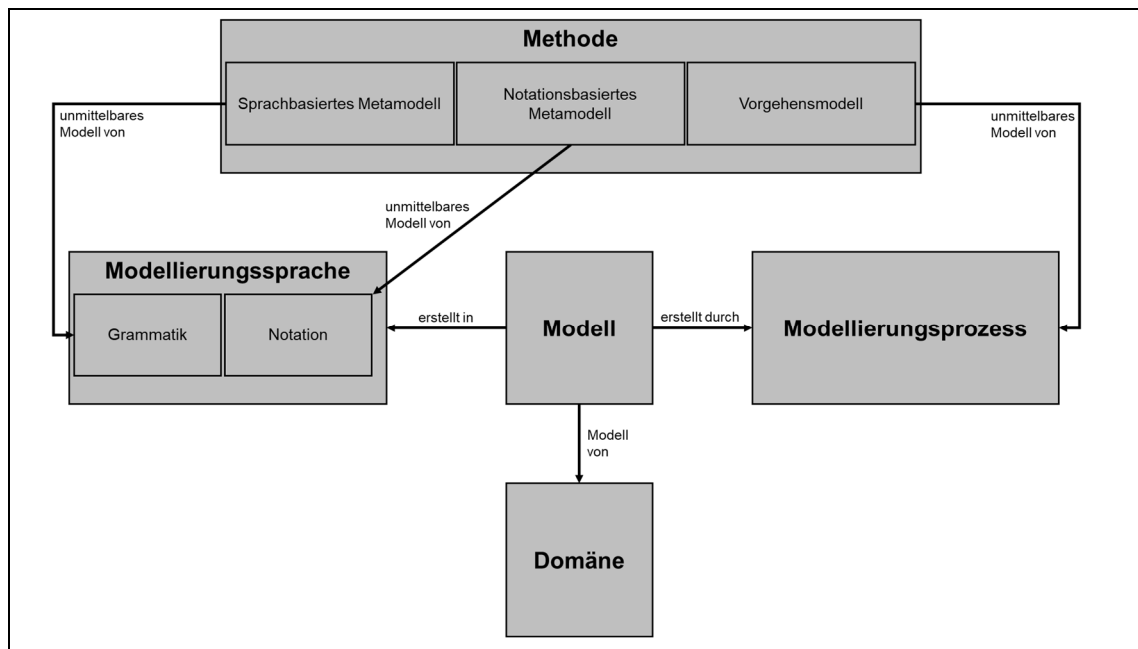


Abbildung 5: Modellierungsbestandteile<sup>50</sup>

### 2.3.3 Referenzmodelle

Nach SCHÜTTE besitzen Referenzmodelle einen Soll-Charakter, da sie eine Darstellung unternehmensspezifischer Prozesse erlauben. Sie sind damit ein wesentlicher Bestandteil der Wirtschaftsinformatik.<sup>51</sup> Ein Referenzmodell wird von SCHEER als Modell verstanden, das als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Problemlösungen dienen kann, die auf konkreten Aufgabenstellungen beruhen. Es wird zwischen folgenden Referenzmodellen unterschieden:

- Vorgehensreferenzmodelle – geben Hinweise zur effizienten Zielerreichung
- Softwarespezifische Referenzmodelle – beschreiben betriebliche Abläufe
- Branchenspezifische Referenzmodelle – beschreiben Geschäftsprozesse, die für eine Branche typisch sind<sup>52</sup>

Folgende Eigenschaften<sup>53</sup> gelten für alle Referenzmodelle:

- Allgemeingültigkeit
- Wiederverwendbarkeit

<sup>50</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Krcmar, H. (2015), S. 35

<sup>51</sup> Vgl. Schütte, R. (1998), S. 1

<sup>52</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (1999b), S. 6f

<sup>53</sup> Vgl. Cordes, A.-K. (2018), S. 48f

Beide Eigenschaften sind für das zu erstellende Referenzmodell von zentraler Bedeutung und lassen sich zu den Grundsätzen ordnungsgemäßer Modellierung<sup>54</sup> als einzuhaltende Regeln des Modellierungsprozesses formulieren. Für die Wirtschaftsinformatik wird die Allgemeingültigkeit und Wiederverwendbarkeit von Informationssystemen zunehmend wichtiger, da die informationstechnische Abbildung von komplexen Produktionssystemen immer schneller abgeschlossen werden muss. Die Entwicklungszeit ist daher ein großer Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens.

### **Referenz-Informationsmodell**

SCHÜTTE definiert das Referenz-Informationsmodell wie folgt:

*Ein Referenz-Informationsmodell ist das Ergebnis einer Konstruktion eines Modellierers, der für Anwendungssystem- und Organisationsgestalter Informationen über allgemeingültig zu modellierende Elemente eines Systems zu einer Zeit als Empfehlungen mit einer Sprache deklariert, so daß ein Bezugspunkt für ein Informationssystem geschaffen wird.*<sup>55</sup>

Das Referenzinformationsmodell dient als Ausgangspunkt für spezifische Weiterentwicklungen und besitzt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es müssen dennoch alle relevanten Elemente erfasst werden.

### **2.3.4 Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung**

Die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung (GoM) orientieren sich nach BECKER an den Grundsätzen ordnungsgemäßer Buchführung (GoB). In bestimmten Fällen mussten leichte Anpassungen durchgeführt werden<sup>56</sup>. Folgende Grundsätze wurden definiert und gelten als Modellierungsregeln für diese Arbeit<sup>57</sup>:

#### **Grundsatz der Richtigkeit**

Es werden zwei Arten von Richtigkeit unterschieden: die syntaktische Richtigkeit fordert einen geeigneten Methodeneinsatz im Modell und die semantische Richtigkeit beschreibt die inhaltliche Qualität des Modells. Als syntaktisch richtig wird ein Modell gesehen, wenn alle Regeln, die die Modellierungssprache vorgibt, eingehalten werden. Als semantisch richtig gilt ein Modell, wenn neben den formalen Kriterien (syntaktische Richtigkeit) auch die qualitativen, inhaltlichen Ansprüche des Modellnutzers erfüllt werden.

#### **Grundsatz der Relevanz**

Die Relevanz eines Modells kann nur über vorab definierte, explizite Ziele erfolgen. Die Feststellung lässt sich anhand der Darstellungsebenen und der eingesetzten Methoden

---

<sup>54</sup> Siehe nachfolgender Abschnitt 2.3.4 Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung

<sup>55</sup> Schütte, R. (1998), S. 69

<sup>56</sup> In den GoB wird u.a. der Grundsatz der Vollständigkeit festgelegt. Da Modelle immer abstrahiert werden und bestimmte Aspekte ausklammern, kann Vollständigkeit nicht erreicht werden, es wurde aus diesem Grund der Grundsatz der Vollständigkeit mit dem der Relevanz substituiert, vgl. Becker, J. et al. (2012), S. 31ff

<sup>57</sup> Vgl. Becker, J. et al. (2012), S. 32ff

durchführen, wobei eine zweckadäquate Anpassung für jedes Modellierungsvorhaben notwendig und sinnvoll ist.

#### **Grundsatz der Wirtschaftlichkeit**

Der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit fordert von einem Modell eine effiziente Vorgehensweise zur Erreichung des Modellziels. Je nach Festlegung kann Effizienz über den Input oder den Output gemessen werden.

#### **Grundsatz der Klarheit**

Mit dem Grundsatz der Klarheit wird die Verständlichkeit des Modells geprüft. Es soll sichergestellt werden, dass eine leichte Lesbarkeit, Anschaulichkeit und Verständlichkeit den Anwendungszweck des Modells erfüllt.

#### **Grundsatz der Vergleichbarkeit**

Der Grundsatz der Vergleichbarkeit lässt sich wiederum in zwei Komponenten aufspalten. Prozesse, die in der realen und virtuellen Welt gleich sind und innerhalb einer Modellierungssprache dokumentiert sind, sollten auch im Modell gleich sein. Die zweite Komponente betrifft heterogen-formulierte Modelle, die aus mehreren Modellierungssprachen bestehen. Die Vergleichbarkeit kann dennoch gegeben sein, wenn sich die Modelle einfach in eine andere Sprache übersetzen lassen.

#### **Grundsatz des systematischen Aufbaus**

Der systematische Aufbau eines Modells ist vor allem dann wichtig, wenn ein zusammenhängendes System modelliert wird. Die Konsistenz des Gesamtmodells kann nur dann festgestellt werden, wenn einzelne Sichten oder Ebenen miteinander in Verbindung stehen. Das bedeutet, wenn über den Prozess als Input-Output-Darstellung die Datenflüsse beschrieben werden, sollten die gleichen Objekte auch im Datenmodell Anwendung finden.

#### **Anwendung im zu erstellenden Modell**

Die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung geben für das zu erstellende Modell die notwendigen Regeln vor. In Abschnitt 3.8 wird die Einhaltung der Grundsätze kritisch überprüft.

## **2.4 Techniken in der Referenzinformationsmodellierung**

In dem folgenden Abschnitt werden Techniken der Referenzinformationsmodellierung (kurz Referenzmodellierung) vorgestellt, die in dieser Arbeit Anwendung finden. Hervorzuheben ist, dass für die Referenzmodellierung eine immense Vielfalt an Methoden in Frage kommt, die aber im Ursprung eine ähnliche Basis haben. So gibt es unterschiedliche Formen der Datenmodellierung, die Teilaspekte stärker oder schwächer beachten, jedoch in den meisten Fällen die gleiche Grundstruktur besitzen. Es wird daher ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Ziel der entwickelten Modelle eine Abstraktionsebene ist, auf der sich die Geschäftsprozesse leicht in eine andere

Sprache übersetzen und demzufolge gewährleistet ist, dass sich die erstellten Modelle schnell und unkompliziert implementieren lassen.

### 2.4.1 Geschäftsprozessmodellierung mit dem ARIS-Haus

Generell lässt sich ein Geschäftsprozess als ein Vorgang beschreiben, in dem eine Organisationseinheit Ressourcen einsetzt, um Kunden mit den gewünschten Produkten oder Dienstleistungen zu versorgen. Es entsteht dabei immer eine Transformation von Inputs zu Outputs.<sup>58</sup> Diese sehr allgemein gehaltene Definition eines Prozesses wird in den folgenden Punkten vertieft und es wird gezeigt, welche Techniken existieren, um, ausgehend von der Input→Output-Perspektive, die Blackbox aufzubrechen und den Prozess in verschiedenen Ebenen zu beschreiben.

Das von SCHEER entwickelte ARIS-Konzept (Architecture of Integrated Information Systems) liefert verschiedene Anwendungsmöglichkeiten für die Modellierung von Geschäftsprozessen und lässt sich in folgende Punkte einteilen<sup>59</sup>:

- Architektur für die Beschreibung von Geschäftsprozessen (ARIS-Haus)
- Modellierungsmethoden für Metamodelle
- Bereitstellung von Anwendungstools durch ARIS Software Solutions<sup>60</sup>
- ARIS-House of Business Engineering (HOBE)

Für die Modellierung eines Informationssystems sind vor allem die drei ersten Punkte relevant. Im HOBE besteht der Fokus auf Prozessverbesserungen sowie der Implementierung von Applikationen und wird daher in dieser Arbeit ausgeklammert.<sup>61</sup>

Die Architektur für die Beschreibung von Geschäftsprozessen ist in Abbildung 6 dargestellt. Das Haus ist in fünf Sichtweisen aufgeteilt:

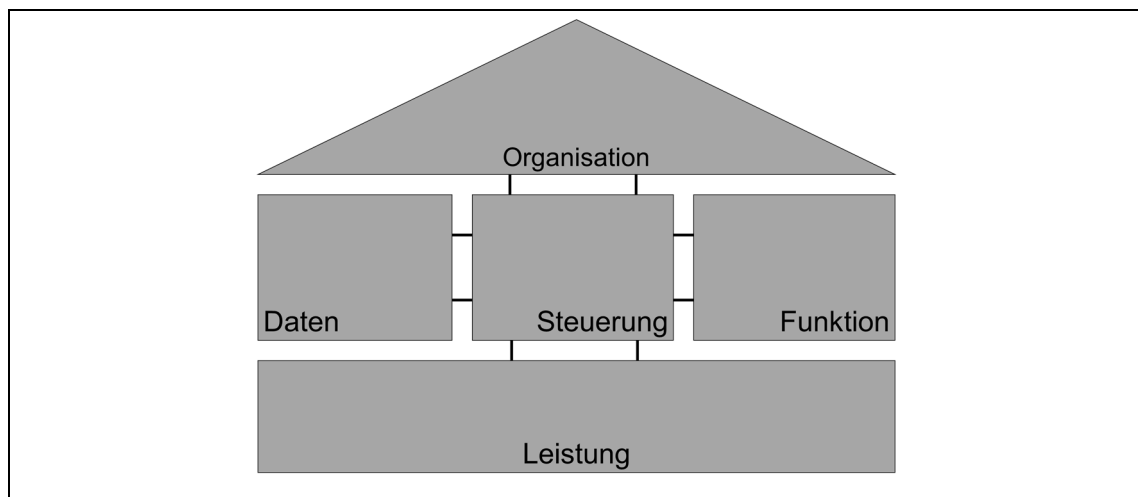


Abbildung 6: ARIS-Haus<sup>62</sup>

<sup>58</sup> Vgl. Laguna, M.; Marklund, J. (2019), S. 2

<sup>59</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (1999a), S. 1

<sup>60</sup> Die eingesetzte Software ist ARIS Cloud, die über einen Webbrowser den Großteil aller Geschäftsprozessmodellierungsmöglichkeiten zur Verfügung stellt (eu.ariscloud.com; Copyright © 2012 - 2019 Software AG, Darmstadt, Germany)

<sup>61</sup> Siehe Scheer, A.-W. (2000), S. 4ff

<sup>62</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Scheer, A.-W. (2000), S. 21

Die Perspektiven werden in den folgenden Punkten einzeln beschrieben, wobei mit der für diese Arbeit wichtigsten, der Funktionssichtweise, begonnen wird. Eine detaillierte Erklärung der Sichtweisen folgt in den jeweiligen Modellierungsabschnitten<sup>63</sup>.

### **Funktionen**

Für die Geschäftsprozessmodellierung ist die Perspektive Funktionen von hoher Bedeutung, da die in diesem Abschnitt beschriebene Definition eines Prozesses Anwendung findet. In jedem Geschäftsprozess existieren Verarbeitungsvorgänge von Inputs zu Outputs, in denen Informationen oder Materialien transformiert werden. Die Begriffe Prozess, Funktion, Aktivität oder Vorgang werden in der Literatur synonym verwendet<sup>64</sup>, dementsprechend kann keine generelle Regel zur Unterscheidung der Begriffe herangezogen werden. Für diese Arbeit besteht ein Geschäftsprozess aus Funktionsbündeln, die wieder rum in Vorgänge unterteilt werden können<sup>65</sup>. Die Funktionsbündel sind fachliche Aufgaben bzw. Tätigkeiten zur Unterstützung eines oder mehrerer Unternehmensziele<sup>66</sup>.

### **Daten**

In der Datensicht werden Datenobjekte präsentiert, die von den bereits beschriebenen Funktionen benutzt / verändert / manipuliert werden können. Je nach Verwendungszweck lassen sich Daten durch unterschiedliche Diagrammart repräsentieren. Im Allgemeinen werden UML- / ERM-Diagramme<sup>67</sup> eingesetzt, um die Attribute und Verbindungen der Datenobjekte darzustellen.

### **Leistung**

In der Leistungssicht werden die Outputs der Funktionen dargestellt und vervollständigen damit das Bild eines Prozesses<sup>68</sup>. Die Leistungssicht wird vielfach für die Darstellung von Geschäftsprozessen in der Produktion genutzt, um die realen Produkte des zu modellierenden Betriebs beschreiben zu können.

### **Steuerung**

Die Steuerungsperspektive vereint die verschiedenen Sichtweisen je nach Konfiguration der Modellierung und dem daraus resultierenden Nutzen der Kombination von zwei oder mehreren Sichtweisen<sup>69</sup>.

### **Organisation**

Die Organisationssicht stellt den benötigten Aufbau des Gesamtsystems dar und beinhaltet in vielen Fällen vor allem die Funktionen der Aufbauorganisation. Für die Entwicklung eines Informationssystems wird in dieser Perspektive vor allem die Frage beantwortet: Welche Abteilung ist für den Prozess zuständig?

---

<sup>63</sup> Siehe Abschnitt 3.4 – 3.7 Funktions-, Ziel-, Steuerungs- und Datenmodellierung

<sup>64</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (2000), S. 21; Mertens, P. et al. (2017), S. 67

<sup>65</sup> Siehe Abschnitt 3.4 Funktionsmodellierung

<sup>66</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (2000), S. 22; Seidlmeier, H. (2004), S. 21

<sup>67</sup> Unified Modelling Language / Entity Relationship Model

<sup>68</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (2000), S. 93ff

<sup>69</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (2000), S. 102

## 2.4.2 Datenmodellierung

Eine Kernaufgabe der Wirtschaftsinformatik besteht darin, die Struktur von Daten festzulegen. In der Datenmodellierung muss eine Ordnung erstellt werden, in der die zu verarbeitenden Daten sinnvoll die Informationssysteme unterstützen. Dabei gilt es äußerst sorgfältig vorzugehen, da die spätere Entwicklung von dieser Basis abhängig ist.<sup>70</sup> Der zu modellierende betriebswirtschaftliche Anwendungsbereich wird mit den Mitteln des jeweiligen theoretischen Ansatzes so erstellt werden, dass die gestellten Aufgaben gelöst werden können<sup>71</sup>. In den folgenden Punkten werden die Nutzenpotenziale erfasst und die wichtigste Methode vorgestellt, mit der sich Daten modellieren lassen<sup>72</sup>.

### Nutzenpotenziale der Datenmodellierung

Die Nutzenpotenziale von Datenmodellen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Untergliederung der Nutzenkomponenten erfolgt über die Einsatzfelder und die jeweilige Funktion. Bei den Einsatzfeldern wird zwischen dem Entwurf von Informationssystemen und dem Informationsmanagement unterschieden. Das zweite Unterscheidungsmerkmal ist die Funktion, bei der zwischen Klärung, Dokumentation und Gestaltung unterschieden werden kann.<sup>73</sup> Die Vorteile der Datenmodellierung für das zu erstellende Referenzmodell liegen im Informationsmanagement. Besonderer Nutzen verspricht die Klärung der Begriffe sowie die Informationsbedarfsanalyse. Es kann eine Form der Schwachstellenanalyse im Datenmanagement und eine Informationsbewertung erfolgen.

Tabelle 2: Nutzenpotenziale von Datenmodellen<sup>74</sup>

<b>Einsatzfeld / Funktion</b>	<b>Entwurf von Informationssystemen (IS)</b>	<b>Informationsmanagement</b>
<b>Klärung</b>	Anforderungsspezifikation	Begriffserklärung
	Integration heterogener Systeme	Informationsbedarfsanalyse
	Reengineering	
<b>Dokumentation</b>	Dokumentation der IS	Globales Informationsverzeichnis
	Kommunikation mit dem Anwender	Zugriffsmedium
		Begriffsdokumentation (Organisationshandbuch)
		Einarbeitung von Mitarbeitern

<sup>70</sup> Vgl. Gadatsch, A. (2019), S. 4

<sup>71</sup> Vgl. Staud, J.L. (2005), S. 5

<sup>72</sup> Vgl. Song, I.-Y. et al. (1995), S. 428; Patel, A.R. (2012), S. 240; Chen, P.P.-S. (1976) entwickelte Methode gilt als Standard in der Datenmodellierung.

<sup>73</sup> Vgl. Hars, A. (1994), S. 28f

<sup>74</sup> Quelle: In Anlehnung an Hars, A. (1994), S. 29

<b>Gestaltung</b>	Projektabgrenzung	Schwachstellenanalyse
	Schnittstellendefinition	Informationsbewertung
	Trennung fachlicher und DV-technischer Aspekte (Wiederverwendbarkeit)	Verantwortlichkeit für Information
	Generierung von Datendefinitionen	Reintegration von Funktionen
	Auswahl von Software	
	Konfiguration	

### Entity Relationship Modell (ERM)

Die Erstellung von Entity Relationship Modellen (ERM) ist die gebräuchlichste Methode der Datenmodellierung. Die Verbreitung der Methode ist auf den ursprünglichen Grundgedanken bei der Generierung der ERM zurückzuführen. CHEN leitet die Hauptbestandteile aus der Systemtheorie und damit auf einer Denkweise ab, die in der Realität vielfach Anwendung findet. Wie bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben, besteht ein System aus Systemelementen, die in Beziehungen zueinanderstehen. Die gleiche Annahme gilt für Datensysteme, die Objekte der realen Welt darstellen (beispielsweise Personen, Maschinen, oder andere Gegenstände) die bestimmte Verbindungen miteinander haben.<sup>75</sup> Dabei werden folgende Hauptbestandteile unterschieden<sup>76</sup>:

- Entitäten: Objektklassen, die im definierten System betrachtet werden (z.B. Auftragsdaten, Anlagedaten oder Zustandsdaten)
- Relationen: Beziehungen zwischen Objektklassen (z.B. eine Anlage kann mehrere Aufträge haben, ein Auftrag kann aber nur eine Anlage haben)
- Attribute: Eigenschaften innerhalb des Kontexts einer Objektklasse (z.B. besteht die Entität Auftragsdaten aus den Attributen Auftragsstart und Auftragsende). Attribute lassen sich in drei Arten unterscheiden<sup>77</sup>
  - Benennungen
  - qualitative Attribute
  - quantitative Attribute
- Schlüsselattribute: Das Schlüsselattribut oder Primärschlüssel (im Englischen Primary Key (PK)) ist eine minimale Menge von Attributen, die eine Entität identifiziert (ein oder mehrere Attribute sind möglich)<sup>78</sup>
- Fremdschlüssel: Der Fremdschlüssel (im Englischen Foreign Key (FK)) wird häufig zur Suchfunktion eingesetzt und ist optional. FK müssen nicht notwendigerweise eindeutig sein

In Abbildung 7 werden Beispiele für ein ERM gezeigt. Im ersten Diagramm (die Diagramme sind jeweils durch Doppelstriche getrennt) hat jeder IH-Auftrag genau eine Anlage. Umgekehrt kann eine Anlage mehrere IH-Aufträge haben. Die Art der Relation

<sup>75</sup> Vgl. Chen, P.P.-S. (1976), S. 9f

<sup>76</sup> Vgl. Fleischmann, A. et al. (2018), S. 50

<sup>77</sup> Vgl. Staud, J.L. (2005), S. 12

<sup>78</sup> Vgl. Gadatsch, A. (2019), S. 10



wird über die Kardinalität<sup>79</sup> ausgedrückt. Das zweite ERM stellt eine 1:1 Beziehung dar. Einem Mitarbeiter wird genau ein PC zugeordnet und einem PC darf auch nur ein Mitarbeiter zugeordnet werden. Im dritten Diagramm können mehrere IH-Aufträge von mehreren IH-Mitarbeitern durchgeführt werden. In allen Fällen enthalten die jeweils zwei Entitäten außerdem unterschiedliche Attribute. Jede Entität (oder Entitätsgruppe) ist einer Datengruppe zugeordnet und dient daher der Verdichtung von Informationen (Attributen) auf einer höheren Ebene nach sinnvollen und notwendigen Kriterien.<sup>80</sup> Die Kardinalität ist ein Maß für den Grad der Beziehung und kann folgende Typen annehmen:

- 1:N Beziehungstyp: Es besteht keine eindeutige Zuordnung (eins zu viele). Beispiel: Einer Anlage können mehrere IH-Aufträge zugeordnet werden. Ein IH-Auftrag kann aber nur einer Anlage zugeordnet werden
- 1:1 Beziehungstyp: Es besteht eine eindeutige (eins zu eins) Zuordnung zwischen zwei Entitäten. Beispiel: Einem Mitarbeiter ist genau ein PC zugeordnet und einem PC genau ein Mitarbeiter
- N:M Beziehungstyp: Ein Mitarbeiter kann mehrere IH-Aufträge durchführen und IH-Aufträge können von mehreren Mitarbeitern durchgeführt werden

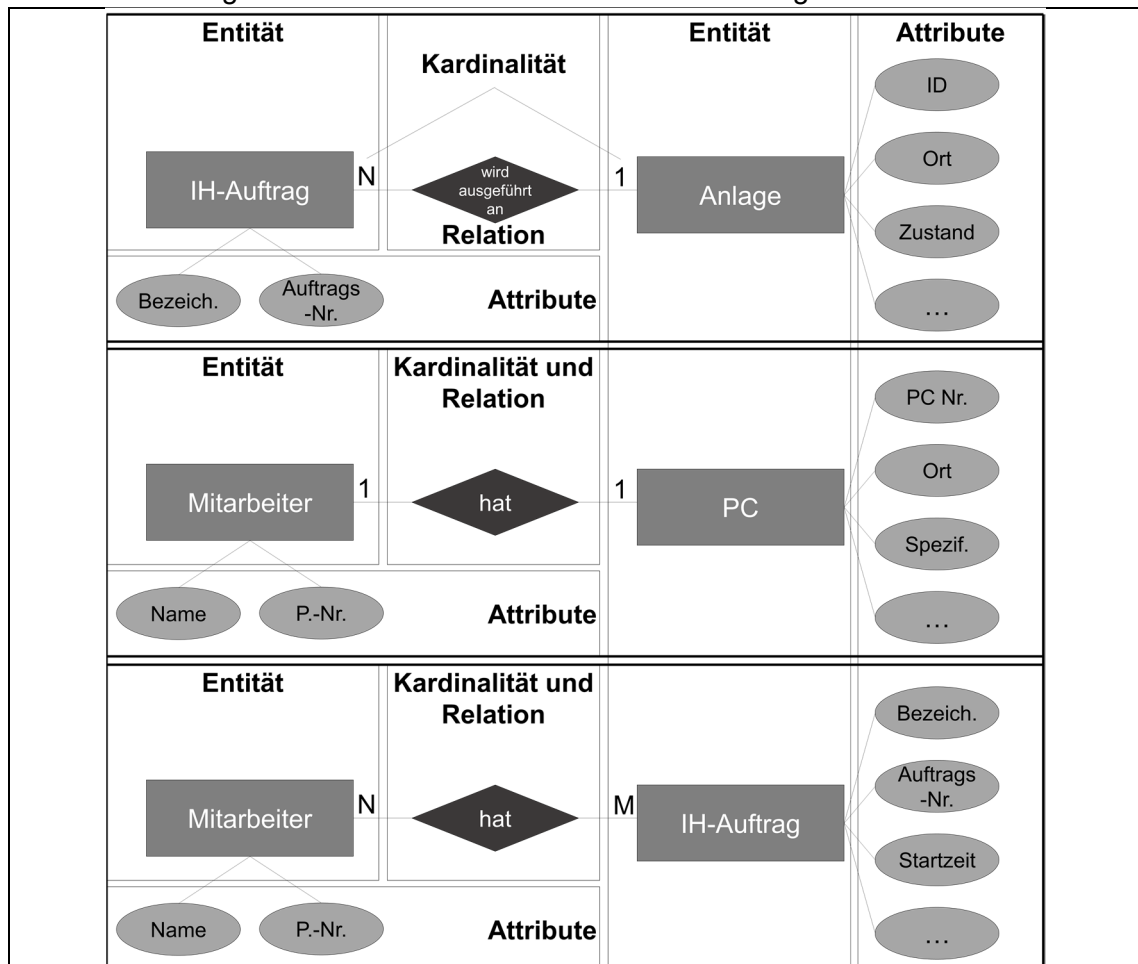


Abbildung 7: Beispiel für ein Entity-Relationship-Modell<sup>81</sup>

<sup>79</sup> siehe nachstehende Erklärung

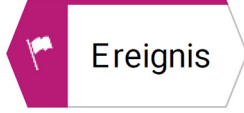
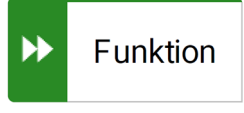
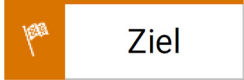
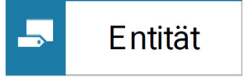

<sup>80</sup> Vgl. Stender, S. (1992), S. 362

<sup>81</sup> Eigene Darstellung

### 2.4.3 Ereignis-gesteuerte Prozessketten (EPK)

Zur Modellierung von Geschäftsprozessen kann die Methode Ereignis-gesteuerte Prozessketten (EPK) eingesetzt werden. Die Entwicklung von EPK geht auf eine Zusammenarbeit der SAP AG mit dem Institut für Informationssysteme der Universität Saarland zurück<sup>82</sup>. Die Beliebtheit der Methode lässt sich, ähnlich wie bei dem ERM, darauf zurückführen, dass sie in der Lage ist, komplexe Problemstellungen übersichtlich darzustellen. Die Erfassung der Komplexität lässt sich dadurch realisieren, eine begrenzte Anzahl an Symbolen (siehe Tabelle 3) zur Verfügung zu stellen, die aber genau den relevanten Inhalt (das zu beschreibende System mit seinen Beziehungen) zeigen kann. In Tabelle 3 wird die eingesetzte Symbolik aufgeführt.

**Tabelle 3: Symbole der EPK<sup>83</sup>**

Element	Symbol
Ereignis	 Ereignis
Funktion	 Funktion
Ziel	 Ziel
Entität	 Entität
Attribut	 Attribut

Die in Tabelle 3 gezeigten Elemente haben folgende Funktionen:

- Ereignisse stellen dar, dass etwas geschehen ist, das eine Funktion auslöst oder beendet
- Funktionen können je nach Hierarchieebene Geschäftsprozesse, Hauptprozesse oder Detailprozesse darstellen. Die Begriffe Prozess und Funktion werden synonym verwendet, um die Regeln der ARIS-Modellierung einzuhalten
- Ziele symbolisieren den Zweck einer Funktion. Jede Funktion verfolgt mindestens ein Ziel
- Entitäten stellen Objekte dar, die in dem Datenmodell zusammenfassend einen Cluster für Attribute bilden
- Attribute sind die Eigenschaften der Entitäten. Sie können in einer tabellarischen Datenbank als Spalten der Tabelle verstanden werden

<sup>82</sup> Siehe Keller, G. et al. (1992)

<sup>83</sup> Symbolik stammt aus der verwendeten Software ([www.ariscloud.com](http://www.ariscloud.com))

### 2.4.4 IDEF0-Modell

In den 1970er Jahren wurde das Programm der US-Luftwaffe für Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) gegründet, das versuchte, die Produktivität der Fertigung durch systematische Anwendung von Analyse- und Kommunikationstechniken zu steigern. Als Folge entwickelte das ICAM-Programm eine Reihe von Modellierungstechniken, die als IDEF –Techniken bekannt wurden<sup>84</sup>:

- IDEF0-Funktionsmodell: Ein Funktionsmodell ist eine strukturierte Darstellung der Funktionen, Aktivitäten oder Prozesse innerhalb des modellierten Systems oder Fachgebiets
- IDEF1-Informationsmodells: Ein Informationsmodell stellt die Struktur und Semantik von Informationen innerhalb des modellierten Systems oder Fachgebiets dar
- IDEF2-Dynamikmodell: Ein Dynamikmodell stellt die zeitveränderlichen Verhaltensmerkmale des modellierten Systems oder Themenbereichs dar

Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Systematik der Modellierungsmethode. Die einzelnen Komponenten haben folgende Funktion<sup>85</sup>:

- Input: Daten oder Objekte, die von der Funktion in den Output transformiert werden
- Control: bestimmen die Steuerung der Funktion, d.h. die Bedingungen, die für den korrekten Output erforderlich sind
- Mechanism: Daten oder Objekte, die den Mechanismus ausdrücken, d.h. die Mittel, die zur Ausführung einer Funktion verwendet werden
- Call: ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Details zwischen Modellen
- Output: Daten oder Objekte, die von der Funktion transformiert wurden

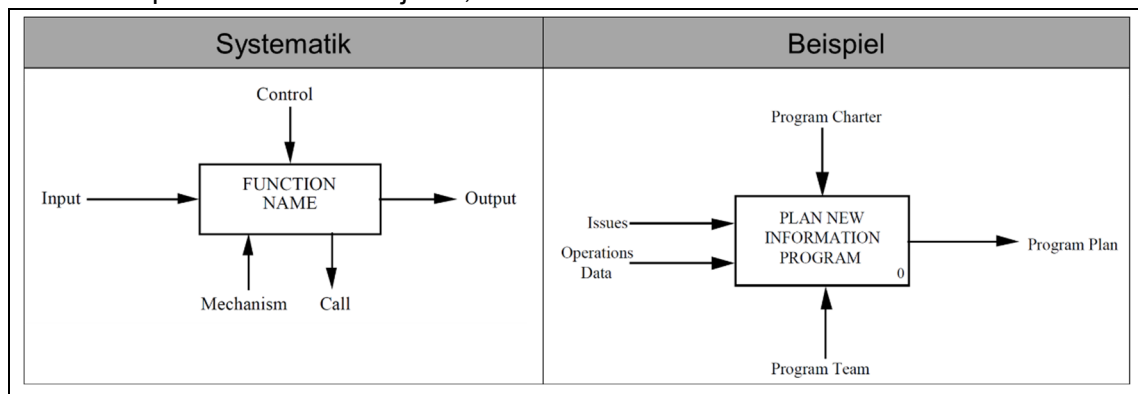


Abbildung 8: Systematik der IDEF0-Modellierung<sup>86</sup>

### 2.4.5 Funktions- und Zielbäume

Funktions- und Zielbäume werden in ARIS häufig zur Darstellung der Objekte (Systemelemente) eingesetzt. Der Funktions- oder Zielbaum kann die hierarchische oder strukturelle Zerlegung zeigen und erfüllen dabei folgende Zwecke<sup>87</sup>:

<sup>84</sup> Vgl. Federal Information Processing Standards Publications (1993), S. 5

<sup>85</sup> Vgl. Federal Information Processing Standards Publications (1993), S. 3ff

<sup>86</sup> Quelle: Federal Information Processing Standards Publications (1993), S. 11ff

<sup>87</sup> Vgl. Seidlmeier, H. (2004), S. 62ff

- Darstellung von statischen Funktions- oder Zielzusammenhängen
- Einstiegs- und Überblicksmodell
- Brainstorming-Instrument (hier nicht relevant)

#### 2.4.6 Resümee zum Einsatz der Modellierungstechniken

Das zu erstellende Modell soll in der Lage sein, unterschiedliche Sichtweisen und Ebenen des Informationssystems zu abstrahieren und alle wichtigen Aspekte darzustellen. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Modellierungstechniken eingesetzt. Um die Grundsätze der Modellierung<sup>88</sup> nicht zu verletzen, wird in Kapitel 2 eine für das zu erstellende Referenzmodell gültige Grundlegung definiert und jeder Aspekt in einer kritischen Würdigung behandelt<sup>89</sup>. Für die Datenmodellierung werden Entity Relationship Modelle verwendet. Die Ereignis-gesteuerten Prozessketten finden in der Steuerungsmodellierung Einsatz und für die Funktions- und Zielmodellierung werden Funktions- und Zielbäume gezeichnet. Das IDEF0-Diagramm dient in den verschiedenen Ebenen zur Darstellung der Instandhaltungsregelkreise.

### 2.5 Managementtheoretische Grundlegung

ULRICH definiert Management als Gestalten, Lenken und Entwickeln von zweckorientierten sozialen Systemen<sup>90</sup>. Für WOLF kann der Begriff synonym verwendet werden<sup>91</sup>:

- instrumentell: Management als Führung und Leitung von Sozialsystemen
- institutionell: Gruppe von Personen, der die Führung und Leitung der Sozialsysteme obliegt

SCHREYÖGG fasst das Management übergreifend zusammen und definiert es als *einen Komplex von Steuerungsaufgaben, die bei der Leistungserstellung und -sicherung in arbeitsteiligen Organisationen erbracht werden müssen*.<sup>92</sup>

Die benötigten Funktionen des Managements, die mit den Steuerungsaufgaben kommen, wurden 1955<sup>93</sup> formuliert und besitzen weiterhin ihre Gültigkeit. Sie unterteilen sich nach dem funktionalen Ansatz in:

- Planung
- Organisation
- Personaleinsatz
- Kontrolle
- Führung

---

<sup>88</sup> Siehe Abschnitt 2.3.4 Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung

<sup>89</sup> Siehe Abschnitt 3.8 Kritische Würdigung des Referenzmodells

<sup>90</sup> Vgl. Ulrich, H. (1984), S. 11

<sup>91</sup> Vgl. Wolf, J. (2011), S. 47

<sup>92</sup> Schreyögg, G.; Koch, J. (2007), S. 8

<sup>93</sup> Vgl. Koontz, H. et al. (1955), S. 34ff; siehe auch Baumgartner, R.J. et al. (2006), S. 2ff für den Begriff Koordinationsobjekte unter den die Information, Organisation, Ziele sowie Planung und Steuerung fallen

Der Prozess der Unternehmensführung, der mit dem Begriff Management vielfach gleichgesetzt wird<sup>94</sup>, ist in Abbildung 9 dargestellt. Neben den bereits formulierten Elementen wird die Festlegung von Zielen und die Informationswirtschaft noch zusätzlich hervorgehoben.

In den folgenden Punkten und Abbildung 9 wird auf die Hauptelemente des Managementprozesses eingegangen. Dabei wird deutlich, dass die ausgewählten Elemente in den Abstraktionsebenen unterhalb stark miteinander interagieren und die Planung beispielsweise, auch bei der Ausführung ein wichtiger Vorgang ist. Es wird außerdem hervorgehoben, dass neben den Hauptaufgaben noch weitere, sogenannte Meta-Funktionen eingezeichnet sind, wie die Entscheidung. Es ist offensichtlich, dass diese Funktion nicht nur in der Planung eine Rolle spielt, sondern Entscheidungen auch beispielsweise in der Organisation oder Führung kontinuierlich getroffen werden müssen.<sup>95</sup> Die Darstellung stellt die Information als verbindende Funktion in den Mittelpunkt und zeigt damit ihre Wichtigkeit. Ohne Informationsmanagement kann es keine Planung, Organisation, Führung, Kontrolle, Ausführung, Steuerung oder Zielbildung geben.

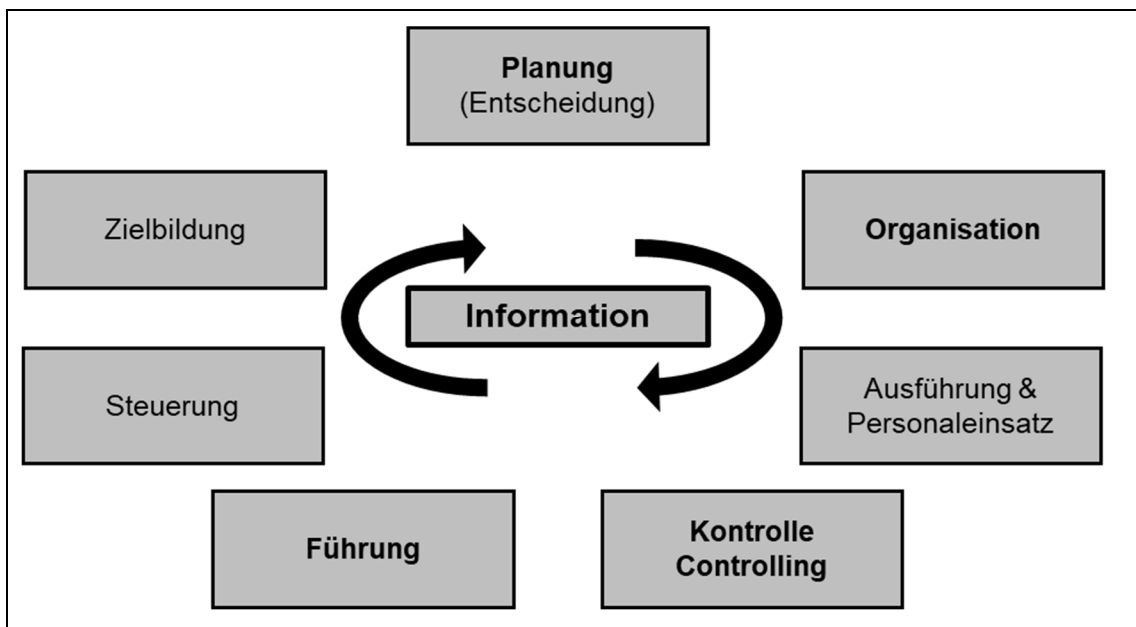


Abbildung 9: Managementfunktionen<sup>96</sup>

## Planung

Die Planung legt den Grundstein für die weiteren Funktionen des Managements und hat dementsprechend eine große Bedeutung. Sie beeinflusst den Entscheidungsprozess stark, da in der Planung die Auswahl für eine bestimmte Alternative erfolgt<sup>97</sup>. Im Planungsprozess werden zusätzlich Ziele, Unternehmenspolitik, Prozesse und Programme berücksichtigt und miteinbezogen<sup>98</sup>.

<sup>94</sup> Siehe Wöhe, G. et al. (2016), S. 48

<sup>95</sup> Vgl. Schreyögg, G.; Koch, J. (2007), S. 9

<sup>96</sup> In Anlehnung an die von Ulrich, H. (1984) definierten Managementfunktionen

<sup>97</sup> Vgl. Thommen, J.-P. et al. (2017), S. 500

<sup>98</sup> Vgl. Koontz, H.; Cyril, O. (1955), S. 34

Um Entscheidungen treffen zu können, muss zunächst die Willensbildung erfolgen und dann durchgesetzt werden. Der erste Teil, die Willensbildung, überschneidet sich stark mit der Planung. Es erfolgt zunächst das Erkennen und Klarstellen des Problems, dann eine Festlegung von Kriterien und die Suche nach Handlungsalternativen und zuletzt die Auswahl der günstigsten Handlungsweise.<sup>99</sup>

Für die Planung sind folgende Elemente<sup>100</sup> wichtig:

- Planungsobjekt
- Planungssubjekt
- Planungsdaten
- Planungszeitraum

Die Planung hat eine besondere Stellung im Managementprozess, da sie unabhängig von der Dimension Zeit eine hohe Bedeutung hat. Der logische Ausgangspunkt eines Managers ist stets das Nachdenken darüber, was erreicht werden soll und wie das definierte Ziel am besten zu erreichen ist<sup>101</sup>. Die formulierten Ziele können kurzfristig oder langfristig zu erfüllen sein und in jedem Fall muss eine Planung den Prozess initiieren. Ein Beispiel für die Bedeutung der Planung liefert BIEDERMANN in seinem Beitrag zur Planung in der Instandhaltung. Das Instandhaltungsmanagementsystem wird hier grob nach den Elementen des Managementprozess konstruiert und auf die Prozesse der Planung reduziert.<sup>102</sup>

### **Organisation**

GUTENBERG, der bereits 1958 die Planung, Organisation und Kontrolle als Führungsinstrumente dargelegt hat<sup>103</sup>, bezeichnet die Organisation des Betriebs als wichtiges Werkzeug, um die festgelegten Ziele und die daraus resultierende Planung umzusetzen. Die beiden Führungsinstrumente stehen in einem komplementären Verhältnis zueinander. Ohne Planung ist die Organisation nur bedingt handlungsfähig und ohne Organisation kann das Geplante nicht durchgesetzt werden.<sup>104</sup>

Im Managementprozess ist die Organisation dem Schritt Ausführung zuzurechnen<sup>105</sup> und unterteilt sich in Aufbau- und Ablauforganisation. Die Schlüsselfaktoren einer effizienten und effektiven Organisation sind die horizontale- und vertikale Vernetzung im Betrieb sowie die Schaffung eines geeigneten Kommunikationssystems.<sup>106</sup>

### **Personaleinsatz**

In der Organisation wird die formulierte Strategie nach den geplanten Zielvorstellungen möglichst ressourceneffizient umgesetzt. Der Personaleinsatz, der alle auf die Mitarbeiter bezogenen Gestaltungsmöglichkeiten zur Erreichung der

---

<sup>99</sup> Vgl. Heinen, E. (1990), S. 47

<sup>100</sup> Vgl. Wöhe, G. et al. (2016), S. 72

<sup>101</sup> Vgl. Schreyögg, G.; Koch, J. (2007), S. 10

<sup>102</sup> Vgl. Biedermann, H. (1987a), S. 410

<sup>103</sup> Vgl. Gutenberg, E. (1958), S. 47

<sup>104</sup> Vgl. Gutenberg, E. (1958); S. 49; und siehe auch Koontz, H. et al. , S. 34, die eine strikte Aufteilung und Trennung von Planung und Organisation in der Betriebsstruktur kritisieren.

<sup>105</sup> Vgl. Abbildung 9 – wobei auch die Ausführung als Teil der Organisation gesehen werden kann. Es soll damit keine kausale Abfolge definiert werden.

<sup>106</sup> Vgl. Schreyögg, G.; Koch, J. (2007), S. 10

Unternehmensziele umfasst<sup>107</sup>, beeinflusst die Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung stark.

### **Kontrolle**

Die abschließende Phase des Managementprozesses besteht in der Kontrolle der erzielten Ergebnisse mit den Plandaten. Dabei besteht die Aufgabe darin, Soll-Ist-Vergleiche durchzuführen, um den Umsetzungsgrad des Planungsprozesses zu evaluieren. Die Kontrolle bildet mit den entstehenden Informationen gleichzeitig den Input für eine kontinuierliche Verbesserung der Planung.<sup>108</sup>

### **Controlling**

Die Vernetzung der Managementinstrumente untereinander lässt sich im Controlling anschaulich darstellen. HORVATH sieht aus diesem Grund die Koordination als zentrale Funktion des Controllings und definiert Controlling als die Gesamtheit, mit der die Teilfunktionen Führung, Planung und die Kontrolle mit der Informationsversorgung koordiniert wird<sup>109</sup>.

### **Information**

Das Wesen und den Begriff Information beschreibt WITTMANN als zweckorientiertes Wissen. Dabei wird Wissen durch Beobachtungen und Erfahrungen gewonnen, die soweit sicher sind, dass aus ihnen Urteile und Schlüsse für die Zukunft abgeleitet werden können.<sup>110</sup> Die Zweckorientierung der Ressource Information muss gerade im Informationszeitalter hervorgehoben werden, dient sie doch vor allem dazu, die Führungskraft bei der Entscheidung zu unterstützen. BAUMGARTNER listet neben der Organisation, den Zielen, der Planung und der Steuerung auch die Information zu den wichtigsten Objekten des Managements<sup>111</sup>. In Abbildung 9 wird die Aufgabe von Informationen im Kontext zu den anderen Managementfunktionen ersichtlich. Die Information und das Informationsmanagement verbinden alle Elemente miteinander. Neben dem Materialfluss ist damit der Informationsfluss für den Erfolg eines Unternehmens von großer Bedeutung.

### **Führung**

Die bereits vorgestellten Instrumente schaffen den Rahmen und die Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung der gestellten Aufgaben. Anschließend muss vor allem die Ressource Mensch optimal eingesetzt werden. Die konkrete Veranlassung der Arbeitsaufträge oder zieladäquate Feinsteuerung sind Führungsaufgaben, die nun im Vordergrund stehen.<sup>112</sup>

---

<sup>107</sup> Vgl. Wöhe, G. et al. (2016), S. 119

<sup>108</sup> Vgl. Schreyögg, G.; Koch, J. (2007), S. 11

<sup>109</sup> Vgl. Horváth, P. (1980), S. 4ff

<sup>110</sup> Vgl. Wittmann, W. (1959), S. 14f

<sup>111</sup> Vgl. Baumgartner, R.J. et al. (2006), S. 2

<sup>112</sup> Vgl. Schreyögg, G.; Koch, J. (2007), S. 11

## 2.6 St. Galler Management-Konzept

Das St. Galler Managementkonzept gliedert das Management in drei Ebenen auf, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Ausgehend von den systemorientierten Ansätzen ULRICHS<sup>113</sup> wird zwischen der normativen, strategischen und operativen Ebene unterschieden. Es liefert damit einen Überblick über die unternehmensinternen Erfolgsdeterminanten. Der zweite Vorteil des Modells liegt in der Schaffung eines Orientierungsrahmens für das Zusammenspiel der einzelnen Module. Damit kann bei konsequenter Betrachtung eine ganzheitliche Perspektive gewährleistet werden.<sup>114</sup>

### Normative Ebene

Das normative Management beschäftigt sich mit der Unternehmensverfassung, Unternehmenspolitik sowie der Unternehmenskultur. Es werden die generellen Ziele der Unternehmung, die Prinzipien, Normen und Spielregeln behandelt, die auf die Lebens- und Entwicklungsfähigkeit des Unternehmens ausgerichtet sind. Unter Entwicklungsfähigkeit wird die qualifizierte Veränderung eines positiven, sinnvollen Wandels verstanden. Ausgangspunkt bildet die Unternehmensvision, deren Inhalt das unternehmenspolitische Handeln und Verhalten definiert (siehe Abbildung 10). In dieser Ebene wird die Legitimation für das Handeln in den zwei weiteren Ebenen gegeben.<sup>115</sup>

### Strategische Ebene

Nach BLEICHER ist *das strategische Management auf den Aufbau, die Pflege und die Ausbeutung von Erfolgspotenzialen gerichtet, für die Ressourcen eingesetzt werden müssen*.<sup>116</sup> Die Ausgestaltung des strategischen Management leitet sich von den Missionen des normativen Managements ab. Im Mittelpunkt stehen dabei die zu entwickelnden Programme, die grundsätzliche Auslegung von Strukturen und Systemen sowie das Problemverhalten der Anwender. Die strategische Ebene legt damit die Handlungen fest, die das Unternehmen, entsprechend der definierten Politik, tätigen muss und bildet damit die Grundlage effektiven Handelns.<sup>117</sup>

### Operative Ebene

Die Umsetzung der normativen und strategischen Planung findet auf der operativen Ebene statt (siehe Abbildung 10). Der operative Vollzug ist auf leistungs-, finanz- und informationswirtschaftliche Prozesse ausgerichtet. Die Effizienz und Effektivität tritt auf der Ebene besonders in den Vordergrund, da sich die aus der normativen und strategischen Ebene abgeleiteten Aufträge an Fähigkeiten und Ressourcen ausrichten. Im Zentrum der operativen Ebene steht der Auftrag.<sup>118</sup>

---

<sup>113</sup> Vgl. Ulrich, H. (1984); (2001)

<sup>114</sup> Vgl. Baumgartner, R.J. et al. (2006), S. 56f

<sup>115</sup> Vgl. Bleicher, K. (2011), S. 88

<sup>116</sup> Bleicher, K. (2011), S. 89

<sup>117</sup> Vgl. Bleicher, K. (2011), S. 90

<sup>118</sup> Vgl. Bleicher, K. (2011), S. 77ff



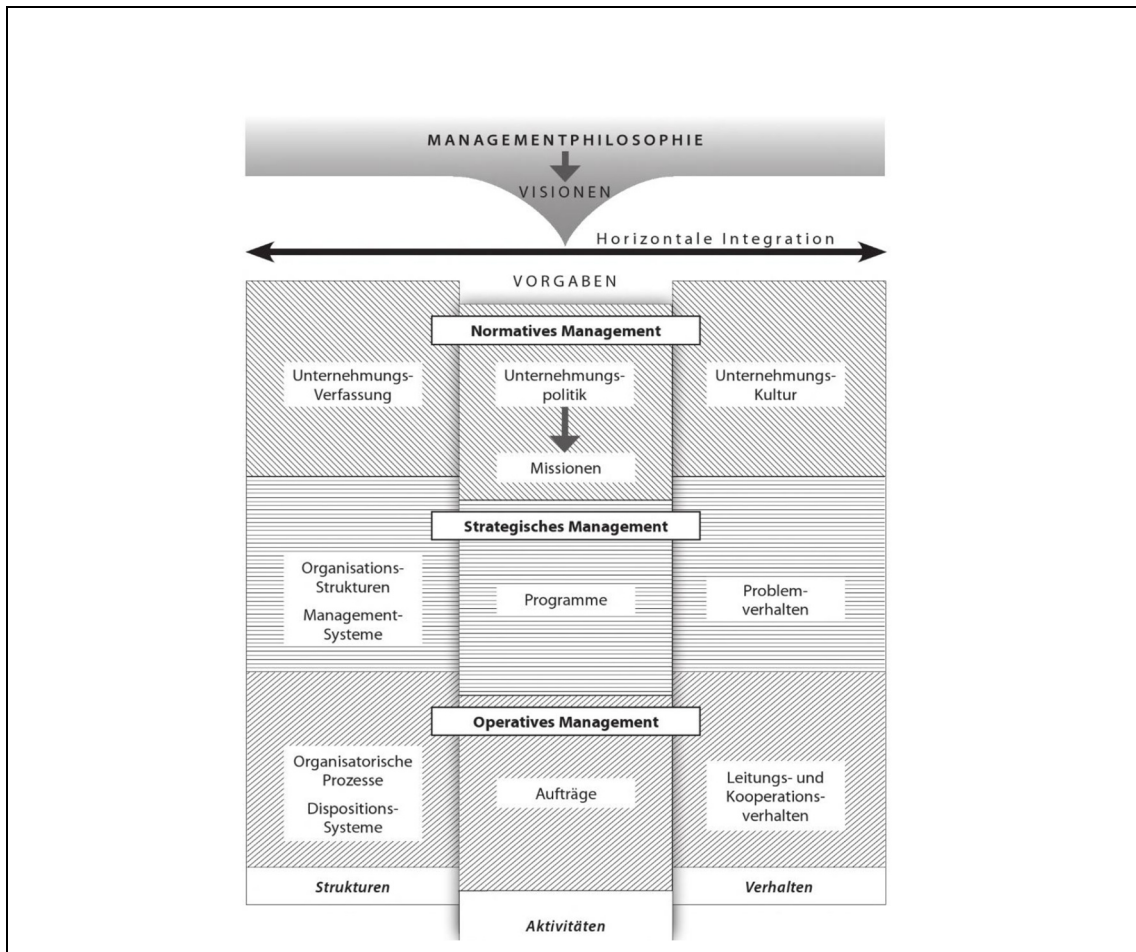


Abbildung 10: St. Galler Managementkonzept<sup>119</sup>

## 2.7 Instandhaltungsmanagement

Das Instandhaltungsmanagement umfasst alle Entscheidungen und Durchsetzungshandlungen, die die Ziele, Strategien, Verantwortlichkeiten sowie die Durchführung der Instandhaltungsorganisation bestimmen. Es werden außerdem Maßnahmen wie die Instandhaltungsplanung, -steuerung und die Verbesserung der Instandhaltungstätigkeiten und deren Wirtschaftlichkeit dem Begriff zugeordnet.<sup>120</sup> In der englischsprachigen Literatur wird die Definition mit dem Zusatz der Lebenszyklusbetrachtung ergänzt. In der Britischen Norm werden unter dem Begriff *asset management* die systematischen und koordinierten Aktivitäten und Praktiken verstanden, durch die eine Organisation optimal und nachhaltig die vorhandenen Anlagen und die damit verbundenen Leistungen, Risiken und Kosten, über den Lebenszyklus betrachtet, managt.<sup>121</sup> Die ISO 55000 fasst die Aspekte zusammen und definiert *asset management* als die koordinierten Aktivitäten einer Organisation um Wert aus den Anlagen zu schöpfen<sup>122</sup>. Wie bereits im Abschnitt 2.5 beschrieben, besteht der

<sup>119</sup> Quelle: Bleicher, K. (2011), S. 91

<sup>120</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung, 13306 (2015), S. 5

<sup>121</sup> Vgl. Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008a), S. 2

<sup>122</sup> Vgl. International Standard (2014c), S. 13

Managementprozess aus der Zielformulierung, der Planung, Entscheidung, Durchführung und Kontrolle. Zusammenfassend kann die Anlagenwirtschaft als Aufgabenfeld gesehen werden, das die Planung, Steuerung, Entscheidung, Realisierung und Kontrolle der notwendigen Prozesse zur Anlagenbewirtschaftung beinhaltet.<sup>123</sup>

### 2.7.1 Zielsetzung der Instandhaltung

Grundsätzlich lässt sich die Instandhaltungszielsetzung immer aus den Betriebsbedingungen und der Unternehmenspolitik bzw. den Unternehmenszielen ableiten (siehe Abbildung 14). Nach WÖHE strebt ein Unternehmen eine Steigerung des Eigenkapitalwerts an und verfolgt das Ziel der langfristigen Gewinnmaximierung (Shareholder-Value-Prinzip). Neben den ökonomischen Zielen werden die Interessen der Stakeholder verstärkt in den Vordergrund gehoben und damit soziale und ökologische Ziele formuliert<sup>124</sup>. Es wird außerdem zwischen Sachzielen (Leistungszielen), Wertzielen (monetären Zielen) und Sozialzielen unterschieden<sup>125</sup>. Übertragen auf das Instandhaltungsmanagement fasst BIEDERMANN die Ziele als die optimale, ökonomische Gestaltung und Lenkung der Lebenszyklusphasen von Sachanlagen unter Beachtung der Human-, Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele zusammen.<sup>126</sup>

Das Prinzip der Gewinnmaximierung wird im Instandhaltungsmanagement von zwei Größen beeinflussen, der Erhöhung der Produktionskapazität (mehr Output) sowie der Verringerung der Kosten (weniger Input). Die Begriffe zur Dimension Zeit (Anlagenverfügbarkeit, Ausfallszeit, Lebensdauer) sind in vielen Unternehmen Zielgrößen der Instandhaltung und werden aus diesem Grund klar definiert. Abbildung 11 zeigt auf oberster Ebene (Diagramm) den Zeitverlauf einer Anlage. Es gibt zwei Zustände, die für die Instandhaltung relevant sind: die Anlage funktioniert sachgemäß oder die Anlage funktioniert nicht sachgemäß<sup>127</sup>. Die Formel der Systemverfügbarkeit ist damit sofort definierbar. Die Systemverfügbarkeit besteht aus zwei Bestandteilen, der verfügbaren Zeit sowie der Ausfallszeit. Sie bezieht sich immer auf die geplante Betriebszeit. Die Beziehung der Zielgrößen lässt sich aus dieser Definition ermitteln:

- Eine Steigerung der verfügbaren Zeit erhöht die Systemverfügbarkeit bezogen auf die geplante Betriebszeit
- Eine Reduzierung der Ausfallszeit erhöht die Systemverfügbarkeit bezogen auf die geplante Betriebszeit

Eine weitere wichtige Funktion ist die Ausfallwahrscheinlichkeit beziehungsweise deren Umkehrfunktion die Zuverlässigkeit. Die Dimension ist hier nicht die Zeit, dennoch wird sie oft im Zusammenhang mit den oben definierten Zielgrößen genannt, da sie in der Praxis über die Ausfallszeiten berechnet werden kann. Folgende Beziehungen bestehen:

---

<sup>123</sup> Vgl. Biedermann, H. (2003), S. 11

<sup>124</sup> Vgl. Wöhe, G. et al. (2016), S. 65ff

<sup>125</sup> Vgl. Alcalde Rasch, A. (2000), S. 73

<sup>126</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 5

<sup>127</sup> Sachgemäße Funktion impliziert die gewährleistete Funktionsfähigkeit des Systems

- Eine Steigerung der Zuverlässigkeit erhöht die Systemverfügbarkeit innerhalb der Betriebszeit

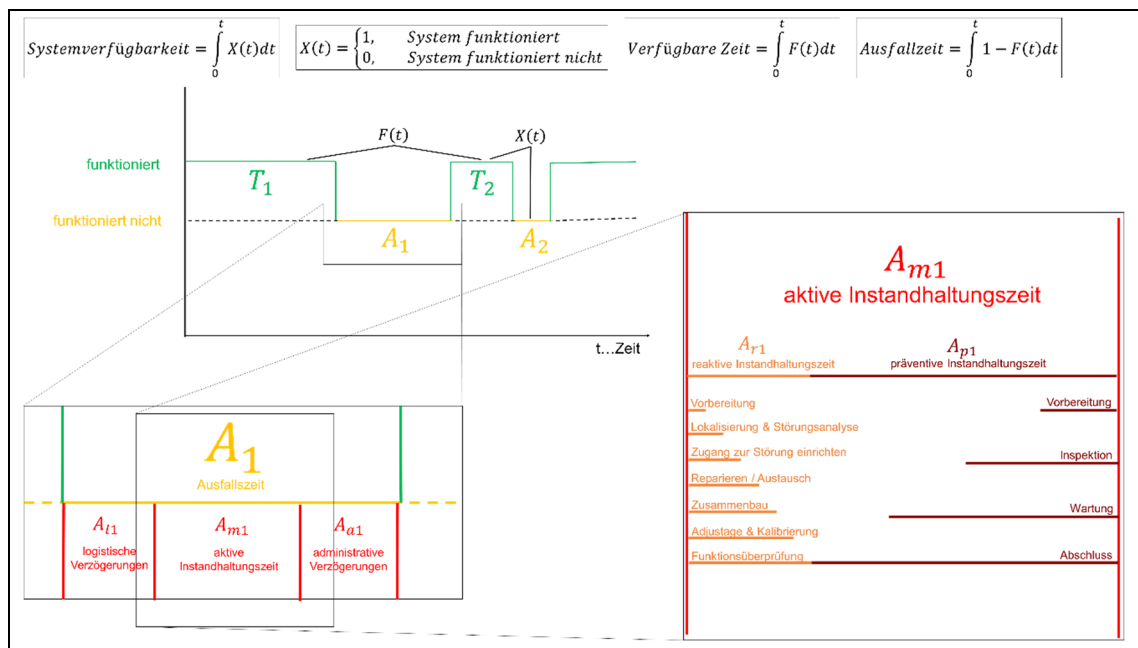
Abbildung 11 zeigt die Ausfallszeit im Detail, weil sie vom Instandhaltungsmanagement stark beeinflusst wird. Sie lässt sich generell in drei Bereiche unterteilen: logistische Verzögerungen, aktive Instandhaltungszeit und administrative Verzögerungen. Hier lassen sich wieder zwei Regeln bestimmen:

- Eine Reduzierung der logistischen Verzögerungen erhöht die Systemverfügbarkeit innerhalb der Betriebszeit
- Eine Reduzierung der administrativen Verzögerungen erhöht die Systemverfügbarkeit innerhalb der Betriebszeit

Die nächste Ebene, in der Einflussfaktoren der Systemverfügbarkeit existieren, ist die Zielgröße aktive Instandhaltungszeit. Die Instandhaltungstätigkeiten sind entweder reaktive oder präventive Instandhaltungsarbeiten.

- Eine Reduzierung der reaktiven Instandhaltungszeit erhöht die Systemverfügbarkeit innerhalb der Betriebszeit
- Eine Reduzierung der präventiven Instandhaltungszeit erhöht die Systemverfügbarkeit innerhalb der Betriebszeit

Eine genaue Definition der Einflüsse und Zusammenhänge der Instandhaltungsziele ist von großer Bedeutung für das Modell, weil in der Zielmodellierung<sup>128</sup> Systemhierarchien, -funktionen und -strukturen abgebildet werden.



**Abbildung 11: Zusammenhang der Systemverfügbarkeit zu den wichtigsten Konzepten des Instandhaltungsmanagements<sup>129</sup>**

Eine Zusammenfassung der Beziehungen zwischen den Zielen der Instandhaltung ist in der Beziehungsmatrix in Abbildung 12 dargestellt. Die Zielbeziehung kann komplementär, indifferent oder konkurrierend sein.

<sup>128</sup> Siehe Abschnitt 3.5 Zielmodellierung

<sup>129</sup> Eigene Darstellung nach den Definitionen von Ben-Daya, M. et al. (2016), S. 33ff; (2009), S. 45ff

1	Minimierung der Ausfallzeit						
2	Minimierung der Vorbeugenden IH-Zeit	-					
3	Minimierung der direkten Instandhaltungskosten	+	-	+			
4	Minimierung der indirekten Instandhaltungskosten	-	+	-	+		
5	Maximierung der Anlagenverfügbarkeit	+	+	o	-	+	
6	Zuverlässigkeitsmaximierung	+	o	+	+	+	
7	Lebensdauermaximierung	o	+	+	+	+	
8	Gewinnmaximierung	+	+	+	+	+	

Zielbeziehung	komplementär (+)
	indifferent (o)
	konkurrierend (-)

Abbildung 12: Beziehungsmatrix der Formalziele der Instandhaltung<sup>130</sup>

### 2.7.2 Regelkreise des Instandhaltungsmanagements

Die drei Ebenen des St. Galler Managementmodells<sup>131</sup> lassen sich auf das System des Instandhaltungsmanagements anwenden. Die daraus abgeleiteten Regelkreise werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

#### Normativer Regelkreis

In der normativen Ebene findet die Begründung der Strategie und Durchführung statt. Übertragen auf das Instandhaltungsmanagement beginnt der Regelkreis mit der Unternehmensphilosophie, die auf das Leitbild der Instandhaltung in Form einer Vision wirkt (siehe Abbildung 14). Das aus dem Leitbild ableitbare Zielsystem wird von den Betriebsbedingungen beeinflusst und sollte immer im Konsens mit anderen Abteilungen aufgebaut werden. Die Zielerreichungskontrolle steht in enger Verbindung zum Zielsystem, da das Zielsystem einerseits das Kennzahlensystem bestimmt, und andererseits vom Feedback der anderen Managementebenen über die Zielerreichungskontrolle abhängig ist.<sup>132</sup> Im normativen Management werden die Einstellungen, Werte, Denkmuster und Verhaltensweise des Instandhaltungsbereichs bestimmt und beeinflussen damit die nachhaltige Erhöhung des Kapitalumschlags und der Umsatzrendite.<sup>133</sup>

#### Strategischer Regelkreis

Der strategische Regelkreis umfasst das Zielsystem, die IH-Strategieplanung, die Ressourcen- und Budgetplanung sowie die Zielerreichungskontrolle. Die Ressourcen-

<sup>130</sup> Quelle: Biedermann, H. (2008a), S. 37

<sup>131</sup> Siehe Abschnitt 2.6 St. Galler Management-Konzept

<sup>132</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 133

<sup>133</sup> Vgl. Biedermann, H. (2009), S.11

und Budgetplanung können nach KINZ auch als eigene Regelkreise auf der strategischen Ebene betrachtet werden, lassen sich jedoch auch dem strategischen Regelkreis zuordnen. Die Strategieplanung orientiert sich am Zielsystem und bildet die Grundlage für die IH-Programmplanung.<sup>134</sup> Die Ziele der strategischen Ebene des Instandhaltungsmanagement liegen in der Identifizierung von Maßnahmenbündeln, die Effektivitätsfelder in wertschöpfungsorientierten Anlagen- und Produktionsmanagement aufdecken und die damit verbundenen Effizienzpotenziale heben können. Besonderes Augenmerk sollte auf die Ressourcen und die dynamische Entwicklung der Fähigkeiten gelegt werden.<sup>135</sup>

### **Strategisch-operativer Regelkreis**

Das IH-Programm und die Schwachstellenanalyse bilden den strategisch-operativen Regelkreis. Dabei greift die IH-Programmplanung die durchzusetzende Strategie aus dem strategischen Regelkreis auf und liefert das grobe Instandhaltungsprogramm.<sup>136</sup> Die Detaillierung der durchzuführenden Tätigkeiten nimmt, ausgehend von der normativen bis zur operativen Ebene, kontinuierlich zu.

### **Operativer Regelkreis**

Der operative Regelkreis beginnt mit der IH-Durchführungsplanung, geht dann in die Durchführung der feingeplanten IH-Tätigkeiten und schließt sich mit der Rückkoppelung der Kontrollphase (Auftragsüberwachung) in die Planungsphase.<sup>137</sup>

## **2.8 Managementkonzepte der Instandhaltung**

Die Managementkonzepte der Instandhaltung unterstehen einem ständigen Wandel. Der Entwicklungsweg der Konzepte kann mithilfe der Lean Smart Maintenance-Pyramide (Abbildung 13) nachvollzogen werden. Auf der ersten Stufe ist das Managementkonzept unausgereift und widmet sich hauptsächlich der Organisation und Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten. Die Planung findet keine Beachtung, der Umfang der Instandhaltungstätigkeiten wird damit auf Reparaturen reduziert. Betriebe mit einer rein reaktiven Instandhaltungsstrategie müssen starke Verfügbarkeitseinbußen durch die restriktive Perspektive hinnehmen. Auf der nächsten Entwicklungsstufe steht die Planung im Vordergrund. Das Erreichen dieser Stufe gilt für viele Betriebe bereits als Erfolg, da die Planung einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfung leistet<sup>138</sup>. Die Wichtigkeit der Planung lässt sich außerdem mit der engen Verbindung zum Prozess der Entscheidungsfindung argumentieren<sup>139</sup>. Unabhängig von der Managementstufe werden die verantwortlichen Personen immer anhand der Qualität ihrer Entscheidungen gemessen. Neben der zustandsorientierten Instandhaltung auf Stufe drei tritt vor allem

---

<sup>134</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 129ff

<sup>135</sup> In diesem Kontext werden besonders die Leistungsentwicklung, Anlagenstruktur, Personalstruktur und Organisation genannt, vgl. Biedermann, H. (2009), S.12

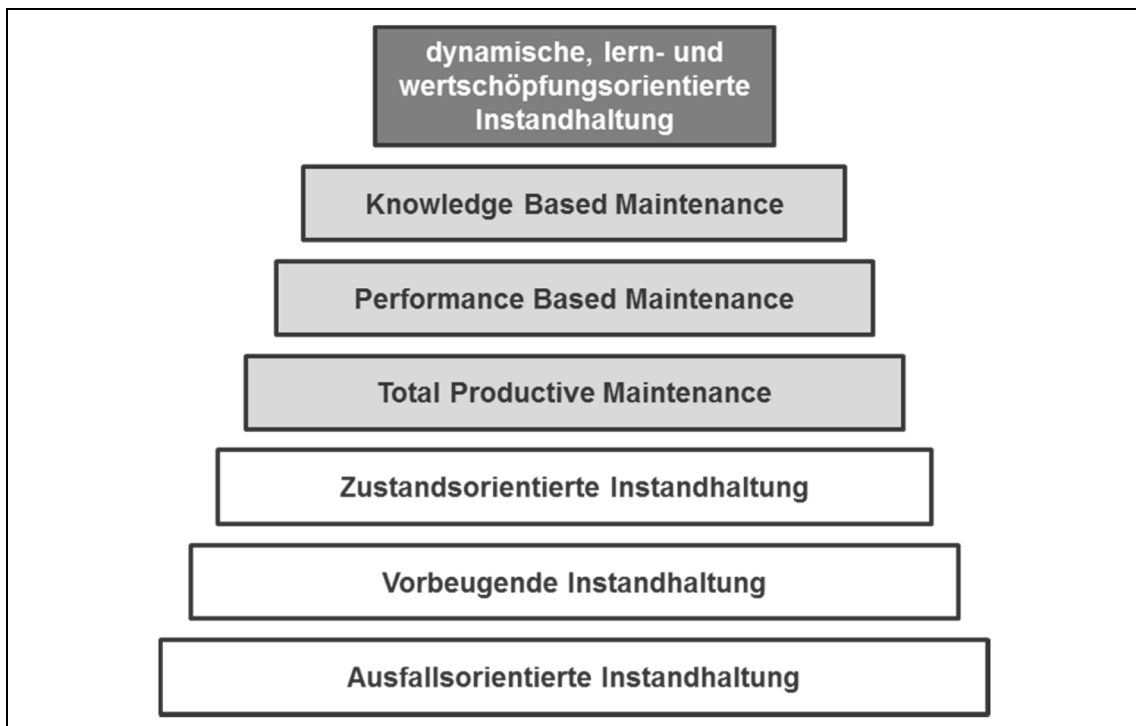
<sup>136</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 127f

<sup>137</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 125f

<sup>138</sup> Vgl. Biedermann, H. (2007), S. 14f

<sup>139</sup> Siehe Abschnitt 2.5 Managementtheoretische Grundlegung

die Total Productive Maintenance auf Stufe vier in vielen Betrieben vermehrt auf. Die Basis ist ein Säulenmodell aus präventiver Instandhaltung, kontinuierlicher Verbesserung, autonomer Instandhaltung, Schulung und Training sowie Instandhaltungsprävention<sup>140</sup>. Die weiterführenden Konzepte wie Performance Based Maintenance, Knowledge Based Maintenance und Lean Smart Maintenance (eine dynamische, lern- und wertschöpfungsorientierte Instandhaltung) setzen die zusätzlichen Managementinstrumente Information, Kontrolle und Führung je nach Konzept in unterschiedlichen Ausprägungsstufen ein. In den folgenden Abschnitten werden jene Konzepte betrachtet, die für die Validierung des Referenzmodells<sup>141</sup> benutzt werden. Dazu zählt die ausfallorientierte Instandhaltung, die präventive Instandhaltung und Total Productive Maintenance. Abschließend wird das Konzept der dynamischen, lern- und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung beschrieben, da sich die Entwicklung des Referenzmodells teilweise am Prozessmodell der Lean Smart Maintenance orientiert.



**Abbildung 13: Entwicklungsstufen des Instandhaltungsmanagements<sup>142</sup>**

### 2.8.1 Ausfallorientierte Instandhaltung

Auf der untersten Stufe der Entwicklungsstufen des Instandhaltungsmanagements steht die ausfallorientierte Instandhaltung. Die Strategie besteht aus der einfachen Ausführung von Instandsetzungen im Falle eines Ausfalls. Die Vorgehensweise nimmt die Konsequenzen in Form von Kosten für die Schadensbehebung sowie der Ausfallkosten in Kauf. Die Kosten für Inspektionen bzw. aufwändige Condition

<sup>140</sup> Siehe Nakajima, S. (1988), S. 10f

<sup>141</sup> Siehe Abschnitt 4.2 Anwendung des Referenzmodells als Soll-Modell

<sup>142</sup> Quelle: Kinz, A. (2017), S. 90 in Anlehnung an Biedermann, H. (2016), S. 27

Monitoring Systeme entfallen hier.<sup>143</sup> Zusätzliche Nachteile ergeben sich aus dem stochastischen Ausfallverhalten, das der Strategie zugrunde liegt. Die Planung der reaktiven IH-Tätigkeiten kann nur grob erfolgen, wodurch sich weitere Stillstandszeiten ergeben können.<sup>144</sup> Zur Übersicht werden weitere Vor- und Nachteile der ausfallorientierten Instandhaltung in Tabelle 4 aufgelistet.

**Tabelle 4: Vor- und Nachteile der ausfallorientierten Instandhaltung<sup>145</sup>**

<b>Ausfallorientierte Instandhaltung</b>	
<b>Vorteile</b>	Vollständiger Verbrauch des Abnutzungsvorrats
	AfA <sup>146</sup> wird minimiert
	Geringer Planungsaufwand
	Geringster Ersatzteilverbrauch
<b>Nachteile</b>	Höhere Bereitschaftsleistung
	Fremdvergabe von IH-Maßnahmen schwieriger
	Zeitdruck bei den Instandsetzungsarbeiten
	Erhöhtes Risiko bzgl. Termintreue
	Häufig ungeplante Anlagenausfälle
	Gefahr von Folgeschäden an anderen Anlageteilen
	Längere Instandsetzungszeiträume, steigende Ausfallkosten
	Hohe Ersatzteilbestände

## 2.8.2 Präventive Instandhaltung

Die Nachteile der ausfallorientierten Instandhaltung sind nicht nur in den Häufigkeiten den Vorteilen überlegen, sondern auch in der monetären Bewertung<sup>147</sup>. Die präventive Instandhaltung kann fallweise, periodisch, alters-, betriebs- oder leistungsabhängig durchgeführt werden<sup>148</sup>. Mit einem hohen Reifegrad in der Modellierung des Ausfallverhaltens kann die präventive Instandhaltung außerdem zustandsbasiert, zustandsprognostizierend (prädiktiv) oder sogar zustandsprognostizierend mit konkreten Handlungsempfehlungen (präskriptiv<sup>149</sup>) durchgeführt werden.

<sup>143</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 61

<sup>144</sup> Vgl. Hölbfer, S. (2014), S. 36f

<sup>145</sup> Quelle: In Anlehnung an Hölbfer, S. (2014), S. 37; Behrenbeck, K.R. (1994), S. 218

<sup>146</sup> Absetzung für Abnutzung

<sup>147</sup> Vgl. Wireman, T. (2004), S. XV

<sup>148</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 61

<sup>149</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der präskriptiven Instandhaltung siehe Nemeth, T. et al. (2018)

### 2.8.3 Total Productive Maintenance

Das Instandhaltungsmanagementkonzept Total Productive Maintenance stellt die Anlage ins Zentrum der Betrachtung. Dabei wird die Anlage als erheblicher Einflussfaktor für Produktivität, Kosten, Lager, Sicherheit und Gesundheit gesehen.<sup>150</sup>

NAKAJIMA definiert fünf Elemente, an denen sich die Instandhaltung orientieren soll<sup>151</sup>:

- Maximierung der Anlageneffektivität
- Etablierung der präventiven Instandhaltung
- Abteilungsübergreifende Teams
- Engagement jeder Managementebene
- Bildung von autonomen Teams

Basierend auf dem Grundgedanken wurden mehrere Säulenmodelle entwickelt, in denen folgende Hauptfunktionen definiert wurden<sup>152</sup>:

- Funktion: Autonome Instandhaltung
  - Ziele: Reduktion Prozesszeit, Flexibilität, Reduktion Störungen
- Funktion: Kontinuierliche Verbesserung
  - Ziele: Null Verluste, Null Störungen, Null vermeidbare Ausfallszeit, Reduktion Produktionskosten
- Funktion: Präventive Instandhaltung
  - Ziele: Null Ausfälle, Erhöhung Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit, Reduktion Instandhaltungskosten, Sicherstellung Verfügbarkeit aller Betriebsmittel
- Funktion: Qualitätsinstandhaltung
  - Ziele: hohe Kundenzufriedenheit, Prozessstörungen reduzieren, Kosten der Qualität senken
- Training
  - Ziele: Null Ausfälle an kritischen Anlagen, Null Verluste durch fehlendes Wissen / fehlende Qualifizierung, hohe Beteiligungsrate der unterschiedlichen Bereiche
- TPM im Büro
  - Ziele: Produktivitätserhöhung durch Identifizierung von Verlustquellen (beispielsweise Verluste durch Ungenauigkeit, Zeit zur Informationssuche oder fehlende Kommunikationskanäle)<sup>153</sup>
- Sicherheit, Gesundheit und Umwelt
  - Ziele: Null Unfälle, Null Gesundheitsbeeinträchtigungen, Null Feuer

### 2.8.4 Lean Smart Maintenance

Die Digitalisierung und Automatisierung verändert die Geschäftsprozesse von Unternehmen nachhaltig und beeinflusst das Instandhaltungsmanagement mit seinen Funktionen nachdrücklich. Aufgrund der Anpassungsnotwendigkeit wurde von KINZ das generische Instandhaltungsmanagementsystem einer wertschöpfungsorientierten,

---

<sup>150</sup> Vgl. Nakajima, S. (1988), S. 1

<sup>151</sup> Vgl. Nakajima, S. (1988), S. 10f

<sup>152</sup> Vgl. Agustyadi, T.K.; Cudney, E.A. (2016), S. 12ff

<sup>153</sup> Vgl. Agustyadi, T.K.; Cudney, E.A. (2016), S. 18, insbesondere die Aufzählung der administrativen Verlustquellen



lernenden und dynamischen Instandhaltung, der Lean Smart Maintenance (LSM), konzipiert.<sup>154</sup> BIEDERMANN hat in den Vorjahren bereits Teilaspekte des LSM-Konzepts erarbeitet und legte den Grundstein mit seinen Beiträgen zur Smart Maintenance<sup>155</sup>, Strategieanpassungen<sup>156</sup> und der Wertschöpfungsorientierung<sup>157</sup>.

Die Stärke der Lean Smart Maintenance ist der holistische Ansatz, in dem, neben der klassischen Reduktion der Kosten<sup>158</sup>, auch weitere Themen wie Rahmenbedingungen, strukturelle-, und Mitarbeiter-orientierte Aspekte sowie das Management von Schnittstellen beachtet werden<sup>159</sup>. Die LSM vereint damit das klassische Streben der Instandhaltung nach optimaler Anlagenverfügbarkeit bei minimalen Kosten mit wichtigen Vorgehensweisen, um zu einer schlanken und wertschöpfenden Instandhaltung zu gelangen. Die Ziele der Lean Smart Maintenance gehen über die traditionellen kostenorientierten Ziele hinaus und stellen den Wertschöpfungsbeitrag durch dynamische Strategieanpassungen in den Mittelpunkt<sup>160</sup>. Gefordert wird auf der einen Seite ein Lean Maintenance System, in dessen Zentrum die Ressourceneffizienz steht<sup>161</sup>, und andererseits eine intelligente Instandhaltung, die den Anforderungen der Smart Factory und dem einhergehenden Zusammenschluss der Betriebssysteme gerecht wird<sup>162</sup>.

### **2.8.5 Generische Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements**

Das Instandhaltungsmanagement besteht aus Prozessen, die aus den Managementaufgaben Planung, Organisation, Kontrolle, Information und Führung abgeleitet werden können. Anfänglich finden in der Literatur vor allem einzelne Aspekte des Instandhaltungsmanagements Beachtung. BLOSS untersucht in seiner Dissertation die Organisation der Instandhaltung. Das grundlegende Modell folgt einem systemtheoretischen, ganzheitlichen Ansatz und aufbauend auf den Gestaltungsfeldern und –prinzipien offeriert BLOSS Konzepte für das effiziente Design der Instandhaltungsorganisation. Er stellt dabei unter anderem die Grundstruktur für eine modern-organisierte Instandhaltung vor und widmet sich stark dem Thema der autonomen Instandhaltung.<sup>163</sup> In den Vorjahren wurden hauptsächlich funktionale Managementinstrumente der Instandhaltung behandelt.<sup>164</sup> Ausgehend von einer eigentlich eingeschränkten Perspektive entwickelt BIEDERMANN 1987 ein Prozessmodell der Instandhaltungsplanung, das eine ganzheitliche Sichtweise auf das Instandhaltungsmanagement bietet. Das vorgestellte Modell ist in Abbildung 14 ersichtlich. Grundlegend wird bei dem Modell zwischen der Zielplanung, der

---

<sup>154</sup> Siehe Kinz, A. (2017)

<sup>155</sup> Siehe Biedermann, H. (2015)

<sup>156</sup> Siehe Biedermann, H. (2018)

<sup>157</sup> Siehe Biedermann, H. (2016)

<sup>158</sup> Vgl. Bhasin, S.; Burcher, P. (2006), S. 59

<sup>159</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 47

<sup>160</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 28

<sup>161</sup> Vgl. Sihn, W.; Matyas, K. (2011), S. 62

<sup>162</sup> Vgl. Sihn, W. et al. (2016), S. 12f

<sup>163</sup> Siehe Bloss, C. (1995)

<sup>164</sup> Vgl. Biedermann, H. (2011), S. 10

strategischen Planung sowie der operativen Planung unterschieden.<sup>165</sup> Die dargelegte Struktur dient der vorliegenden Arbeit als Grundlage. Eine ganzheitliche Betrachtung des Instandhaltungsmanagements wurde in den Folgejahren von diversen Autoren aufgenommen. Nachfolgend werden die wichtigsten Grundwerke vorgestellt und auf Ähnlichkeiten bzw. zusätzliche Prozessmodule geprüft. Abschließend sind die Ausprägungsstufen der Instandhaltungsprozesse in den Grundwerken sowie Normen in zwei Tabellen (siehe Tabelle 5 und 6) zusammengefasst.

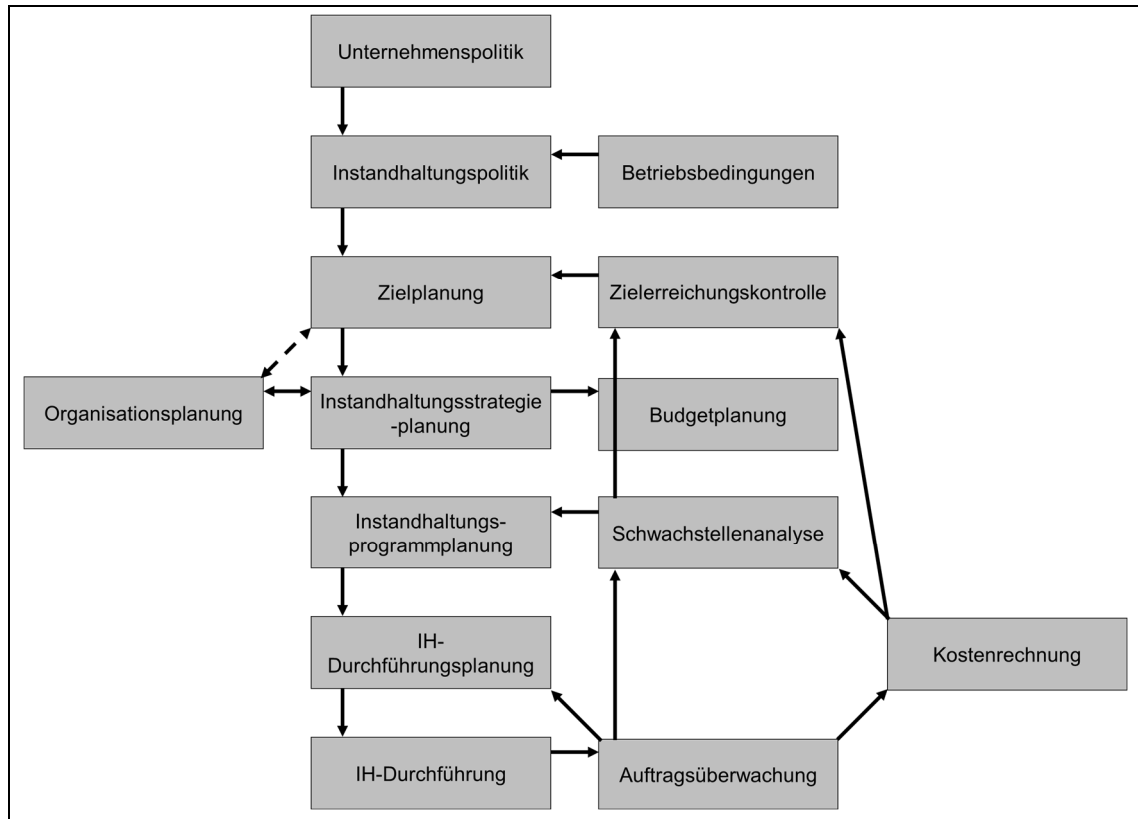


Abbildung 14: Prozessmodell Planung in der Instandhaltung<sup>166</sup>

### 2.8.6 Auswahl der Prozessmodule

Das Ergebnis der Analyse der grundlegenden Literatur ist in Tabelle 5 und 6 zusammengefasst. Als Grundmodule werden im ersten Schritt die Prozesse des Planungsmodells herangezogen<sup>167</sup>, um im nächsten Schritt die ausgewählte Literatur auf das Vorhandensein dieser Module zu überprüfen. Neben dem Detailgrad der Beschreibung werden neuentwickelte Prozesse zusätzlich in die Liste aufgenommen. Die Detailtiefe ist für die spätere Steuerungsmodellierung wichtig, da aus den Funktionen Daten abgeleitet werden. Die Auswahl der Literatur konzentriert sich auf Managementkonzepte, die ausgeprägte Beschreibungen zum Instandhaltungsmanagement in den Managementaufgaben Planung, Organisation, Information, Kontrolle und Führung enthalten. Die durchgeführte Systematik ist für die

<sup>165</sup> Vgl. Biedermann, H. (1987a), S. 410

<sup>166</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987a), S. 410

<sup>167</sup> Siehe Abbildung 14

Erreichung der wissenschaftlichen Zielsetzung essentiell, da ein generisches Referenzinformationsmodell nur konstruiert werden kann, wenn das darunterliegende Modell ebenfalls den generischen Anspruch erfüllt.

### **2.8.7 Beschreibung der ganzheitlichen IH-Managementansätze**

Nachfolgend werden ganzheitliche Managementansätze von verschiedenen Autoren kurz beschrieben. Die Zusammenfassungen sollen einen Überblick geben, können aber in keinem Fall die Komplexität und Tiefe der beschriebenen Veröffentlichungen darstellen.

#### **Wireman (2004): Benchmarking Best Practices in Maintenance Management<sup>168</sup>**

Für WIREMAN besteht ein Best-Practice Instandhaltungsmanagementsystem aus fünf Stufen, in denen die Etablierung der präventiven Instandhaltung die Basis bildet. Auf der nächsten Stufe werden die für die Planung und Organisation der proaktiven Instandhaltungstätigkeiten notwendigen Systeme definiert: Das Ersatzteilmanagement, das Auftragswesen, das IT-System und das technische bzw. interpersonelle Training bilden damit die Grundlage für die dritte Stufe, auf der sich die Erarbeitung einer fortschrittlicheren Instandhaltungsstrategie durch prädiktive und risikoorientierte Instandhaltung befindet. Neben der Strategieauswahl wird in diesem Schritt außerdem die Entwicklung der autonomen Instandhaltung begründet. Auf der vorletzten Stufe wird die Total Productive Maintenance (TPM) Philosophie implementiert sowie ein Instrument der finanziellen Optimierung eingesetzt. Den Abschluss bildet ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess, der eng mit dem Thema Benchmarking verbunden ist. Die Grundelemente des Prozessmodells wie Ziel-, Strategie- und Programmplanung werden von WIREMAN aufgegriffen jedoch bleiben viele Aspekte des Instandhaltungsmanagements unberücksichtigt.

#### **Kelly (2006 / 2006 / 2007): Maintenance Systems and Documentation<sup>169</sup> / Managing Maintenance Resources<sup>170</sup> / Strategic Maintenance Planning<sup>171</sup>**

KELLY beschreibt in seinen drei Hauptwerken einen ganzheitlichen Instandhaltungsmanagementansatz: die *business-centered maintenance*. Die grundlegenden Ziele des Rahmenswerks sind die Formulierung von Instandhaltungszielen, die Entwicklung von Plänen der Anlagenlebensdauer und Instandhaltungstätigkeitszyklen, das Design der Instandhaltungsorganisation und der Aufbau von Systemen zur Dokumentation und Kontrolle. Auch für KELLY stammt die Instandhaltungspolitik aus den Unternehmenszielen und formt damit die Instandhaltungsziele. Die für die Erreichung der Ziele notwendige Strategie wird im Anschluss formuliert. Das zweite Buch (*Managing Maintenance Resources*) geht diesen Weg weiter und widmet sich vor allem den Aspekten der Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten. Im dritten Buch (*Maintenance Systems and Documentation*)

---

<sup>168</sup> Siehe Wireman, T. (2004)

<sup>169</sup> Siehe Kelly, A. (2007)

<sup>170</sup> Siehe Kelly, A. (2006b)

<sup>171</sup> Siehe Kelly, A. (2006b)

wird abschließend das Controlling der Instandhaltung beschrieben. KELLY bildet mit der *business-centered maintenance* grundsätzlich ein ganzheitliches Bild des Instandhaltungsmanagementsystems, liefert jedoch keine klare Struktur der Ablauforganisation. Teilaspekte wie die Instandhaltungssteuerung, -durchführung, aber auch die Auftragsüberwachung werden nicht im Zusammenhang betrachtet.

**Márquez (2007): The Maintenance Management Framework<sup>172</sup>**

In seinem Grundwerk *The Maintenance Management Framework* zeichnet MÂRQUEZ ein umfassendes Gesamtbild der Instandhaltung und geht dabei auf zahlreiche Aspekte des vorgestellten Prozessmodells ein. Der Autor stellt im ersten Teil seines Buchs den Rahmen des Instandhaltungsmanagementsystems vor und definiert die Instandhaltungsplanung, -steuerung, -durchführung sowie die Bewertung der operativen Prozesse als zentrale Elemente. Die Definition der Zielrichtung, kontinuierliche Verbesserung und das Konzept des Reengineering finden hier ebenso Erwähnung. Besonders innovativ ist aber der dritte Teil des Buches. Die Ermittlung der Anlagenpriorisierung und Kritikalitätsbewertung, die Schwachstellenanalyse und eine detaillierte Beschreibung des Zielsystems erfüllen die Anforderungen eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagementsystems.

**Biedermann (2008): Anlagenmanagement<sup>173</sup>**

Das *Anlagenmanagement* stellt die Grundlagen der Anlagenwirtschaft und deren Teilbereiche dar. Ausgehend von den Begriffen, Bedeutungen und Inhalten der Anlagenwirtschaft wird die Instandhaltung von Anlagen definiert. Neben der Wirtschaftlichkeit und dem Zielsystem werden Instandhaltungsstrategien, die Organisation sowie die Mitarbeiterorientierung vorgestellt. Besonderen Mehrwert für das zu erstellende Modell liefert das Prozessmodell mit dem dazugehörigen Realisierungsinstrumentarium, die detaillierte Beschreibung der Ausfallkostenermittlung sowie die Ausführungen zum Instandhaltungs-Controlling mit der Auflistung von Kennzahlen.<sup>174</sup> Deutlich hervorgehoben wird außerdem die Wichtigkeit eines IT-gestützten Instandhaltungssystem und die damit verbundenen Korrelationen zwischen IT-Systemen, Prozessmodulen und den daraus ableitbaren Informationen.<sup>175</sup>

**Schröder (2010): Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement: Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung<sup>176</sup>**

SCHRÖDER skizziert mit seiner Dissertation ein ganzheitliches Instandhaltungsmanagement und entwickelt ein systemorientiertes Bewertungsmodell, welches die Instandhaltung in einer integrierten Sichtweise umfassend abbildet und eine strategische Entwicklung des gesamten Instandhaltungsmanagementsystems ermöglicht. Das Prozessmodell wurde nach BIEDERMANN entwickelt und fokussiert

---

<sup>172</sup> Siehe Crespo Márquez, A. (2007)

<sup>173</sup> Siehe Biedermann, H. (2008a)

<sup>174</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 99ff

<sup>175</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 147

<sup>176</sup> Siehe Schröder, W. (2010)

eine Unterteilung der Prozesse in eine normative, strategische und operative Instandhaltungsmanagementebene.

**Campbell (2016): Strategies for Excellence in Maintenance Management<sup>177</sup>**

In *Strategies for Excellence in Maintenance Management* beschreibt CAMPBELL ein Instandhaltungssystem, das die Anforderungen eines ganzheitlichen Ansatzes vollständig erfüllt. Die vier Hauptkapitel Führung, Wesentliche Elemente (im Engl. Essentials), Exzellenz wählen (Engl. Choosing Excellence) sowie Asset Management gleichen den Weiterentwicklungsrichtungen BIEDERMANNNS und SCHRÖDERS. Der Fokus geht auf die in der ISO5500X-Norm formulierte Lebenszyklusbetrachtung und die kontinuierliche Weiterentwicklung der bestehenden Prozessmodule.

**Pawellek (2016): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik<sup>178</sup>**

PAWELLEK beschreibt, ähnlich wie CAMPBELL, ein ganzheitliches Managementsystem mit den Hauptkategorien Grundlagen, Ziel- und Kennzahlensystem, Instandhaltungsprozesse, Instandhaltungsorganisation, Ersatzteillogistik sowie Planung der Instandhaltung. Dabei werden vor allem die Prozessmodule Schwachstellenanalyse, Kennzahlensystem mittels Balanced Scorecard, Ermittlung der Ausfallkosten und die Instandhaltungsstrategieimplementierung detailliert betrachtet.

**Kinz (2017): Ausgestaltung einer dynamischen, lern- und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung<sup>179</sup>**

In der Dissertation *Ausgestaltung einer dynamischen, lern- und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung* stellt KINZ ein ausgereiftes Prozessmodell vor, in dem vor allem in der Dynamisierung der Strategieauswahl durch Kritikalitätsanalyse und Anlagenpriorisierung neue Erkenntnisse beschrieben werden. Das Konzept verbindet Aspekte des *Lean-Ansatzes* mit Methoden aus der *Smart Maintenance* und stellt damit die Ressourceneffizienz in den Mittelpunkt der Instandhaltungsziele.

**Leidinger (2017): Wertorientierte Instandhaltung<sup>180</sup>**

Die wertorientierte Instandhaltung hat für LEIDINGER zwei Ziele: Kosten senken und Verfügbarkeit erhöhen. Das Buch beinhaltet die Aspekte der Organisation (Aufbau und Ablauf), der Strategie und der Digitalisierung. Die abschließende Umsetzung einer wertorientierten Instandhaltung erzielt im Mittel 10-25% Einsparpotenzial.

**PAS 55-1&2:2008: Asset Management<sup>181</sup>**

Das britische Institut für Standards (BSI) hat mit der PAS 55-Norm den Vorgänger zur ISO 55000 in einem Gremium von über 50 Organisationen aus 15 verschiedenen Industriebranchen entworfen<sup>182</sup>. Die Norm orientiert sich an dem PDCA-Zyklus, der mit

---

<sup>177</sup> Siehe Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016)

<sup>178</sup> Siehe Pawellek, G. (2016)

<sup>179</sup> Siehe Kinz, A. (2017)

<sup>180</sup> Siehe Leidinger, B. (2017)

<sup>181</sup> Siehe Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008a); (b)

<sup>182</sup> Vgl. o.V. <https://www.assetmanagementstandards.com/pas-55/> (Zugriff 04.05.2020)

der Asset Management Politik beginnt. Ausgehend von der Plan-Phase wird im nächsten Schritt die Asset Management-Strategie, -Zielplanung und -Programmplanung vollzogen. In der Durchführungsphase wird besonderer Wert auf die Organisation, gesetzliche Anforderungen, Dokumentation, Kommunikation sowie das Informations-, Risiko- und Changemanagement gelegt. Die Implementierungsphase beinhaltet die Asset Management Pläne, in denen die Life Cycle Aktivitäten (Anschaffung, Nutzung, Instandhaltung und Erneuerung) unterschieden werden.

**ISO 55000&1&2:2014: Asset Management<sup>183</sup>**

In den drei Normen der International Organization for Standardization wird eine Übersicht über das Asset Management gegeben, die stark mit dem Prozessmodell in Abbildung 14 übereinstimmt. Aus den Unternehmenszielen wird die Asset Management Politik erhoben, die im strategischen Asset Management Plan und dem Zielsystem operationalisiert wird. Die resultierenden Asset Management Pläne gehen einerseits in die Implementierungsphase, und andererseits in Weiterentwicklungspläne des Asset Management Systems und Unterstützungsfunktionen über. Neben der Erstellung eines Asset Portfolios wird in der abschließenden Phase die Leistung evaluiert und Verbesserungen eingeleitet. Besonders hervorzuheben ist, dass die Norm starken Bezug zum Life Cycle Management herstellt, und damit das Asset Management übergreifender als andere Normen darstellt.

---

<sup>183</sup> Siehe International Standard (2014a); (b); (c)

**Tabelle 5: Ausprägungsstufen der Prozessmodelle in den Grundwerken des Instandhaltungsmanagements**

Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements	Grundwerke des Instandhaltungsmanagements							
	BLO (1995) 184	WIR (2006) 185	KEL (2006 <sup>186</sup> / 2006 <sup>187</sup> / 2007 <sup>188</sup> )	MAR (2007) 189	BIE (2008) 190	SCH (2010) 191	CAM (2016) 192	PAW (2016) 193
Unternehmenspolitik	○	○	◐	●	●	●	●	○
Instandhaltungspolitik	○	○	◐	●	●	●	●	○
Zielplanung	◐	◐	●	●	●	●	●	●
Zielerreichungskontrolle	○	○	●	●	●	●	●	●
Instandhaltungsstrategieplanung	◐	◐	●	●	●	●	●	●
Organisationsplanung	○	◐	●	◐	●	●	●	●
Budgetplanung	○	◐	●	◐	●	●	●	●
Leistungsverrechnung	◐	○	◐	◐	●	●	◐	●
Kritikalitäts- und Prioritätsbestimmung	○	○	◐	●	●	○	●	●
Instandhaltungsprogrammplanung	◐	◐	●	●	●	●	●	●
Instandhaltungssteuerung	◐	◐	◐	●	●	●	●	●
Instandhaltungsdurchführung	◐	○	◐	◐	●	●	●	●
Auftragsüberwachung	◐	○	◐	◐	●	●	●	●
Schwachstellenanalytik	◐	○	◐	●	●	◐	●	●
<p style="text-align: center;">○                      ◐                      ◐                      ●                      ●</p> <p style="text-align: center;">nicht betrachtet      geringer Detailgrad      mittlerer Detailgrad      hoher Detailgrad      vollständig</p>								

<sup>184</sup> Siehe Bloss, C. (1995), S. 17ff

<sup>185</sup> Siehe Wireman, T. (2004), S. 38ff

<sup>186</sup> Siehe Kelly, A. (2006a), S. 200

<sup>187</sup> Siehe Kelly, A. (2006b)

<sup>189</sup> Siehe Crespo Márquez, A. (2007), S. 5ff

<sup>190</sup> Siehe Biedermann, H. (2008a)

<sup>191</sup> Siehe Schröder, W. (2010), S. 105ff

<sup>192</sup> Siehe Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016), S. 3ff

<sup>193</sup> Siehe Pawellek, G. (2016), S. 26ff

**Tabelle 6: Ausprägungsstufen der Prozessmodule in den Grundwerke und Normen des Instandhaltungsmanagements**

Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements	Grundwerke des IH-Managements		Normen des IH-Managements		
	KIN (2017) <sup>194</sup>	LEI (2017) <sup>195</sup>	PAS 55-X (2008) <sup>196</sup> (2008) <sup>197</sup>	ISO (2014) <sup>198</sup> (2014) <sup>199</sup>	GFML (2016) <sup>200</sup>
Unternehmenspolitik	●	●	●	●	◐
Instandhaltungspolitik	●	●	●	●	●
Zielplanung	●	●	●	●	●
Zielerreichungskontrolle	●	●	●	◐	●
Instandhaltungsstrategieplanung	●	●	●	●	●
Organisationsplanung	●	◐	◐	●	●
Budgetplanung	●	◐	◐	◐	◐
Leistungsverrechnung	●	◐	●	◐	●
Kritikalitäts- und Prioritätsbestimmung	●	●	●	◐	●
Instandhaltungsprogrammplanung	●	●	●	●	●
Instandhaltungssteuerung	●	●	◐	●	●
Instandhaltungsdurchführung	●	●	◐	●	●
Auftragsdurchführung	●	◐	●	●	◐
Schwachstellenanalytik	●	◐	◐	◐	◐
	○	◐	◐	●	●
nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig	

<sup>193</sup> Siehe Pawellek, G. (2016), S. 26ff

<sup>194</sup> Siehe Kinz, A. (2017)

<sup>195</sup> Siehe Leidinger, B. (2017)

<sup>196</sup> Siehe Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008a)

<sup>197</sup> Siehe Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008b)

<sup>198</sup> Siehe International Standard (2014c)

<sup>199</sup> Siehe International Standard (2014b)

<sup>200</sup> Siehe The Global Forum on Maintenance and Asset Management (GFMAM) (2014)



Zusammenfassend bildet Abbildung 15 das Prozessmodell hinsichtlich der vorgestellten Ansätze ausgewählter Autoren ab. Es ist deutlich erkennbar, das abgesehen von teilweise abgeänderten Begriffen, ein gemeinsamer Konsens bezüglich der im Instandhaltungsmanagement notwendigen Prozessmodule herrscht. Die Modellierung der normativen Ebene mit den Prozessmodulen Unternehmenspolitik, Instandhaltungspolitik und den herrschenden Betriebsbedingungen wurde in der Arbeit ausgeschlossen, da vor allem die Betrachtung von Unternehmenswerten, -kultur und weiteren externen Faktoren weder in der Literatur noch in der Praxis in Informationssystemen Anwendung findet. Es sollte dennoch explizit betont werden, dass eine Integration dieser Ebene in das Informationsmanagement von großer Bedeutung für die zukünftige Forschung sein wird. Folgende Prozessmodule wurden für die Modellierung des Informationssystems ausgewählt:

- Zielplanung
- IH-Strategieplanung (mit Ressourcen- und Budgetplanung)
- IH-Programmplanung
- Instandhaltungssteuerung (in der Arbeit als IH-Durchführungsplanung bezeichnet)
- IH-Durchführung
- Auftragsdurchführung (in der Arbeit als Auftragssteuerung bezeichnet)
- Schwachstellenanalyse

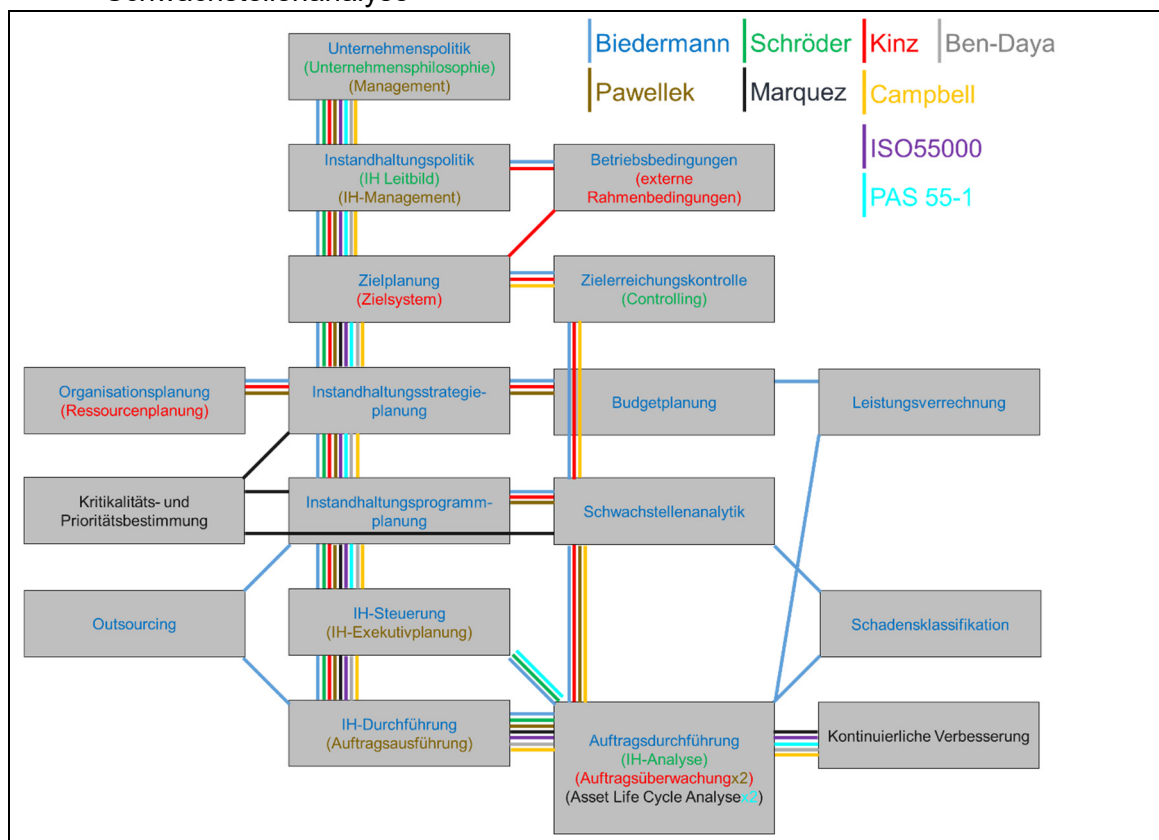


Abbildung 15: Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements aus Grundwerken und Normen<sup>201</sup>

<sup>201</sup> Eigene Darstellung auszugsweise nach Tabelle 3 und 4

## 2.9 Informationsmanagement

Ein zentraler Aspekt der Managementaufgaben ist die Sicherstellung eines geeigneten Informationsmanagements (IM). Die Erreichung der Unternehmensziele kann nur erfolgen, wenn die Ressource Information bestmöglich eingesetzt wird. Das Informationsmanagement befasst sich mit der Planung, Steuerung und Kontrolle von Informationen.<sup>202</sup> Eine besondere Stellung im Unternehmen übernahm das Informationsmanagement nachdem in vielen Anwendungsfällen die Ablauforganisation von IT-Systemen unterstützt werden konnte<sup>203</sup>.

### 2.9.1 Informationsmanagement in der Instandhaltung

Das Informationsmanagement des Instandhaltungsmanagementsystems steht durch das stark fortschreitende Informationszeitalter im Mittelpunkt der Betrachtung von vielen Unternehmen. SIHN listet 1992 noch Hindernisse wie Speicherkapazitätsengpässe, Unvollständigkeit der Informationen und weitere Aspekte der Datenqualität auf<sup>204</sup>, die zum großen Teil durch Technologiesprünge und andere Weiterentwicklungen behoben wurden. Die Anzahl von Herausforderungen im Umgang mit Informationssystemen hat aber trotz stetiger Verbesserungen zugenommen<sup>205</sup>, da sich parallel dazu auch die Potenziale von Computerized Maintenance Management Systemen stark vergrößert haben. Die horizontale und vertikale Integration von Betriebssystemen bietet eine Vielzahl an Chancen, führt aber simultan zu Problemen mit Schnittstellen<sup>206</sup>, großen Datenmengen und konkreten Handlungsstrategien für die Anwender. Großes Potenzial wird außerdem in der Erhöhung der Transparenz innerhalb eines Unternehmens gesehen<sup>207</sup>. Vor allem die Instandhaltung profitiert von der Vernetzung der Systeme, da sich die Möglichkeit bietet, den Beitrag zur Wertschöpfung im Unternehmen darzustellen. In vielen Unternehmen werden bereits Kennzahlen wie die Overall Equipment Effectiveness gemessen<sup>208</sup>, die einerseits das gemeinsame Ziel – die höchste Produktivität – formulieren, und andererseits sich in einzelne Kennzahlen aufgliedern lassen, die die jeweilige Abteilung betreffen (in diesem Fall die Anlagenverfügbarkeit). Die Entwicklung von Lösungen zu den angesprochenen Punkten kann nur durch eine systematische Konstruktion des Informationssystems gelingen.

### 2.9.2 Informationssysteme der Instandhaltung

Informationssysteme sind soziotechnische Systeme und unterstützen die Sammlung, Verarbeitung, Bereitstellung, Kommunikation und Nutzung von Informationen und die notwendigen Transformationsprozesse<sup>209</sup>. Das Informationsmanagement mit

---

<sup>202</sup> Vgl. Krcmar, H. (2015), S. 1

<sup>203</sup> Vgl. Schönsleben, P. (2001), S. 3

<sup>204</sup> Vgl. Sihn, W. (1992), S. 28f

<sup>205</sup> Vgl. Kühnast, R. (2018), S. 77

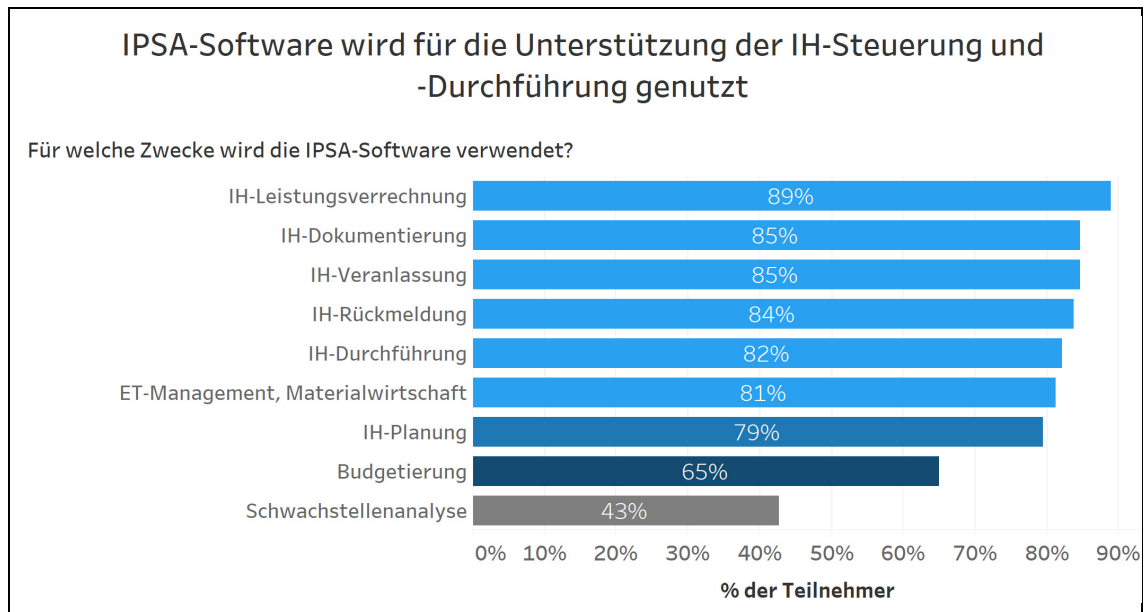
<sup>206</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016), S. 24f

<sup>207</sup> Vgl. Freund, C. (2010), S. 6

<sup>208</sup> Siehe Abschnitt 2.8.3 Total Productive Maintenance

<sup>209</sup> Vgl. Krcmar, H. (2015), S. 22

eingesetzten Informationssystemen in der Instandhaltung beschränkt sich zurzeit stark auf den operativen Regelkreis des Instandhaltungsmanagements. In Abbildung 16 ist das Ergebnis einer Studie mit über 125 Firmen dargestellt, in der die Unternehmen den Nutzungsgrad der Softwaremodule bewerten. Es ist deutlich ersichtlich, dass vor allem die Bestandteile der Auftragssteuerung beachtet werden. Die Veranlassung, Durchführung, Dokumentation, Rückmeldung sowie die Leistungsverrechnung und die dazu gehörigen Materialdispositionen werden erfasst. Strategische Module wie die Instandhaltungsplanung, Budgetierung und Schwachstellenanalyse werden vergleichsweise verhalten eingesetzt.



**Abbildung 16: Nutzungsübersicht von CMM-Systemen<sup>210</sup>**

Die noch unzureichende Abbildung des strategischen-operativen, strategischen und normativen Regelkreises ist nicht auf eine mangelnde technische IT-Durchdringung zurückzuführen, sondern auf ein fehlendes Schnittstellenmanagement<sup>211</sup> und eine geringe Auswahl an innovativer Softwaremodule, die aus den großen Datenmengen die richtigen Informationen extrahieren. Die Ursache für die Probleme kann durch die systematische Entwicklung eines Digitalen Schattens, und damit einer einheitlichen Datenmodellierung, geschwächt werden.

## 2.10 Digitaler Schatten der Instandhaltung

Der Digitale Schatten wird als das hinreichend genaue digitale Abbild der Prozesse in der Produktion sowie angrenzende Funktionsbereiche im industriellen Umfeld bezeichnet. Der Digitale Schatten hat die Aufgabe eine echtzeitfähige Auswertebasis zu schaffen und liefert dazu die notwendigen Datenmodelle.<sup>212</sup> Im Kontext zu einem digitalen Modell, das als digitale Repräsentation eines physischen Objekts gesehen wird,

<sup>210</sup> Quelle: Kühnast, R. (2018), S. 82

<sup>211</sup> Vgl. Kühnast, R. (2018), S. 83f

<sup>212</sup> Vgl. Bauernhansl, T. et al. (2017), S. 23

charakterisiert den Digitalen Schatten vor allem ein automatisierter Einweg-Datenfluss, der Zustandsänderungen von physisch nach digital zulässt, nicht aber umgekehrt.<sup>213</sup> In einem Zusammenschluss aus Wirtschaft und Forschung ARENA2036 (Active Research Environment for the Next generation of Automobiles) definieren die Teilnehmer den Digitalen Schatten als ein ganzheitliches Informationssystem, das die verfügbare Sensorik und IT-Systeme in einem System zusammenfasst und miteinander für die Smart Factory verbindet.<sup>214</sup>

Für die Instandhaltung ergeben sich die gleichen Potenziale wie für die Produktion. Ein Informationssystem, in denen die unterschiedlichen Datenquellen in ein einheitliches, standardisiertes Datenmodell überführt werden, besitzt großes Potenzial, die Kernprozesse des Instandhaltungsmanagements effizienter und effektiver zu machen. Das Vorgehen hierzu wird dabei in zwei Schritte unterteilt. Als Erstes müssen die verfügbaren, relevanten Datenquellen identifiziert werden und einer einfachen Prüfung der Datenqualität unterzogen werden. Im zweiten Schritt gilt es geeignete Methoden und Modelle zu erstellen, mit denen die Daten gefiltert, verarbeitet und verdichtet werden können.<sup>215</sup>

### **2.10.1 Abgrenzung der Begriffe Digitaler Schatten und Zwilling**

Der Digitale Schatten schafft nach der formulierten Definition ein Informationssystem, das echtzeitfähig alle relevanten Daten verknüpft. Das Resultat kann als Basis für weitergehende Analysen und Simulationen verstanden werden. Der Digitale Zwilling unterscheidet sich bezüglich des Digitalen Schattens durch den Zweck und damit durch die Anforderungen. Das Ziel des Digitalen Zwillings ist die Erstellung eines hinreichend genauen Abbilds eines Objekts der Realität, um eine Simulation des Verhaltens durchführen zu können. Die Anforderungen an die Detailstufen und Datenqualität sowie die Auflösung der Daten sind enorm. Die Konzipierung des Digitalen Schattens besitzt geringere Anforderungen. Es wird versucht, die Basis für den Digitalen Zwilling zu legen, und alle relevanten Daten zu erfassen. Die Datenqualität wird nur dahingehend untersucht, dass die Daten valide sind (siehe Abbildung 17).

Das grundlegende Ziel des Digitalen Schattens, und in weiterer Folge damit auch des Digitalen Zwillings, besteht darin, Transparenz in das definierte System zu bringen. Es sollen wichtige Aspekte messbar gemacht werden und die vorhandenen Systeme sinnbringend vernetzt werden. Zur Lösung dieser Aufgaben lässt sich der Digitale Schatten konstruieren, der ein Konzept liefert, mit dem die unstrukturierten Daten eine Struktur bekommen. In weiterer Folge lassen sich Analysen sowie Prognosen durchführen, die auf der beschriebenen Architektur aufbauen. Es wird hier zwischen deskriptiven, diagnostischen, prädiktiven sowie präskriptiven Auswertungen unterschieden. Die Datenqualität gilt als wichtigstes Kriterium für die erfolgreiche Durchführung von datenanalytischen Verfahren. BERNERSTÄTTER hat für diesen Zweck ein Reifegradmodell entwickelt, mit dem sich anhand der Reife der Datenqualität,

---

<sup>213</sup> Vgl. Kritzinger, W. et al. (2018), S. 1017

<sup>214</sup> Vgl. Wohlfeld, D. et al. (2017), S. 784

<sup>215</sup> Vgl. Wohlfeld, D. et al. (2017), S. 786

die Möglichkeiten der Anwendung bestimmen lassen.<sup>216</sup> Für diese Arbeit steht die Konzipierung der Architektur sowie die Ableitung der benötigten Daten im Vordergrund, aus diesem Grund ist der nächste Schritt, die Bestimmung der Datenqualität für diese Arbeit erlässlich.

Die Digitalisierung, und damit die Erhöhung des Grades der Cyberebene, hat immer den Zweck, die physische Ebene bei ihrer wichtigsten Tätigkeit zu unterstützen – Entscheidungen zu treffen. Die besten Prognosen oder Analysen haben keinen Nutzen, sondern nur Kosten erzeugt, wenn nicht eine Entscheidung daraus getroffen werden konnte, die die Kosten (oder andere Ziele) rechtfertigt.

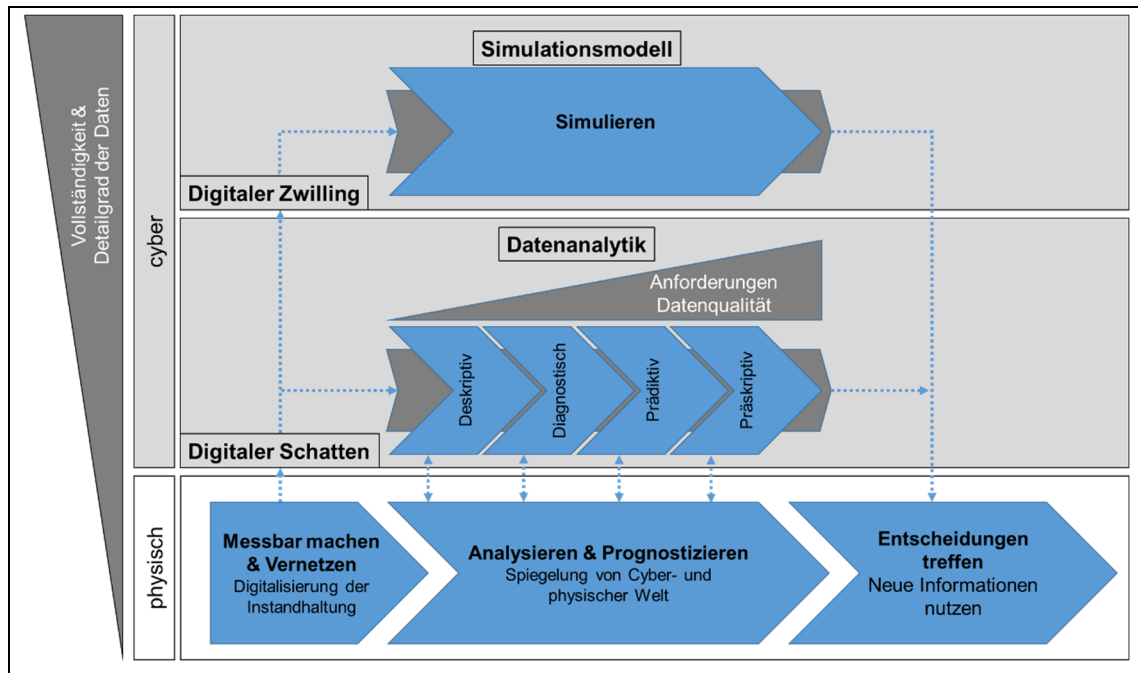


Abbildung 17: Abgrenzung Digitaler Schatten zu Zwilling<sup>217</sup>

### 2.10.2 Konzeptionierung des Digitalen Schattens

Die Konzeptionierung des Digitalen Schattens kann über zwei methodische Vorgehensweisen erfolgen. Dabei wird zwischen einem Top-Down und einem Bottom-Up-Ansatz unterschieden. Top-Down bedeutet, dass die zu erstellenden Datenmodelle deduktiv aus der Literatur oder aus allgemeinen Funktionen abgeleitet werden. Bottom-Up verfolgt den Ansatz, aus vorhandenen Daten, induktiv aus Spezialfällen, ein allgemeines Modell zu erstellen.

Die induktive Vorgehensweise bietet sich an, wenn über die grundlegenden Funktionen noch nicht viel bekannt ist und daher deduktiv keine Ableitung der Daten möglich erscheint. Es erfolgt der explorative Versuch, aus dem Spezialfall wichtige allgemeine Erkenntnisse zu gewinnen. Als Pendant dazu wird die deduktive Methode eingesetzt, wenn das zu beschreibende System in der Wissenschaft und Praxis als hinreichend

<sup>216</sup> Siehe Bernerstätter, R. (2019); Bernerstätter, R.; Kühnast, R. (2019)

<sup>217</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bauernhansl, T. et al. (2017), S. 25

erforscht gilt. Ein solches System ist das Instandhaltungsmanagementsystem und aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Top-Down-Ansatz gewählt.

Die Vorteile ergeben sich durch die formulierte Zielsetzung des Digitalen Schattens. WOHLFELD ET AL sehen im Digitalen Schatten folgende Anwendungsmöglichkeiten<sup>218</sup>:

- Datenanalytik
- Simulation
- Optimierung
- Entscheidungsunterstützung
- und weitere Punkte

Zusammenfassend wird mit dem Digitalen Schatten eine Basis geschaffen, mit der sich die steigende Komplexität bewältigen lässt. Durch das Zusammenführen aller relevanten Daten wird ein Informationssystem erstellt, in dem die Einflüsse, Verbindungen und Abhängigkeiten der Systemelemente nachvollziehbar dargestellt werden und ein Framework erhalten.

BAUERNHANSL ET AL teilt die Konzipierung des Digitalen Schattens in folgende Teilbereiche ein, die von der Forschung entwickelt werden müssen<sup>219</sup>:

- Definition einer Datenstruktur / eines Datenmodells
- Definition der multimodalen Datenaufnahme
- Definition der multisensorischen Datenaufnahme
- Konsistenz- und Plausibilitätscheck

Im ersten Punkt muss ein Datenmodell entwickelt werden, mit dem sich die existierenden Prozesse des untersuchungsgegenständlichen Systems erfassen lassen<sup>220</sup>.

### **2.10.3 Konzepte des Digitalen Schattens**

In den folgenden Unterkapiteln werden Modellierungsversuche von Datenmodellen im Kontext zu Instandhaltungsmanagement vorgestellt. Das Spektrum der Ausführungen geht von einfachen Klassendiagrammen, die die Instandhaltungsprozesse grob umfassen, bis hin zu einem komplexen Referenzmodell von Instandhaltungsdienstleistungen.

#### **2.10.3.1 Referenzmodell basierend auf dem PAS 55 Standard<sup>221</sup>**

CAMPOS und MÁRQUEZ stellen den Prozess der Referenzmodellierung eines Rahmenwerks des Instandhaltungsmanagements vor, dessen Basis der PAS 55-Standard ist. Die eingesetzten Geschäftsprozessmodellierungstechniken sind UML 2.1 (Unified Modelling Language) und BPMN 1.0 (Business Process Modelling Notation). Das Modell enthält dabei hauptsächlich Elemente, die dem Business Kontext (Modelle der Stakeholder-Beziehungen, des Leitbilds und der Vision, der Geschäftsziele und der

---

<sup>218</sup> Vgl. Wohlfeld, D. et al. (2017), S. 789

<sup>219</sup> Vgl. Bauernhansl, T. et al. (2017), S. 26ff

<sup>220</sup> Vgl. Bauernhansl, T. et al. (2017), S. 26

<sup>221</sup> Siehe Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011)

physischen Struktur des Geschäfts) zuzuordnen sind.<sup>222</sup> Das Instandhaltungsmanagement wird in dem Modell in vier Makroprozesse unterteilt:

- Systemplanung
- Ressourcenmanagement
- Implementierung und Durchführung
- Bewertung und kontinuierliche Verbesserung

Aus den vier Hauptelementen werden anschließend Subprozesse gebildet. Die methodische Vorgehensweise entspricht damit jener, die in dieser Arbeit angewandt wird. Die Komplexität und Abstraktionsebenen unterscheiden sich durch die Basis der Modelle stark voneinander.

### **2.10.3.2 Gestaltung des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistung im Maschinen- und Anlagenbau<sup>223</sup>**

HARLAND liefert mit seinem Referenzmodell von Instandhaltungsdienstleistungen einen wesentlichen Beitrag zur Weiterentwicklung des Digitalen Schattens. Basierend auf einer fallstudienbasierten Untersuchung wird zuerst festgelegt, welche Instandhaltungsdienstleistungen zu modellieren sind. Anschließend wird ein Datenmodell entwickelt, mit dem sich der Digitale Schatten in einer Datenbank abbilden lässt. Das erstellte Referenzmodell ist modular konzipiert, so dass sich Teile davon auch für weitere Modellierungen einsetzen lassen. Die vorgestellte Systematik orientiert sich ebenso wie die vorliegende Arbeit an dem ARIS-Haus, wobei mit dem fallstudienbasierten Ansatz grundlegende Unterschiede in den Prozessmodulen feststellbar sind. Der Fokus liegt, wie im Titel festgelegt, auf Instandhaltungsdienstleistungen und damit auf der Auftragsabwicklung.

### **2.10.3.3 Referenzarchitektur eines integrierten Informationssystems zur Unterstützung der Instandhaltung<sup>224</sup>**

Ein weiterer Ansatz zur Modellierung der Referenzarchitektur eines Informationssystems zur Unterstützung der Instandhaltung gestaltet REIDT in seiner Dissertation. Anhand einer Literaturanalyse werden die Anforderungen definiert und mithilfe von Industrieunternehmen verifiziert. Dabei besteht der wesentliche Beitrag aus der Extraktion generischer Anforderungen an integrierte Instandhaltungssysteme und der Modellierung in einer Funktions-, Verteilungs-, Prozess- und Use-Case-Sicht. Abschließend wird die Eignung der Referenzarchitektur mittels eines Ressourcencockpits und Experteninterviews evaluiert.

---

<sup>222</sup> Vgl. Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011), S. 809

<sup>223</sup> Siehe Harland, T. (2019)

<sup>224</sup> Siehe Reidt, A. (2019)

## 3 Modellierung des Informationssystems der Instandhaltung

Der Digitale Schatten des Informationssystems der Instandhaltung nimmt für die Umsetzung der Digitalisierungsstrategie in Unternehmen eine bedeutende Rolle ein. Die Möglichkeit der Modellierung lässt sich allerdings erst seit kurzem verfolgen, denn eine Abbildung des digitalen Abdrucks der Instandhaltungsorganisation kann nur dann erfolgen, wenn der Großteil der Prozesse bereits digital erfasst wird. Im folgenden Kapitel wird zunächst die Zielsetzung des Modells formuliert und eine zutreffende Architektur beschrieben. Ausgehend von dem Rahmenwerk werden dann Methoden eingesetzt, die eine Modellierung des Digitalen Schattens in den Sichtweisen Daten, Funktionen, Ziele und Steuerung erlauben. Dabei wird eine Vorgehensweise praktiziert, die sich vom Grundsätzlichen (Prozessmodule) ins Detail (Detailprozesse) entwickelt<sup>225</sup>.

### 3.1 Zielsetzung des Referenzmodells

Das Ziel des Modells Informationssystem Instandhaltung ist die Herstellung einer Verbindung von den Zielen oder Funktionen der Instandhaltung eines Unternehmens zu den dafür benötigten Daten und umgekehrt. Die Grundlage dafür bietet der Digitale Schatten, der erst seit kurzer Zeit die notwendige Verbreitung und IT-Durchdringung besitzt. Das Ergebnis ist ein Referenzmodell, in dem die Grundmodule des Instandhaltungsmanagements digital abgebildet sind, und über das sich die notwendigen Datenmodelle definieren lassen. Abbildung 18 zeigt die methodische Vorgehensweise und Zielsetzung der Modellierung. Bottom-Up besteht der erste Schritt in einer Abgrenzung des zu betrachtenden Systems. Das entsprechende Objekt der Realität ist das Informationssystem des Instandhaltungsmanagements. Aus diesem sollen zwei Modelle erstellt werden, die einerseits eine Bewertung der Instandhaltung von Unternehmen erlauben und andererseits ein Soll-Profil vorgeben, an dem sich die Instandhaltungsorganisation (oder der Softwarehersteller) zur Weiterentwicklung orientieren kann. Die Aufgabe besteht daher in der Erstellung eines Modells, das Empfehlungscharakter für beide Fälle besitzt. Das Resultat ist ein allgemein gültiges Referenzmodell, das den zwei Grundprinzipien der Geschäftsmodellierung nach ARIS folgt<sup>226</sup>. Das herangezogene Metamodell gibt die Sprache vor und definiert das Vorgehen.

Zusammenfassend beginnt der Modellierungsprozess bei der formulierten Zielsetzung, in der ein Referenzinformationsmodell der Instandhaltung konstruiert werden soll. Die semantischen Modellansprüche folgen aus der Prozessmodulauswahl<sup>227</sup>. Die daraus abzuleitenden syntaktischen Modellansprüche werden in den folgenden Abschnitten definiert. Ausgangspunkt bildet die von SCHEER definierte Referenzarchitektur, die für

---

<sup>225</sup> Vgl. Hänsch, K.; Endig, M. (2010), S. 244

<sup>226</sup> Siehe Abschnitt 2.4.1 Geschäftsprozessmodellierung mit ARIS-Haus

<sup>227</sup> Siehe Abschnitt 2.8.5-2.8.7 Generische Prozessmodule der Instandhaltung, Auswahl der Prozessmodule und Beschreibung der ganzheitlichen IH-Managementansätze



die vollständige Erstellung und softwaretechnische Umsetzung von Informationssystemen konzipiert ist. Vor allem die Organisationsebene erlaubt die Definition von Benutzern und kann durch Use-Case-Diagramme realtypische Szenarien abbilden, die die Prozesse der Softwareentwicklung unterstützen. Das ARIS-Haus wird aus diesem Grund in den folgenden Abschnitten abgewandelt, um den Fokus auf die Prozesse zu richten, und irrelevante Ebenen auszuklammern.

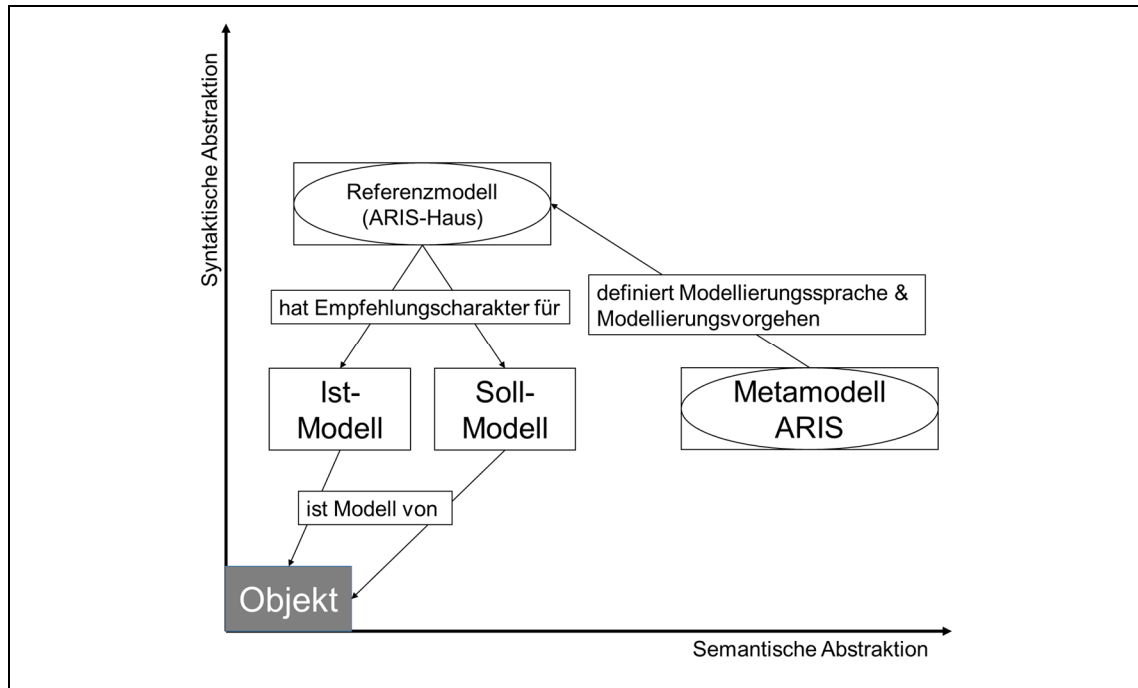


Abbildung 18: Zielsetzung der Modellierung<sup>228</sup>

## 3.2 Architektur des Referenzmodells

Die Grundlage für die Architektur des Modells bilden die in der Systemtheorie definierten Systemkonzepte<sup>229</sup>. Für die Modellierung wird das vorgestellte ARIS-Haus<sup>230</sup> für die formulierte Zielsetzung<sup>231</sup> abgewandelt.

### 3.2.1 Abgewandeltes ARIS-Haus – Systemabgrenzung

Das ARIS-Haus besteht in der ursprünglichen Form aus den Sichtweisen Daten, Funktionen, Organisation, Leistung und Steuerung. In der Perspektive Organisation werden vor allem aufbauorganisatorische Themenstellungen behandelt, die in dem vorliegenden Modell nur wenig Relevanz haben und aus diesem Grund unbeachtet bleiben. Der Zweck eines Informationssystems liegt in der Bereitstellung der richtigen Information zum richtigen Zeitpunkt. Die Zuordnung dieser Information zum richtigen Mitarbeiter liegt außerhalb des Betrachtungssystems des Modells, weil die Komplexität

<sup>228</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Schütte, R. (1998), S. 73

<sup>229</sup> Siehe Abschnitt 2.1 Systemtheoretische Grundlegung

<sup>230</sup> Siehe Abschnitt 2.4.1 Geschäftsprozessmodellierung mit dem ARIS-Haus

<sup>231</sup> Siehe Abschnitt 1.2 Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsfragen

um ein Vielfaches steigen würde. In der Zusammenfassung und dem Ausblick der Arbeit wird jedoch aufgezeigt, dass in der Weiterentwicklung von Informationssystemen diese Lücke noch geschlossen werden muss.<sup>232</sup> Die Darstellung der Leistung der Geschäftsprozesse wird in der Praxis stark für Produktionsprozesse eingesetzt, um vor allem den materiellen Output darzustellen. Die Leistungsperspektive des ARIS-Hauses wird in die Steuerungsperspektive (abgewandeltes ARIS-Haus) transferiert und durch Input-Output Relationen dargestellt. Nach SCHEER verfolgt jede Funktion ein oder mehrere Ziele und bildet sich in der Funktionssicht ab<sup>233</sup>. Wie in Abbildung 19 ersichtlich, wird für das erstellte Modell eine eigene Zielebene generiert, weil das Modell den Anspruch hat, jeder Funktion mindestens ein Ziel zuzuordnen. In Abbildung 19 sind außerdem für jede Sichtweise der unterschiedlichen Systemebenen, die grundlegenden Konzepte dargestellt, die die Methodenauswahl im nächsten Abschnitt definieren<sup>234</sup>.

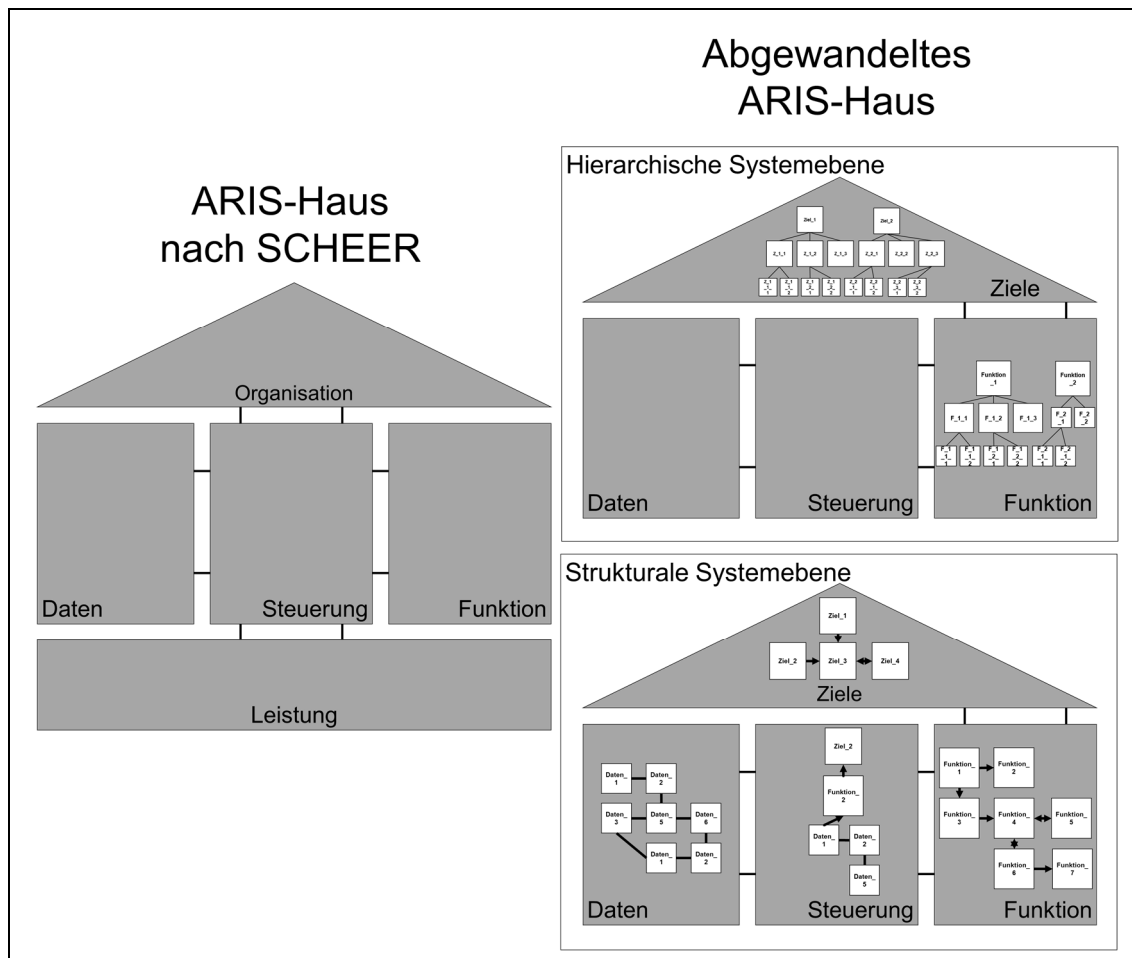


Abbildung 19: Vergleich ARIS-Haus und abgewandeltes ARIS-Haus<sup>235</sup>

<sup>232</sup> Siehe Kapitel 5 Zusammenfassung und Ausblick

<sup>233</sup> Vgl. Scheer, A.-W. (2000), S. 21ff

<sup>234</sup> Siehe Abschnitte 3.3.3 – 3.3.5 Zielsetzung, Architektur und methodische Vorgehensweise des Referenzmodells

<sup>235</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Scheer, A.-W. (2000), S. 1

### 3.2.2 Hierarchieebenen

Die Stärke des ARIS-Hauses ist die Aufteilung eines komplexen Systems in spezifische Sichtweisen, in denen die relevanten Modelle jene Inhalte beleuchten, die für den Modellersteller wichtig erscheinen. Eine Aufteilung in die Funktions-, Daten-, Ziel- und Steuerungsperspektive bricht die Geschäftsprozesse in Teilaspekte auf, die wesentlichen Einfluss auf die Effizienz und Effektivität des ausführenden Unternehmens haben. Die Vorgehensweise beachtet die Ausdehnung des Problems jedoch lediglich in den ausgewählten Dimensionen, die nicht in der Lage sind, einen hinreichenden Detailgrad zu beschreiben, ohne den Modellierungsgrundsatz nach Übersichtlichkeit zu verletzen. Es müssen daher weitere Dimensionen eingefügt werden, die in dieser Arbeit als Ebenen bezeichnet werden. Beispielsweise lässt sich der Ablauf einer Instandhaltungstätigkeit horizontal, chronologisch, aber auch vertikal, nach dem hierarchischen Kompetenzgefüge abbilden.<sup>236</sup> Tabelle 7 zeigt die Abstraktionsebenen des Modells. Die drei Abstufungen des Abstraktionsniveaus wurden von dem bekannten SCOR-Modell<sup>237</sup> abgewandelt übernommen.

**Tabelle 7: Abstraktionsebenen im Modell**

Ebene	Abstraktionsniveau	Beschreibung
1	Grundprozessmodule des IH-Managements	Definition der Systemgrenzen
2	Hauptprozessebene	Gestaltungsebene der Hauptprozesse
3	Detailprozessebene	Detailebene der Prozesse

## 3.3 Methodische Vorgehensweise

Basierend auf der festgelegten Architektur und den benötigten Systemdarstellungen<sup>238</sup> wurden Methoden der Geschäftsprozessmodellierung ausgewählt, die diesen Ansprüchen genügen.

### 3.3.1 Auswahl der Prozessmodule

Die Auswahl der relevanten Prozessmodule des Instandhaltungsmanagements erfolgt iterativ basierend auf den Tabellen 5 und 6. Es werden zunächst die Grundwerke mit einer möglichst ganzheitlichen Betrachtung des Instandhaltungsmanagements definiert, um anschließend eine Liste an Grundmodulen (Spalte 1 der Tabellen 5 und 6) zu erstellen. Basierend auf der Liste, wird, wenn möglich, der Detailgrad erhöht, oder die Grundmodule um relevante Erweiterungen ergänzt. Gleichzeitig wird qualitativ erhoben, mit welchem Detailgrad der Autor das spezifische Themengebiet beschrieben hat und ob es sich dementsprechend für die Ableitung der erforderlichen Daten eignet. Eine

<sup>236</sup> Vgl. Stender, S. (1992), S. 355

<sup>237</sup> Siehe Stewart, G. (1997)

<sup>238</sup> Siehe Abbildung 19

niedrige Granularität der Funktionen und Ziele bedingt eine niedrige Granularität der Entitäten, es würden sich keine neuen Erkenntnisse in dieser wissenschaftlichen Arbeit ergeben. Durch diese Vorgehensweise wird sichergestellt, dass das entstehende Referenzmodell generisch entwickelt wird und das Gesamtsystem Instandhaltungsmanagement in dem erforderlichen Umfang (Ziele an die IH) repräsentiert, eine Bedingung die für ein Referenzmodell als erfüllt gelten muss.

### **3.3.2 Modellierungsprozess**

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise des Modellierungsprozesses ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Modellierung startet bei der Funktionssichtweise, die aus der Grundlegung des zu beschreibenden Systems im ersten Schritt die Prozesse definiert. Die enge Verbindung von Zielen und daraus ableitbaren Funktionen würde ebenso im ersten Schritt eine Modellierung der Ziele erlauben. Die Extraktion von Zielen in der Modellierungsebene ist jedoch nicht praktikabel. Der Fokus liegt in der Literatur meistens auf den Prozessen, die übergeordnet Ziele verfolgen. Vor allem im Instandhaltungsmanagement werden übergreifende Ziele wie beispielsweise Ressourceneffizienz, Steigerung der Anlagenverfügbarkeit oder Erhöhung der Zuverlässigkeit ausgerufen. Eine direkte Ableitung der notwendigen Funktionen ist für die formulierten Ziele schwierig. Ebenso ist die Dekomposition der Ziele um ein Vielfaches komplexer als jene der Funktionen. Nach der Festlegung der Prozessmodule wird die Struktur und Hierarchie der Prozesssysteme erstellt, dazu werden Funktionsdiagramme konstruiert, die eine hinreichend genaue Abbildung der Funktionen erlauben. Der zweite Schritt ist die Modellierung der Zielsicht, die sich direkt aus den definierten Funktionen ergibt. Jede Funktion besitzt mindestens ein Ziel, das sie zu erreichen versucht. Die Darstellung erfolgt in Form von Zielbäumen für die drei Regelkreise des Instandhaltungsmanagements (normative Ebene ist ausgeschlossen). Die Modellierung der Steuerungssicht mit den Schritten 10 – 12 stellt den wichtigsten wissenschaftlichen Beitrag des vorliegenden Modells dar. Die angewandte Methodik stellt einerseits ein Vorgehen vor, mit dem sich die notwendigen Daten aus Funktionen und Zielen ableiten lässt, und beschreibt gleichzeitig die dafür notwendige Modellierungssprache. Das Ergebnis lässt sich in Form von Entity Relationship Diagrammen in der Datensicht darstellen. Die erhobenen Entitäten und dazugehörigen Attribute werden in der letzten Perspektive logisch zusammengeführt, um einerseits eine übersichtliche Darstellung zu ermöglichen, und andererseits die Entwicklung von dafür notwendigen Datenbanksystemen zu unterstützen. Das Ergebnis kann als Digitaler Schatten eines generischen Instandhaltungsmanagementkonzepts angesehen werden, da alle relevanten Daten für die Erfüllung der strategischen, strategisch-operativen und operativen Aufgaben direkt abgeleitet wurden.

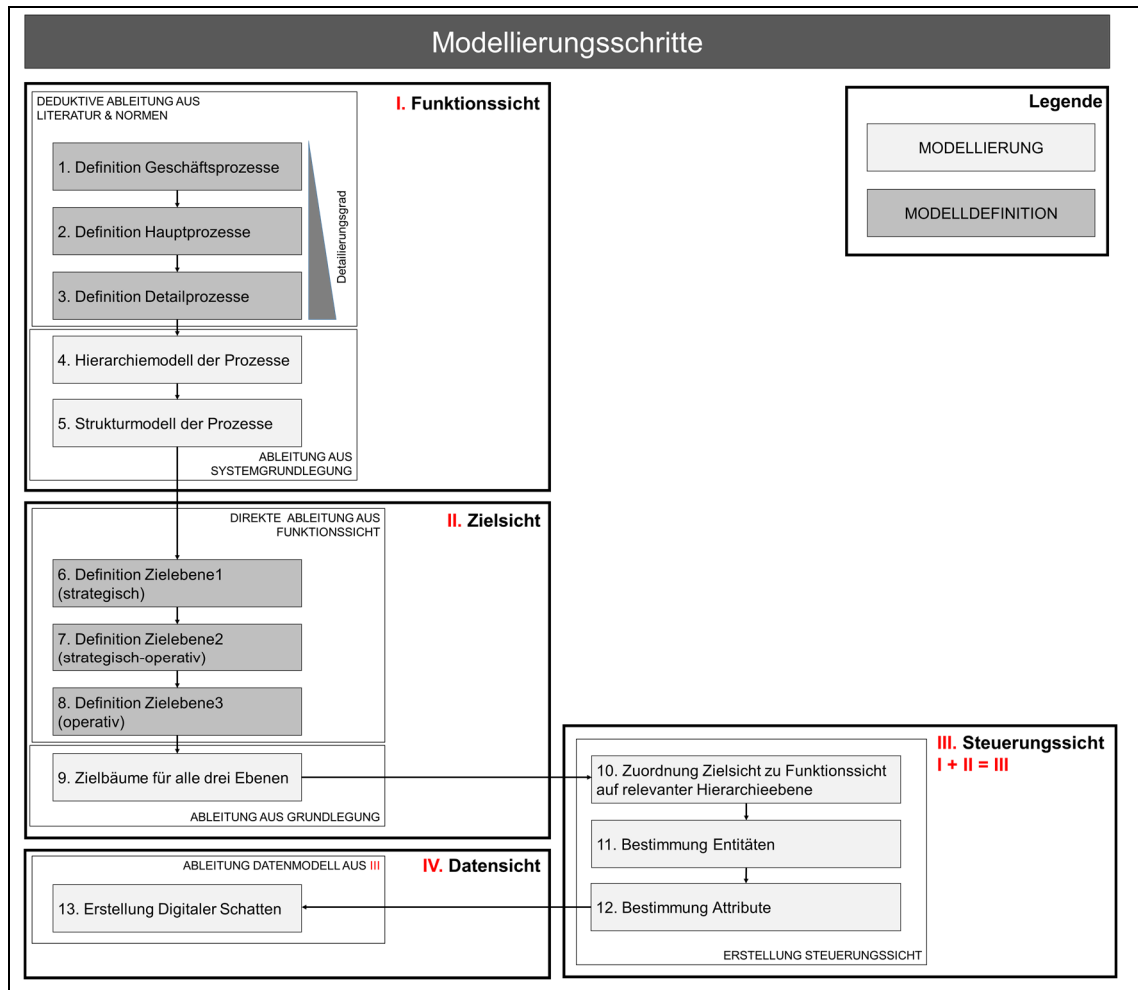


Abbildung 20: Vorgehensweise Modellierungsprozess<sup>239</sup>

### 3.3.3 Methodenauswahl nach den Systemebenen

Die Methodenauswahl erfolgt nach den definierten Systemdarstellungen. Die Erstellung eines Referenzmodells benötigt eine ganzheitliche Sichtweise auf die Geschäftsprozesse des Instandhaltungsmanagements. Es werden daher alle drei Möglichkeiten der Systemdefinition ausgeschöpft, da jede Ebene wichtige Abhängigkeiten der zu modellierenden Systemelemente zeigt. Die Input-Output-Darstellung wird durch die IDEF-0-Modellierung gezeigt.

#### Hierarchische Systemebene

Die Darstellung der Hierarchie ist im Referenzmodell für alle drei Perspektiven wichtig. Ziele und Funktionen können eine ähnliche hierarchische Struktur besitzen und werden als Funktions- oder Zielbäume dargestellt<sup>240</sup>. Die Daten folgen einer unterschiedlichen Rangfolge und setzen sich aus den Entitäten sowie Attributen (wobei zwischen Schlüsselattributen und einfachen Attributen unterschieden wird) zusammen. Die Hierarchie wird über ein einfaches Diagramm dargestellt, da hier keine Verzweigungen

<sup>239</sup> Eigene Darstellung

<sup>240</sup> Siehe Abschnitt 2.4.5 Funktions- und Zielbäume

erlaubt sind. Abbildung 21 zeigt Beispiele für die ausgewählten Methoden in der entsprechenden Perspektive. Nachdem in den Sichtweisen Daten, Funktionen und Zielen eine bestimmte Ordnung existiert, lässt sich diese auch auf die Steuerungssicht übertragen (aus Gründen der Übersicht wurde auf die Darstellung verzichtet).

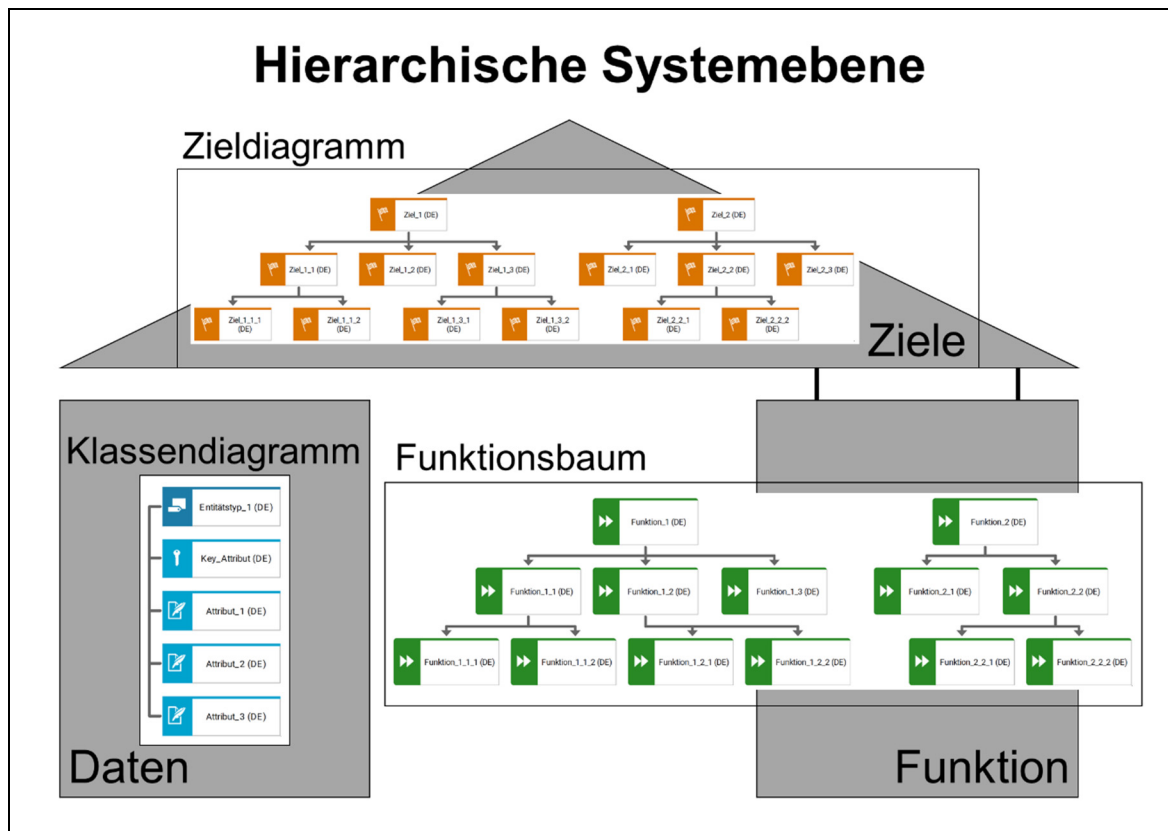


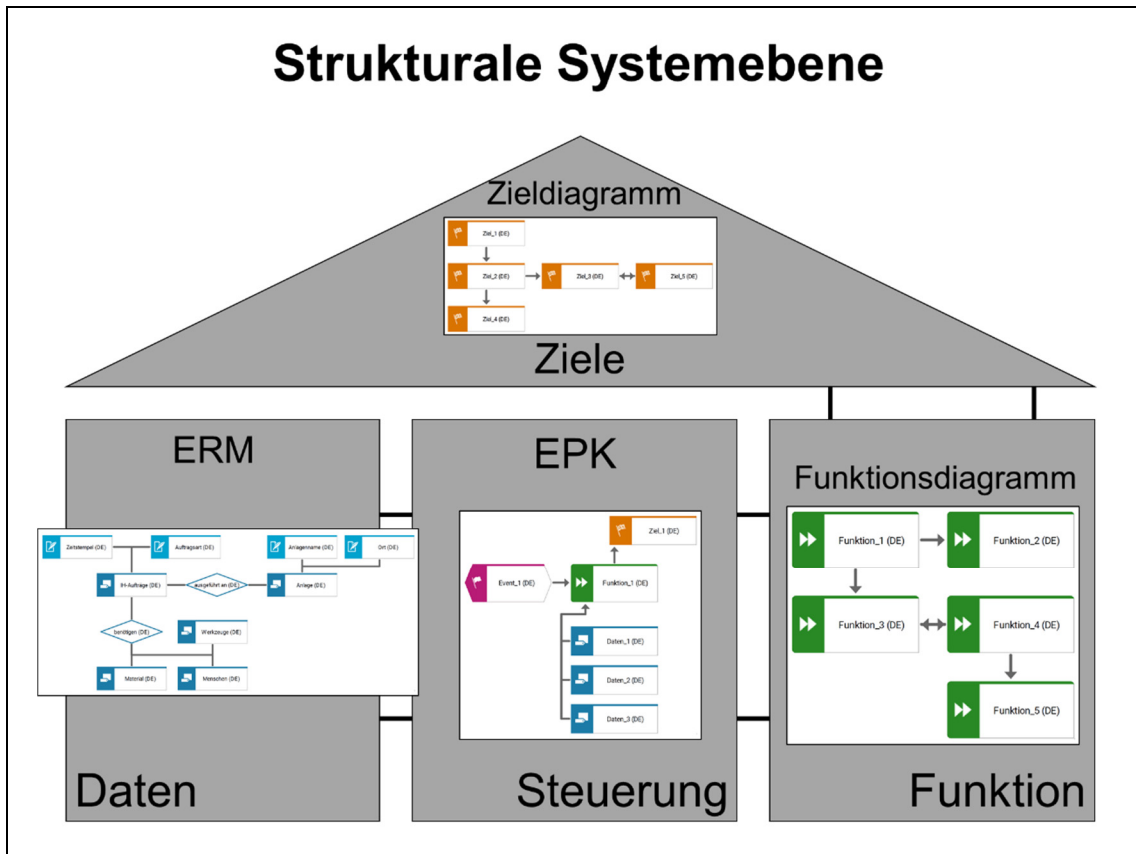
Abbildung 21: Hierarchische Systemebene<sup>241</sup>

### Strukturelle Systemebene

In der strukturalen Ebene (siehe Abbildung 22) werden die Beziehungen der Systemelemente zueinander dargestellt, wobei keine hierarchische Ordnung, sondern eine prozessuale Ordnung vorherrscht. Aufgrund der großen Bedeutung werden daher alle Perspektiven in der Ebene repräsentiert. Ein Zieliagramm zeigt die Ordnung der Ziele zueinander. Das Funktionsdiagramm hat die gleiche Aufgabe und stellt die Funktionen sowie deren Beziehung zueinander dar. Die Datenmodellierung erfolgt mithilfe von Entity Relationship Modellen, mit denen die Entitätstypen, die Primär- und Sekundärschlüssel sowie alle relevanten Attribute in einem System erfasst werden<sup>242</sup>. Die Steuerungsperspektive wird mit der Modellierungsmethode Ereignis-gesteuerte Prozessketten visualisiert. Dabei lassen sich die strukturalen Darstellungen je nach Hierarchieebene miteinander kombinieren.

<sup>241</sup> Eigene Darstellung

<sup>242</sup> Siehe Abschnitt 2.4.2 Datenmodellierung

Abbildung 22: Strukturelle Systemebene<sup>243</sup>

### 3.4 Funktionsmodellierung

Das Aufgabenfeld und Ausmaß des Digitalen Schattens im Instandhaltungsmanagementsystem nimmt mit der steigenden IT-Durchdringung im Industrieumfeld stetig zu und die Kernprozesse des Instandhaltungsmanagements werden digital erfassbar. Im gleichen Maß ist die Verbreitung von Computerized Maintenance Management Systemen (CMMS) laut einer Studie bereits stark fortgeschritten und es finden sich in 9 von 10 Instandhaltungsorganisationen eingesetzte Instandhaltungssoftwarelösungen<sup>244</sup>. Die Hauptaufgabe des Informationssystems der Gegenwart ist die operative Unterstützung in den Bereichen Ablauforganisation<sup>245</sup> bzw. Auftragswesen, wobei die Nachfrage nach strategischen und analytischen Modulen stark steigt. Die Modellierung des Informationssystems dieser Arbeit beginnt aus mehreren Gründen mit dem operativen Regelkreis. Das Auftragswesen besitzt naturgemäß einen hohen Stellenwert für die Produktion und für weitere Funktionen im Betrieb und wird daher in jedem Grundwerk des Instandhaltungsmanagements vordergründig beschrieben. Zusätzlich entstehen im operativen Regelkreis der Großteil an Daten, die sich dann in dem strategischen / strategisch-operativen oder normativen

<sup>243</sup> Eigene Darstellung

<sup>244</sup> Vgl. Kühnast, R. (2018), S. 80

<sup>245</sup> Vgl. Proksch, R. (1999), S. 87

Regelkreisen wiederfinden. Es ist daher für das Gesamtverständnis wichtig, im ersten Schritt mit der Modellierung des operativen Regelkreises zu beginnen.

In Abbildung 23 sind die zu modellierenden Inhalte als IDEF0 Diagramm dargestellt. Die Funktionsmodellierung stellt die Prozessmodule in den zwei festgelegten Systemebenen dar<sup>246</sup>:

- Funktionsarchitektur
- Funktionsstruktur

Den Gestaltungsregeln der IDEF0-Modellierung entsprechend<sup>247</sup>, stellen die Pfeile von links kommend, die Inputpfeile dar. Von oben werden die Steuerungspfeile gezeichnet, die die zu modellierende Funktion kontrollieren. Die von unten kommenden Pfeile stellen die auszuführenden Objekte dar. Jede Funktion wird mit einer eindeutigen ID (hier A0 bis A6) gekennzeichnet.

### 3.4.1 Eingrenzung des Modellinhalts

In Abbildung 23 ist das Prozessmodell des Instandhaltungsmanagements als IDEF0-Diagramm dargestellt. Der normative Regelkreis beginnt bei der Definition der Unternehmenspolitik (A0), die von Markt-, Umwelt- und staatlichen Bedingungen geprägt wird. Die Überzeugungen, Werthaltungen und Einstellungen, die im Unternehmen vorherrschen, bestimmen im Wesentlichen den Output, der als Unternehmensvision in den nächsten Baustein geht. Die Instandhaltungspolitik (A1) muss anhand von der definierten Unternehmenspolitik unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen und gesteuert von dem primären Ziel der Sicherheit, ein Instandhaltungsleitbild erstellen, das die allgemeine Unternehmensvision auf den zu leistenden Beitrag der Instandhaltung überträgt.

Ausgehend von der IDEF0-Modellierung muss das zu modellierende System eingegrenzt werden, da weder die Steuerungsobjekte, noch die Inputobjekte für die Funktionen A0 bis A2 im ARIS-Haus darstellbar wären. Gegenstände wie Unternehmenskultur (Inputs A0 Unternehmenspolitik: Überzeugungen, Werthaltungen oder Einstellungen) lassen sich mit den Techniken der Geschäftsprozessmodellierung nicht erfassen, die Funktionsmodellierung beginnt daher bei A3-Strategieplanung. Aus diesem Grund wurde auch im weiteren Modell der Strategieplanung die Ziffer 3 zugeordnet. Der erste darstellbare Input ist das Zielsystem, das in der Strategieplanung in konkrete Handlungen umgewandelt wird. Die Beschreibung der Inhalte der Module erfolgt vor jedem Abschnitt.

---

<sup>246</sup> Siehe Abbildung 19

<sup>247</sup> Siehe Abschnitt 2.4.4 IDEF0-Modell



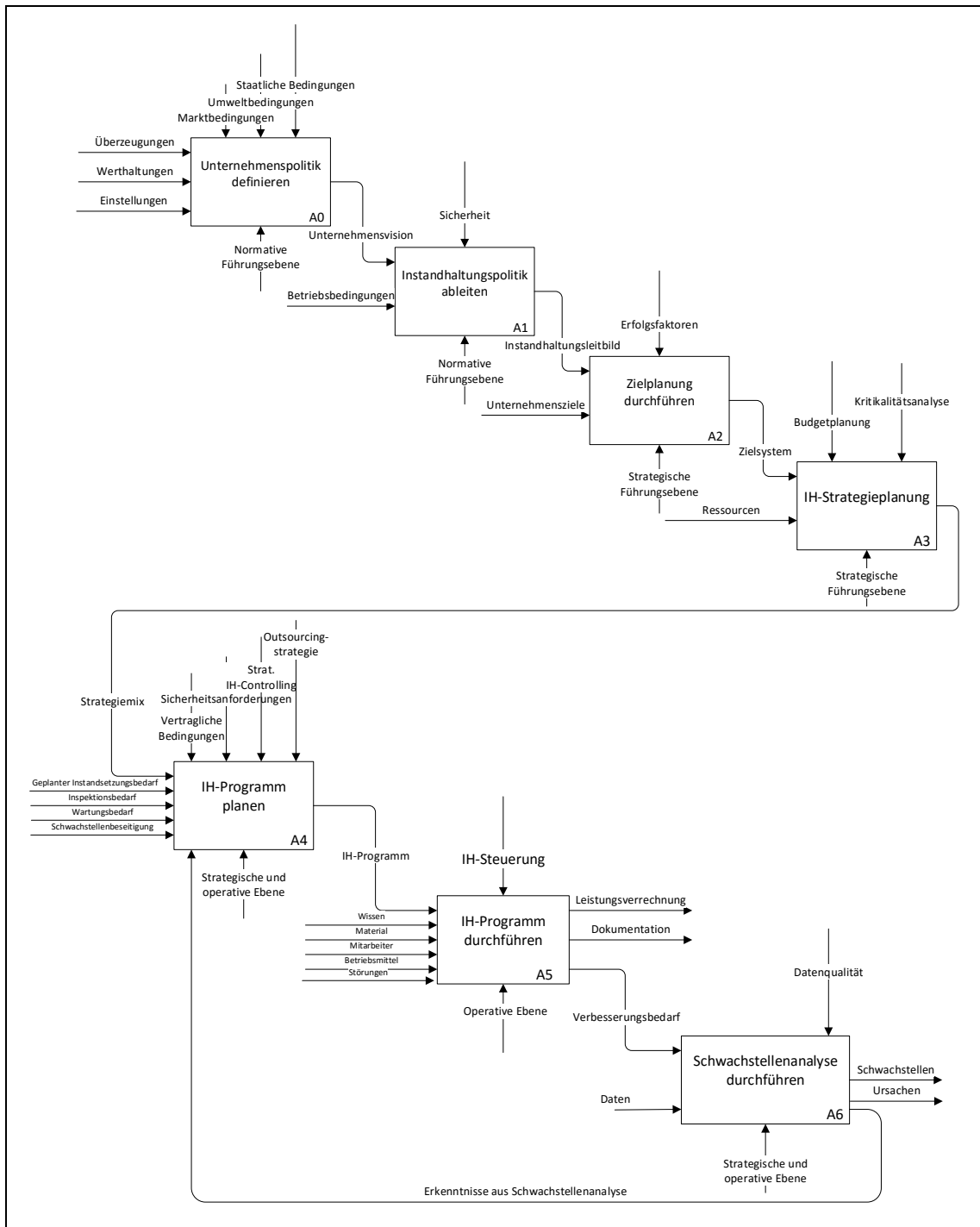


Abbildung 23: IH-Managementsystem als IDEF0-Modell<sup>248</sup>

### 3.4.2 Funktionsmodellierung der operativen Instandhaltungsprozesse

In Abbildung 23 wird die IH-Programmdurchführung mithilfe eines IDEF0-Diagramms beschrieben. Das Diagramm zeigt den Prozess als Input-Output-Diagramm wobei oberhalb die steuerungrelevanten Faktoren und unterhalb die ausführende Ebene

<sup>248</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987b)

angeführt wird<sup>249</sup>. Die Hauptelemente, die es bei der Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten zu berücksichtigen gilt, sind die Elementarfaktoren nach GUTENBERG<sup>250</sup>, die menschliche Arbeitsleistung, Betriebsmittel und Werkstoffe. Zusätzlich muss das vorhandene, vor allem technische, Wissen in den Prozess als Input eingehen, um das definierte Programm der IH-Tätigkeiten umsetzen zu können. Die Instandhaltungssteuerung übernimmt die Aufgabe der Kontrolle des Prozesses und als Output sind die erledigten Ziele in Form einer Dokumentation und Leistungsverrechnung zu verzeichnen. Im Folgenden wird die Instandhaltungsdurchführungsplanung – in ihre Detailprozesse zerlegt – dargestellt und beschrieben.

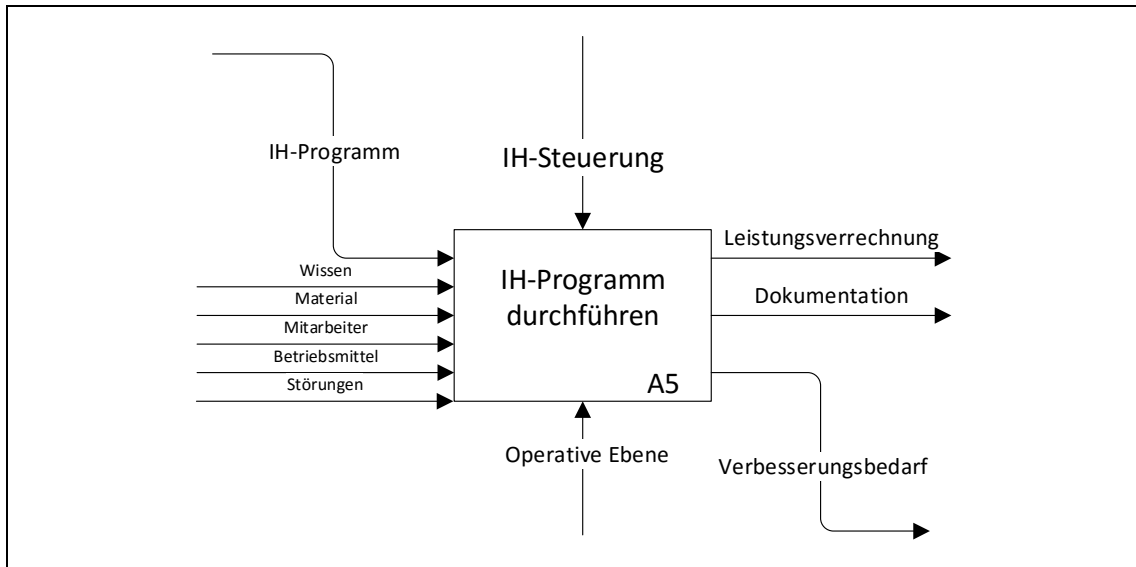


Abbildung 24: Operativer Regelkreis<sup>251</sup>

### 3.4.2.1 Instandhaltungsdurchführungsplanung

Tabelle 8, Abbildung 25 und 26 zeigen in Kombination alle zu betrachtenden Aspekte des Prozessmoduls Instandhaltungsdurchführungsplanung und den Detailgrad der Ausarbeitungen in den definierten Grundwerken. Nach BIEDERMANN besteht die operative Planung aus der Bereitstellungsplanung und der Ablaufplanung<sup>252</sup>. Diese Ansicht wird von weiteren Autoren geteilt<sup>253</sup>. Basierend auf der grundlegenden Unterteilung der IH-Durchführungsplanung in die Bereitstellungs- und Ablaufplanung wurde die definierte Literatur nach Detailbeschreibungen untersucht. Das Ergebnis ist Tabelle 8, in der die Ableitung der zu berücksichtigenden Teilmodule gezeigt wird (dritte Ebene). Die Abfolge der Prozesse und die hierarchische Ordnung sind in den Abbildungen 25 und 26 zu sehen. Die Darstellung des Detailgrads ist vor allem für die Steuerungsmodellierung wichtig, da eine unzulängliche Beschreibung die Ableitung von den benötigten Daten unmöglich machen würde. Ausgehend von der groben Struktur wurden mehrere Werke untersucht, in denen die Instandhaltungsdurchführungsplanung genauer beschrieben wurde.

<sup>249</sup> Siehe Abschnitt 2.4.5 IDEF0-Modellierung

<sup>250</sup> Vgl. Gutenberg, E. (1958), S. 27ff

<sup>251</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987b)

<sup>252</sup> Vgl. Biedermann, H. (1987b), S. 182f

<sup>253</sup> Siehe Tabelle 8

**Tabelle 8: Instandhaltungsdurchführungsplanung**

<b>Detailprozesse der Instandhaltungsdurchführungsplanung</b>	<b>BIE</b> (1987) <sup>254</sup> (2008) <sup>255</sup>	<b>SCH</b> (2010) <sup>256</sup>	<b>PAL</b> (2006) <sup>257</sup>	<b>MAR</b> (2007)	<b>CAM</b> (2016) 258	<b>PAW</b> (2016) 259	<b>KEL</b> (2007) 260										
6_Instandhaltungsdurchführungsplanung	○	◐	●	◐	◐	●	●										
6_1_Bereitstellungsplanung	●	◐	●	◐ <sup>261</sup>	◐	●	●										
6_2_Ablaufplanung	●	◐	●	◐ <sup>262</sup>	◐	●	●										
6_1_1_Personalidentifizierung und -zuweisung	●	◐	●	◐	◐	●	●										
6_1_2_Beschaffung Material und Ersatzteile	●	◐	●	◐	◐	●	●										
6_1_3_Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge-, Transport-, Hebe und Stützeinrichtungen	●	◐	●	◐	◐	●	●										
6_2_1_Bearbeitungsplanung	●	◐	●	◐	◐	●	●										
6_2_2_Mengenplanung	●	◐	●	◐		●	●										
6_2_3_Zeitplanung	●	◐	●	◐		●	●										
<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>○</td> <td>◐</td> <td>◑</td> <td>●</td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>nicht betrachtet</td> <td>geringer Detailgrad</td> <td>mittlerer Detailgrad</td> <td>hoher Detailgrad</td> <td>vollständig</td> </tr> </table>								○	◐	◑	●	●	nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig
○	◐	◑	●	●													
nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig													

Die Funktionsmodellierung besteht aus zwei Komponenten. Die Strukturdarstellung erlaubt Untersuchungen bzgl. der Beziehung von Systemelementen zueinander. In der Funktionsmodellierung wird damit die Abfolge der Prozesse bestimmt. Die Hierarchie komplettiert die Systemdarstellung durch die Modellierung der Ebenen innerhalb des Systems.

**Systemstruktur der Instandhaltungsdurchführungsplanung**

Die Instandhaltungsdurchführungsplanung besteht aus zwei Prozessen. Abbildung 25 zeigt die Beziehung der zwei Systemelemente auf der zweiten Systemebene. Auf eine

<sup>254</sup> Siehe Biedermann, H. (1987b), S. 182f

<sup>255</sup> Siehe Biedermann, H. (2008a), S. 102ff

<sup>256</sup> Siehe Schröder, W. (2010), S. 124ff

<sup>257</sup> Siehe Kinz, A. (2017), S. 125ff

<sup>258</sup> Siehe Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016), S. 95ff

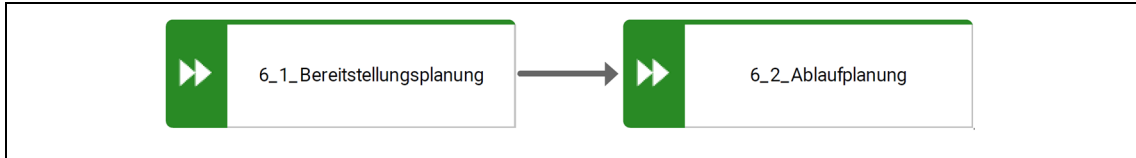
<sup>259</sup> Siehe Pawellek, G. (2016), S. 222ff

<sup>260</sup> Siehe Kelly, A. (2007), S. 74ff

<sup>261</sup> Siehe Crespo Márquez, A. (2007), S. 157ff

<sup>262</sup> Siehe Crespo Márquez, A. (2007), S. 185ff

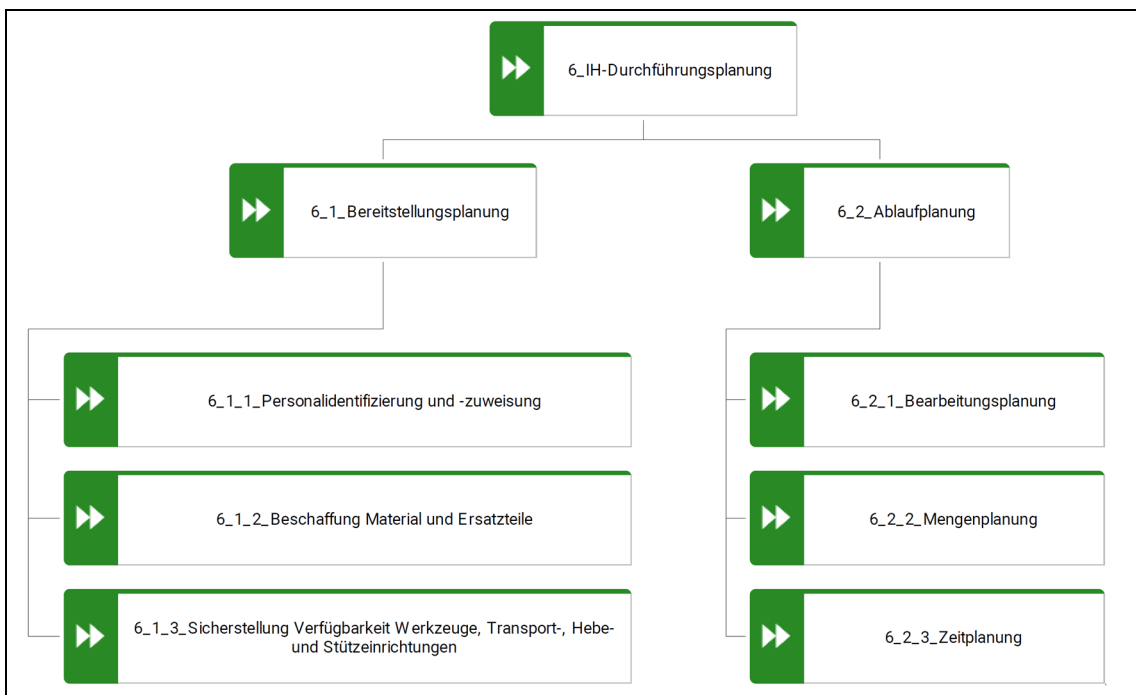
Darstellung der Systemstruktur der ersten Ebene (nur 1 Element) sowie der dritten Ebene wird verzichtet, da die Prozesse der gleichen Logik folgen. Zusammenfassend besteht die 6\_IH-Durchführungsplanung aus den zwei Teilprozessen 6\_1\_Bereitstellungsplanung und 6\_2\_Ablaufplanung. Die weitere Untergliederung ist in Abbildung 26 zu sehen.



**Abbildung 25: Struktur der Instandhaltungsdurchführungsplanung auf der zweiten Systemebene<sup>263</sup>**

### Systemhierarchie der Instandhaltungsdurchführungsplanung

Das Prozessmodul IH-Durchführungsplanung lässt sich hierarchisch in drei Systemebenen unterteilen. Die Prozesse Bereitstellungs- und Ablaufplanung besitzen eine hohe Komplexität und werden in eine tiefere Ebene zerlegt. Die Bereitstellungsplanung besteht aus der Personalidentifizierung und -zuweisung, der Beschaffung des benötigten Materials und Ersatzteile sowie der Sicherstellung der Verfügbarkeit von Werkzeugen, Transport-, Hebe-, Inspektions- und Stützeinrichtungen. Die darauffolgende Planung der Abläufe beinhaltet die Bearbeitungs-, Mengen- und Zeitplanung der einzusetzenden Ressourcen.<sup>264</sup>



**Abbildung 26: Hierarchie der Instandhaltungsdurchführungsplanung<sup>265</sup>**

<sup>263</sup> Eigene Darstellung

<sup>264</sup> Eine detailliertere Beschreibung ist in der Steuerungsmodellierung vorhanden (siehe Abschnitt 3.6 Steuerungsmodellierung)

<sup>265</sup> Eigene Darstellung

### 3.4.2.2 Auftragssteuerung

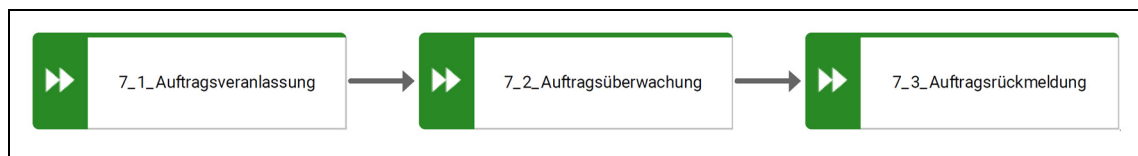
Die Auftragssteuerung oder Instandhaltungssteuerung umfasst jene Tätigkeiten, die unmittelbar vor, während oder nach der Durchführung der Instandhaltungsaktivität notwendig sind<sup>266</sup>. Tabelle 9 gibt Aufschluss über die drei Detailprozesse der Auftragssteuerung. Der Auftrag wird veranlasst, anschließend überwacht und zum Abschluss erfolgt eine Rückmeldung.

**Tabelle 9: Auftragssteuerung**

Detailprozesse der Auftragssteuerung	BIE (2008) <sup>267</sup>	PAW (2016) <sup>268</sup>	CAM (2016) <sup>269</sup>											
7_Auftragssteuerung	●	●	●											
7_1_Auftragsveranlassung	○	●	●											
7_2_Auftragsüberwachung	●	●	●											
7_3_Auftragsrückmeldung	●	●	●											
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>○</td> <td>●</td> <td>●</td> <td>●</td> <td>●</td> </tr> <tr> <td>nicht betrachtet</td> <td>geringer Detailgrad</td> <td>mittlerer Detailgrad</td> <td>hoher Detailgrad</td> <td>vollständig</td> </tr> </table>					○	●	●	●	●	nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig
○	●	●	●	●										
nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig										

### Systemstruktur der Auftragssteuerung

Die Systemstruktur der Auftragssteuerung (Abbildung 27) gibt die in Tabelle 9 formulierte Untergliederung des Hauptprozesses 7\_Auftragssteuerung wieder.



**Abbildung 27: Systemstruktur der Auftragssteuerung<sup>270</sup>**

### Systemhierarchie der Auftragssteuerung

Die Systemhierarchie der Auftragssteuerung ist in Abbildung 28 visualisiert. Das Prozessmodul ist mit dieser Darstellung vollständig und lässt sich dementsprechend in den weiteren Perspektiven modellieren. Es ist hervorzuheben, dass der Prozess Auftragssteuerung in der Funktionsperspektive einfach wirkt, jedoch in der Steuerungsmodellierung durchaus an Komplexität gewinnt. Es wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit jeder Prozess dargestellt.

<sup>266</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 107

<sup>267</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 107ff

<sup>268</sup> Vgl. Pawellek, G. (2016), S. 227ff

<sup>269</sup> Vgl. Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016), S. 97ff; 166ff

<sup>270</sup> Eigene Darstellung

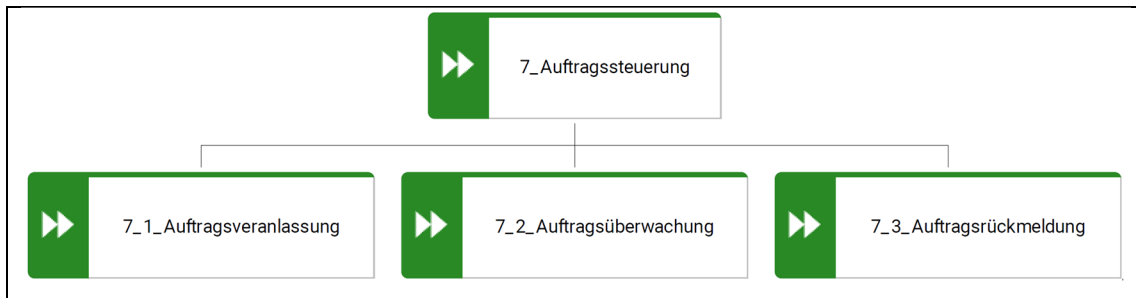


Abbildung 28: Systemhierarchie der Auftragssteuerung<sup>271</sup>

### 3.4.2.3 Instandhaltungsdurchführung

Die Prozesse der Instandhaltungsdurchführung konzentrieren sich auf die operativen Aufgaben der Instandhaltung. Es gilt nach der Instandhaltungsnorm<sup>272</sup> folgende Prozesse durchzuführen (siehe Abbildung 29):

- Wartung
- Inspektion
- Instandsetzung
- Verbesserung

Die prinzipielle Definition der Hauptaufgaben nach der Norm wird von verschiedenen Autoren gleichermaßen geteilt. Die Ableitung der Detailprozesse ist in Tabelle 10 ersichtlich. Bei der Instandsetzung erfolgt zunächst die Erfassung technischer Daten sowie die Aufgabenbeschreibung. Besonders wichtig ist die Identifizierung des Fehlerorts in diesem Prozessschritt<sup>273</sup>. Es folgt in allen drei operativen Tätigkeiten eine Beschaffung der benötigten Ausrüstung. Anschließend kann die Wartung, Reparatur oder Inspektion durchgeführt werden. Im abschließenden Prozessschritt wird entweder die Qualität der Tätigkeit überprüft, oder es werden weitere Maßnahmen abgeleitet. Aus Tabelle 10 geht außerdem hervor, dass nicht alle Autoren eine detaillierte Beschreibung der IH-Tätigkeiten durchführen. Anzumerken ist außerdem die vierte Aufgabe der Instandhaltung, die Schwachstellenanalyse. Nicht alle Normen / Autoren sehen die Verbesserung als wesentliche Aufgabe der Instandhaltung an.

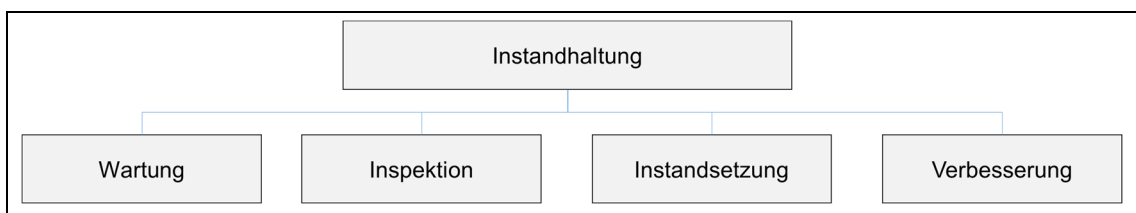


Abbildung 29: Unterteilung der Instandhaltung<sup>274</sup>

<sup>271</sup> Eigene Darstellung

<sup>272</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung, 31051 (2012), S. 4ff

<sup>273</sup> Vgl. 3.6.1.4 Steuerungsmodellierung der Instandhaltungsdurchführung

<sup>274</sup> Quelle: Deutsches Institut für Normung, 31051 (2012), S. 4

**Tabelle 10: Detailprozesse der Instandhaltungsdurchführung**

<b>Detailprozesse der Instandhaltungsdurchführung</b>	DIN31 (2012) 275	GFMAM (2014) <sup>276</sup>	BIE (2008) 277	PAW (2016) 278	CAM (2016) 279	LEI (2017) 280
8_Instandhaltungsdurchführung	●	●	●	●	●	●
8_1_Wartung	●	●	●	●	●	●
8_2_Inspektion	●	○	●	●	●	●
8_3_Instandsetzung	●	●	●	●	●	●
8_4_Verbesserung	●	○	●	●	●	○
8_1_1_Erfassung technische Daten und Aufgabenbeschreibung	●	○	○	○	○	●
8_1_2_Beschaffung Ersatzteile, Werkzeuge und Hilfsmittel	●	○	○	○	○	●
8_1_3_Durchführung Erneuerung / Austausch / Revision	●	○	○	○	○	●
8_1_4_Testen und Funktionsabnahme	●	○	○	○	○	●
8_3_1_Erfassung technische Daten und Aufgabenbeschreibung	●	○	◐	○	○	●
8_3_2_Beschaffung Ersatzteile, Werkzeuge und Hilfsmittel	●	○	○	○	○	●
8_3_3_Schaden identifizieren		○	●	●	○	●
8_3_4_Reparatur	●	◐	○	○	○	●
8_3_5_Testen und Funktionsabnahme	●	○	○	○	○	●
8_2_Inspektion (siehe Abbildung 29 & 30)	●	●	●	●	●	●
○	◐	◑	●	●		
nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig		

**Systemstruktur der Instandhaltungsdurchführung**

Abbildung 30 zeigt die Systemstruktur nach der in Tabelle 10 definierten Unterteilung der Detailprozesse.

<sup>275</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung, 31051 (2012), S. 4ff

<sup>276</sup> Vgl. The Global Forum on Maintenance and Asset Management (GFMAM) (2014), S. 27

<sup>277</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 19ff

<sup>278</sup> Vgl. Pawellek, G. (2016), S. 227ff

<sup>279</sup> Vgl. Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016), S. 98ff; 111

<sup>280</sup> Vgl. Leidinger, B. (2017), S. 71ff

Es ist deutlich erkennbar, dass die Teilschritte einer prozessualen Ordnung folgen<sup>281</sup>.

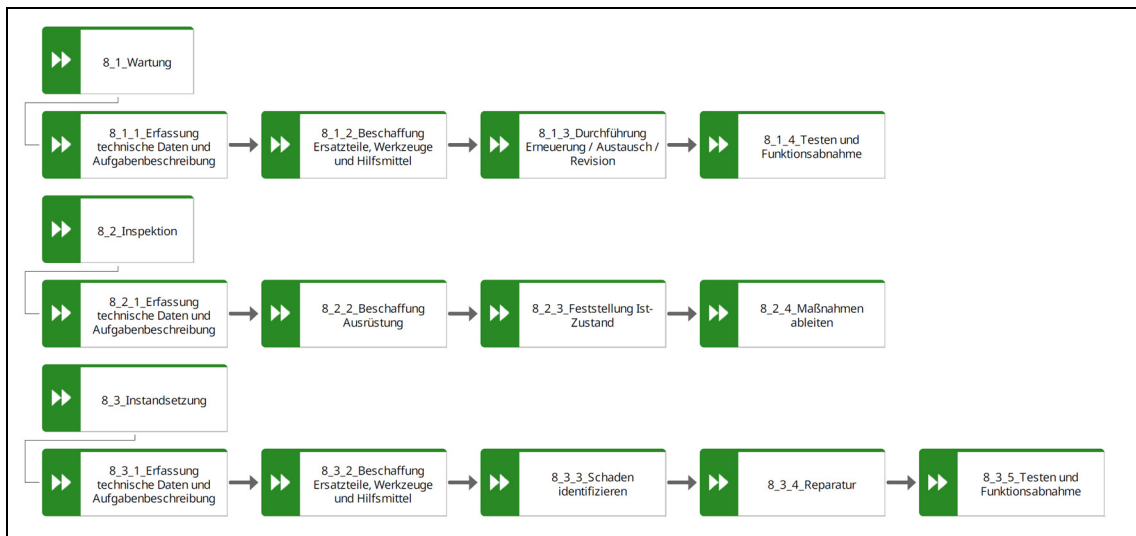


Abbildung 30: Systemstruktur der Instandhaltungsdurchführung<sup>282</sup>

### Systemhierarchie der Instandhaltungsdurchführung

In Abbildung 31 wird die hierarchische Ordnung der 6\_IH-Durchführung gezeigt. Da in 5\_Schwachstellenanalyse eine detaillierte Ausarbeitung der Verbesserung erfolgt, wird auf diesen Abschnitt verwiesen<sup>283</sup>.

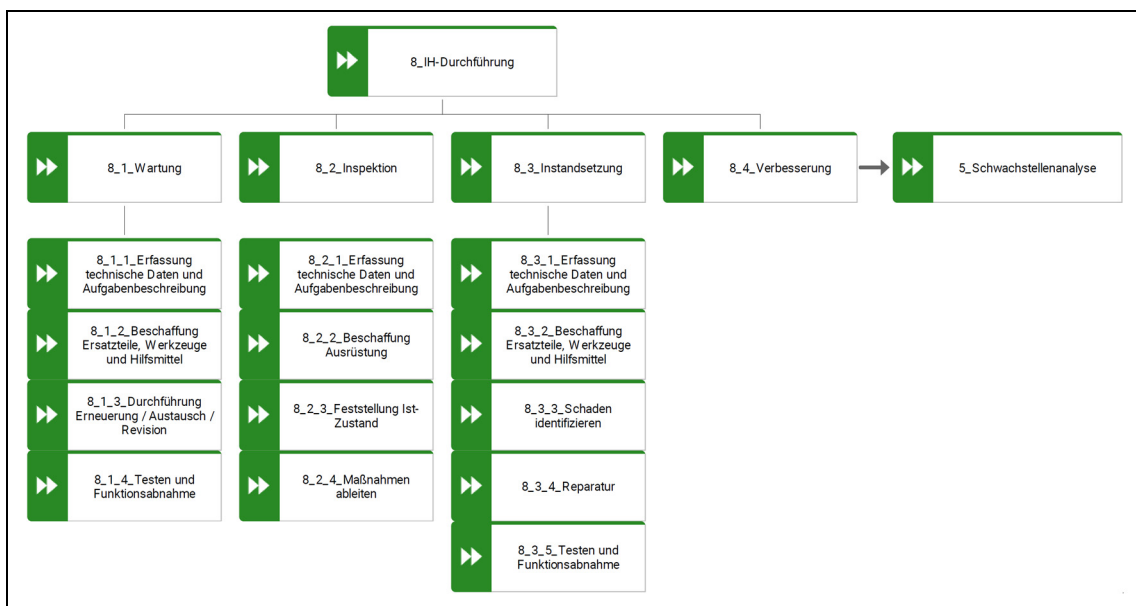


Abbildung 31: Systemhierarchie der Instandhaltungsdurchführung<sup>284</sup>

<sup>281</sup> Hier gilt es anzumerken, dass es in der Praxis durchaus vorkommen kann, dass Teilschritte ausgelassen oder mehrfach durchgeführt werden müssen. Es ist außerdem keinesfalls auszuschließen, dass die Teilschritte in einer anderen Reihenfolge stattfinden. Das Modell wird durch die Ausnahmen nicht beeinträchtigt.

<sup>282</sup> Eigene Darstellung

<sup>283</sup> Siehe Abschnitt 3.4.3.2 Schwachstellenanalyse

<sup>284</sup> Eigene Darstellung



### 3.4.3 Funktionsmodellierung der operativ-strategischen Instandhaltungsprozesse

Der strategisch-operative Regelkreis besitzt nach KINZ zwei Prozesse, die als Bindeglied zwischen der strategischen und operativen Ebene stehen: die IH-Programmplanung und die Schwachstellenanalyse<sup>285</sup>. In der IH-Programmplanung wird der Instandhaltungsbedarf durch eine adäquate Mischung an Instandhaltungstätigkeiten befriedigt. Dabei werden die steuernden Elemente, wie vertragliche Bedingungen, Sicherheitsanforderungen, das strategische IH-Controlling sowie die Outsourcingstrategie in die Programmplanung stark miteinbezogen (siehe Abbildung 32). Die Liste an geplanten Tätigkeiten wird dann an die operative, auszuführende Ebene übertragen.

Nach erfolgreicher Fertigstellung der Instandhaltungstätigkeiten beginnt die Schwachstellenermittlung, die zum Ziel hat, Schadstellen, mit technisch-möglichen und wirtschaftlich-vertretbaren Mitteln so zu verändern, dass die Schadenshäufigkeit und/oder der Schadensumfang sich verringern<sup>286</sup>. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern Input für die IH-Programmplanung, um vor allem wiederkehrende Fehler zu identifizieren und die Schwachstellenbeseitigung einzuleiten bzw. Wissen über bekannte Fehler in die Durchführungsplanung fließen zu lassen.

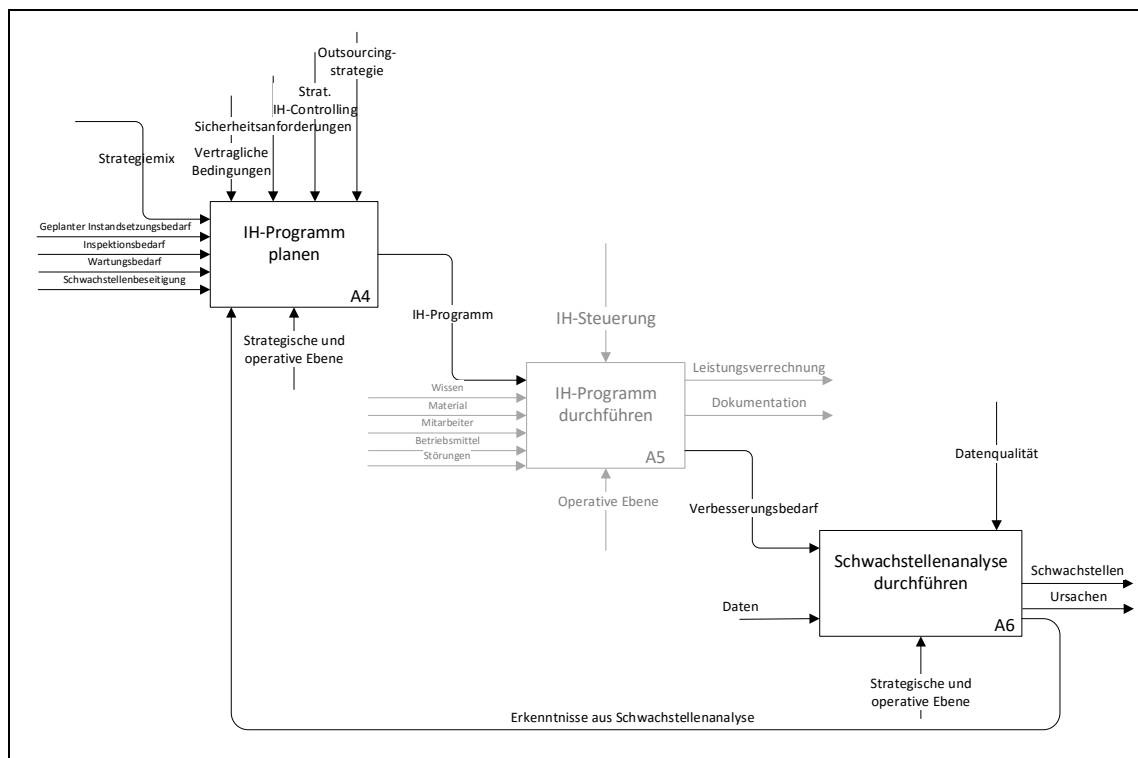


Abbildung 32: Strategisch-operativer Regelkreis<sup>287</sup>

<sup>285</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 128

<sup>286</sup> Vgl. Deutsches Institut für Normung, 31051 (2012), S. 7

<sup>287</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987b)

### 3.4.3.1 IH-Programmplanung

Die vier operativen Hauptaufgaben der Instandhaltung sind die Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung<sup>288</sup>. Um eine effiziente und effektive Durchführung gewährleisten zu können, muss die Instandhaltung so weit wie möglich das Programm vorab planen. Daraus ergibt sich ein Planungsprozess für jede der vier Tätigkeiten (siehe Abbildung 33).

#### Systemstruktur der IH-Programmplanung

Bei der Planung der Wartung werden zunächst die Herstellerangaben analysiert und in einer geeigneten Dimension erfasst. In vielen Fällen werden die Betriebsstunden, oder auch die Kalenderzeit herangezogen, um in regelmäßigen Abständen den Verschleißzustand wiederherzustellen. Während des Betriebs der Einheit entstehen Erfahrungswerte bei den Mitarbeitern, die eingesetzt werden können um die Wartungsintervalle anzupassen. Der optimale Wartungszeitpunkt kann allerdings nur zuverlässig bestimmt werden, wenn entweder der Verschleißvorrat vollständig ausgenutzt wird und das System ausfällt, oder wenn ein hinreichend genaues Modell in der Lage ist, einen Wartungszeitpunkt zu prognostizieren. Die erste Variante sollte nur bei unkritischen Anlagen angewandt werden, oder es drohen hohe Ausfallkosten. Bei der zweiten Alternative ist der Aufwand erheblich und sollte mit dem Nutzen verglichen werden.<sup>289</sup>

Bei der Wartung wird per Definition vorausgesetzt, dass die Tätigkeit geplant werden muss. Eine Störung ist immer ein ungeplantes Ereignis, das vom Zufall, bzw. von Einflussgrößen bestimmt wird, die man nicht kennt oder definieren kann. Basierend auf historischen Daten lassen sich dennoch Erkenntnisse für die Vorbereitung des Entstörprozesses gewinnen. Eine effiziente und effektive Behebung wird durch eine grobe Ressourcenplanung unterstützt, in der Ersatzteile sowie andere Ressourcenkapazitäten für zufällige Ereignisse reserviert werden. Vor allem für Ersatzteile mit langen Lieferzeiten sollte in jedem Fall eine Grobplanung erfolgen.

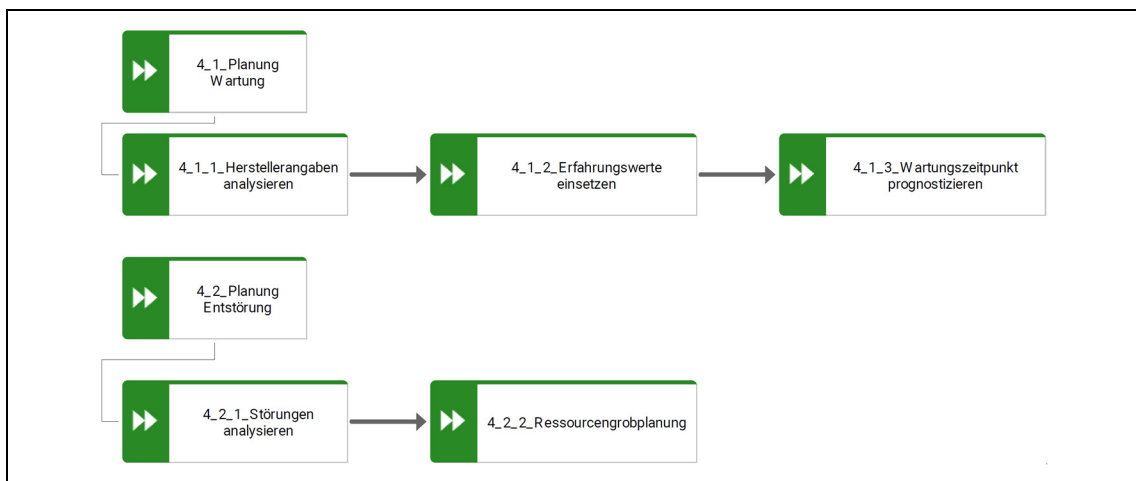


Abbildung 33: Systemstruktur der Instandhaltungsprogrammplanung<sup>290</sup>

<sup>288</sup> Siehe Abschnitt 3.4.2.3 Instandhaltungsdurchführung

<sup>289</sup> Crespo Márquez, A. (2007), S. 15ff

<sup>290</sup> Eigene Darstellung

### Systemhierarchie der IH-Programmplanung

Die Systemhierarchie ist in Abbildung 34 abgebildet. Für die Planung der Wartung und Entstörung wird eine dritte Hierarchieebene eingefügt.

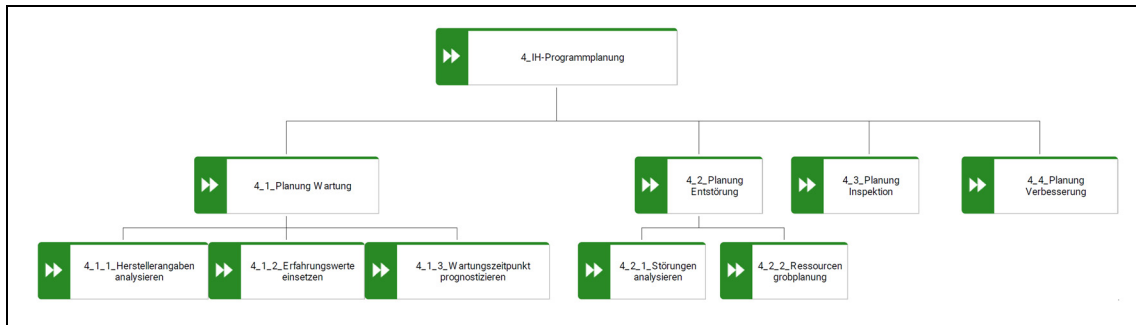


Abbildung 34: Systemhierarchie der Instandhaltungsprogrammplanung<sup>291</sup>

#### 3.4.3.2 Schwachstellenanalyse

Die operative Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten muss vor allem bei ungeplanten Ausfällen eine Schwachstellenanalyse initiieren, da die Ausfallkosten die Kosten zur Beseitigung der Ursachen bzw. die Instandhaltungskosten um ein Vielfaches übersteigen. Es gilt wiederkehrende Fehler / Schwachstellen zu identifizieren und zu beseitigen. Es kommt nach MEXIS darauf an, Probleme zu beseitigen, Zustände zu verbessern und Vorgänge rationeller zu gestalten<sup>292</sup>. Nach PAWELLEK gilt es in der Schwachstellenanalyse vier Ergebnisse zu bestimmen, die in Tabelle 11 als Detailprozesse aufgeführt werden. Im ersten Schritt werden die auftretenden Schäden erfasst. Es folgt eine Ursachenermittlung und die Bestimmung möglicher Folgewirkungen. Die DIN 31051 definiert eine Schwachstelle als *eine Einheit, bei der ein Ausfall häufiger als es der geforderten Verfügbarkeit entspricht eintritt und bei der eine Verbesserung möglich und wirtschaftliche vertretbar ist*<sup>293</sup>. Die resultierenden Konsequenzen der Schwachstelle sind insbesondere für wirtschaftliche Betrachtungen und Rechtfertigungen notwendig. Der abschließende Schritt tritt ein, wenn die Kosten-Nutzen-Abschätzung eine Beseitigung der Schwachstelle als vorteilhaft einstuft. Es gilt in weiterer Folge Lösungsmöglichkeiten zu erarbeiten. Für BIEDERMANN umfasst die Schwachstellenanalyse noch weitere Teilbereiche, wie die Messung der Zielerreichung sowie die Feststellung von Ursachen von Soll-Ist-Abweichungen. Die Schwachstellenanalyse wird damit als Werkzeug des Controllings eingesetzt, um die durchgeführten Maßnahmen nach einem PDCA-Zyklus nachhaltig zu verbessern.<sup>294</sup>

<sup>291</sup> Eigene Darstellung

<sup>292</sup> Vgl. Mexis, N.D. (1992), S. 95

<sup>293</sup> Deutsches Institut für Normung, 31051 (2012), S. 7

<sup>294</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016), S. 2f

**Tabelle 11: Schwachstellenanalyse**

<b>Detailprozesse der Schwachstellenanalyse</b>	<b>PAW (2016)<sup>295</sup></b>	<b>CAM (2016)<sup>296</sup></b>	<b>BIE (2016)<sup>297</sup></b>	<b>MAR (2007)<sup>298</sup></b>	<b>MEX (1992)<sup>299</sup></b>	<b>BER (2019)<sup>300</sup></b>
5_Schwachstellenanalyse	●	◐	◑	●	●	◑
5_1_Schadensanalyse	●	◐	◑	●	●	◐
5_2_Feststellung der Ursachen für die Schäden	●	◐	◑	●	●	◐
5_3_Ermittlung Folgewirkungen	●	◐	◑	●	●	◑
5_4_Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung der Schwachstellen	●	◐	◑	●	●	◑
	○	◐	◑	●	●	●
nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig		

**Systemstruktur der Schwachstellenanalyse**

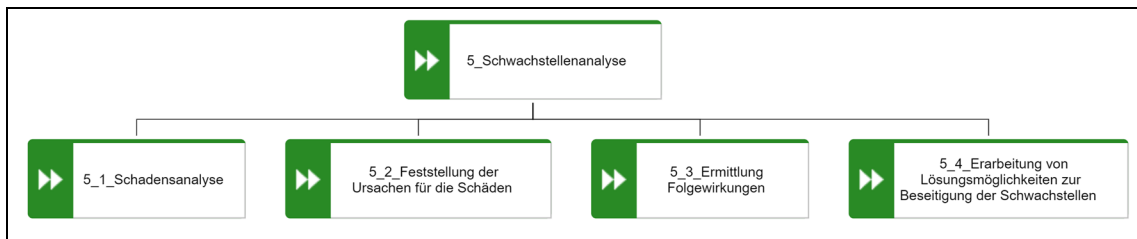
In Abbildung 35 sind die in Tabelle 11 definierten Prozesse dargestellt.



**Abbildung 35: Systemstruktur der Schwachstellenanalyse<sup>301</sup>**

**Systemhierarchie der Schwachstellenanalyse**

Abbildung 36 stellt die hierarchische Ordnung der Schwachstellenanalyse dar.



**Abbildung 36: Systemhierarchie der Schwachstellenanalyse<sup>302</sup>**

<sup>295</sup> Vgl. Pawellek, G. (2016), S. 137ff

<sup>296</sup> Vgl. Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016), S. 311ff

<sup>297</sup> Vgl. Biedermann, H. (2016), S. 1ff

<sup>298</sup> Vgl. Crespo Márquez, A. (2007), S. 129ff

<sup>299</sup> Vgl. Mexis, N.D. (1992), S. 95ff

<sup>300</sup> Vgl. Bernerstätter, R. (2019), S. 83ff

<sup>301</sup> Eigene Darstellung

<sup>302</sup> Eigene Darstellung

### 3.4.4 Funktionsmodellierung der strategischen Instandhaltungsprozesse

Der strategische Regelkreis wird in Abbildung 37 dargestellt. Das Zielsystem der Instandhaltung dient als wesentlicher Input für die Strategieplanung, in der die Handlungen festgelegt werden, die zur Erreichung der Ziele führen sollen. Der zweite Einflussfaktor sind die vorhandenen Ressourcen, die grob mit den definierten Tätigkeiten abgestimmt werden müssen. Die steuernden Funktionen sind die Budgetplanung und die Kritikalitätsanalyse und Priorisierung. Der Output der Strategieplanung ist im Idealfall ein Strategiemix, kann in bestimmten Fällen aber auch nur aus einer Strategie bestehen (beispielsweise bei der rein reaktiven oder präventiven Instandhaltung).

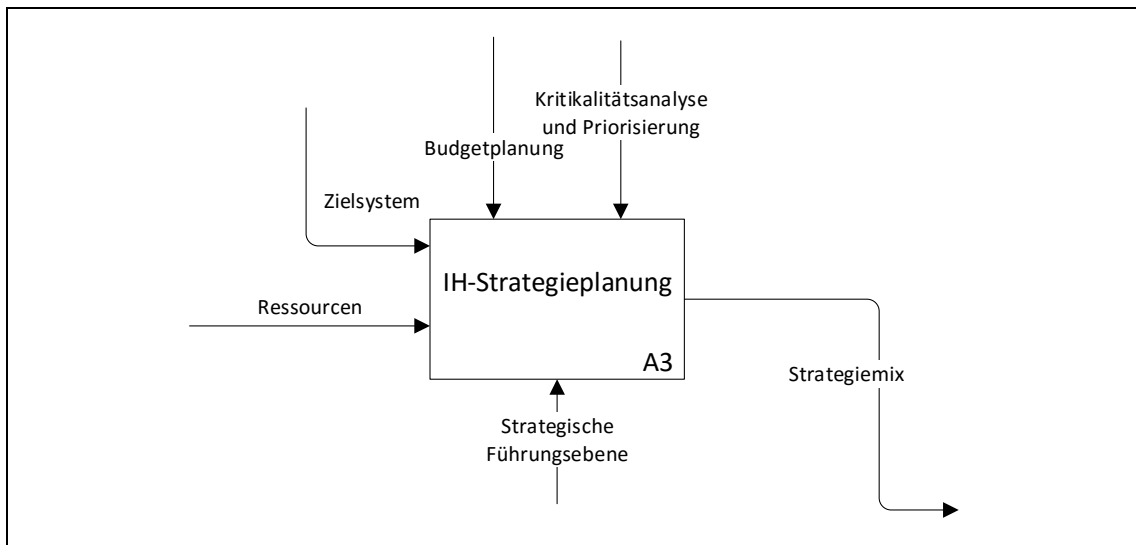


Abbildung 37: Strategische Instandhaltungsprozesse<sup>303</sup>

#### 3.4.4.1 Instandhaltungsstrategieplanung

Die Auswahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie beginnt nach HÖLBFER bei der Ableitung der Strategie aus dem Zielsystem (siehe Tabelle 12). In dem vorgestellten Vorgehensmodell ist der erste Schritt der Strategiewahl die Bestimmung der Ausfallkosten. Kriterien, die nicht monetär bewertbar sind (wie Sicherheit für Mensch und Umwelt), werden mithilfe eines risikobasierten Instruments beurteilt. Die ableitbare Priorität erlaubt im Anschluss eine Identifikation der Schwerpunktanlagen.<sup>304</sup> KINZ sieht in der Strategieplanung einen zentralen Bestandteil des strategischen Regelkreises. Der Fokus liegt in einer wertschöpfenden Strategieoptimierung, die aufgrund von beschränkten Ressourcen, eine Identifizierung der Schwerpunktanlagen notwendig macht, und auch nur jene, hochkritische Anlagen zur Optimierung auswählt. Die Detailanalysen, die als Grundlage für den Strategiemix dienen, bestehen aus einer Kostenanalyse und ggf. aus einer Schwachstellenanalyse.<sup>305</sup> Gleichzeitig wird die Ressourcenplanung bzw. der Abgleich mit dem Instandhaltungsbudget durchgeführt.

<sup>303</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987b)

<sup>304</sup> Vgl. Hölbf, S. (2014), S. 106ff

<sup>305</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 136

Tabelle 12: IH-Strategieplanung

Detailprozesse der IH-Strategieplanung		HÖL (2014) <sup>306</sup>	KIN (2017) <sup>307</sup>	
3_IH-Strategieplanung		●	●	
3_1_Ableitung IH-Strategie aus Zielsystem		◐	●	
3_2_Bestimmung Ausfallkosten		●	●	
3_3_Anlagenkritikalitätsbestimmung		●	●	
3_4_Identifikation Schwerpunktanlagen		●	●	
3_5_Detailanalyse		●	●	
3_6_Anpassung Strategiemix		●	●	
3_7_Abgleich IH-Strategie mit Budget- und Ressourcenplanung		◐	●	
3_5_1_Kostenanalyse		◑	●	
3_5_2_Schwachstellenanalyse (siehe 5_Schwachstellenanalyse)		◑	●	
○	◑	◐	●	●
nicht betrachtet	geringer Detailgrad	mittlerer Detailgrad	hoher Detailgrad	vollständig

### Systemstruktur der IH-Strategieplanung

Die Strategieplanung der Instandhaltung erfolgt in 7 Teilschritten (siehe Abbildung 38). Vor allem die Kritikalitätsbestimmung und daraus ableitbare Priorisierung ist für die dynamische Strategieanpassung wichtig. Die Bestimmung der Ausfallkosten ist in diesem Prozess vor der Kritikalitätsanalyse, weil die Ausfallkosten in fast allen Risikobetrachtungen einen erheblichen Stellenwert besitzt und damit ohnehin als Input erhoben werden muss.



Abbildung 38: Systemstruktur der IH-Strategieplanung<sup>308</sup>

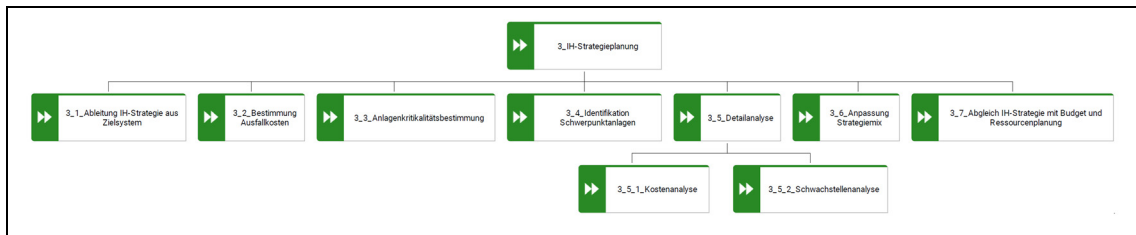
### Systemhierarchie der IH-Strategieplanung

In der Systemhierarchie (siehe Abbildung 39) gibt es lediglich bei den Detailanalysen eine dritte Ebene. Es wird einerseits eine Kostenanalyse empfohlen und zusätzlich kann die Schwachstellenanalyse in diesem Prozessschritt initiiert werden.

<sup>306</sup> Vgl. Hölbfer, S. (2014), S. 106ff

<sup>307</sup> Vgl. Kinz, A. (2017), S. 136ff

<sup>308</sup> Eigene Darstellung

Abbildung 39: Systemhierarchie der IH-Strategieplanung<sup>309</sup>

## 3.5 Zielmodellierung

Der Definition der Managementfunktionen<sup>310</sup> nach steht die Zielplanung vor der Prozessplanung. Der Festlegung folgend, sollte zuerst definiert werden, was erreicht werden soll, bevor die notwendigen Maßnahmen daraus abgeleitet werden können. Das Zielmodell steht damit über dem Funktionsmodell. In dem zu erstellenden Gesamtmodell stehen jedoch die Funktionen zunächst im Zentrum der Betrachtung. Die gewählte Vorgehensweise dient dem Pragmatismus, soll jedoch nicht die Ziel-Mittel-Logik verletzen. Im folgenden Modell werden daher die Ziele der einzelnen Funktionen bestimmt und in der kritischen Würdigung<sup>311</sup> mit den generischen Zielen des Instandhaltungsmanagements verglichen. Jedes Ziel ist spezifisch formuliert und kann der entsprechenden Funktion über die ID zugeordnet werden (siehe Nummer vor den Zielen; das Z steht für Ziel).

### 3.5.1 Struktur und Hierarchie der Ziele

Jede Funktion des Referenzmodells hat mindestens ein Ziel, das nach Durchführung der Funktion erfüllt werden sollte. Für die Darstellung des Zieldiagramms wird eine kombinatorische Ansicht aus Hierarchie und Struktur gewählt<sup>312</sup>. Pfeile suggerieren einen prozessualen, Zielblöcke einen inhaltlichen Zusammenhang. Die Hierarchie der Ziele erfolgt in drei Ebenen, die in den folgenden drei Abschnitten gezeigt werden. Aufgrund der Komplexität ist die Modellierung der Zielebene durch vollständige Zieldiagramme nur schwer möglich. Die in Abschnitt 2.7.1 formulierte Beziehung zwischen den Instandhaltungszielen, die teilweise komplementär und teilweise konkurrierend sein können, erschwert eine einfache Systemdarstellung der Ziele.

### 3.5.2 Zielmodellierung des operativen Regelkreises

Der operative Regelkreis beinhaltet durchführungsrelevante Ziele, die sich primär auf die einzusetzenden Ressourcen und deren Verfügbarkeit konzentrieren. Zusätzlich steht der Auftrag im Zentrum der Betrachtung und findet sich dementsprechend in vielen Zielen wieder (siehe Abbildung 40).

<sup>309</sup> Eigene Darstellung

<sup>310</sup> Siehe Abbildung 9

<sup>311</sup> Siehe Abschnitt 3.8.2 Kritische Würdigung des Zielmodells

<sup>312</sup> Vgl. Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011), S. 810

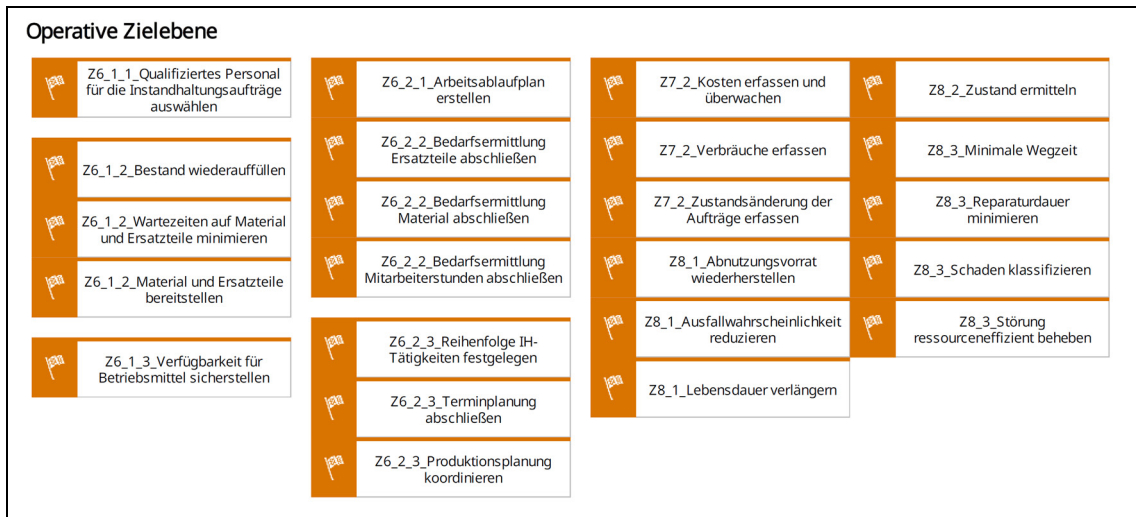


Abbildung 40: Operative Zielebene<sup>313</sup>

### 3.5.3 Zielmodellierung des strategisch-operativen Regelkreises

Abbildung 41 stellt die strategisch-operative Zielebene des Zielmodells dar. Die Funktionen der IH-Programmplanung und Schwachstellenanalyse verfolgen neben den klassischen Zielen der Instandhaltung, wie die Identifikation und Klassifikation von Schäden, auch Ziele, die den Einsatz von datenanalytischen Methoden benötigen. Vor allem die Analyse der Einflussfaktoren und die Erstellung eines Prognosemodells stellt die Instandhaltungsorganisation vor große Herausforderungen.



Abbildung 41: Strategisch-operative Zielebene<sup>314</sup>

<sup>313</sup> Eigene Darstellung

<sup>314</sup> Eigene Darstellung



### 3.5.4 Zielmodellierung des strategischen Regelkreises

In Abbildung 42 sind jene Ziele enthalten, die aus den Funktionen des strategischen Regelkreises entstammen. Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass die Ziele nach der inhaltlichen Zugehörigkeit grob geordnet werden können. Es lassen sich außerdem Verbindungen zwischen ausgewählten Zielen zeichnen.

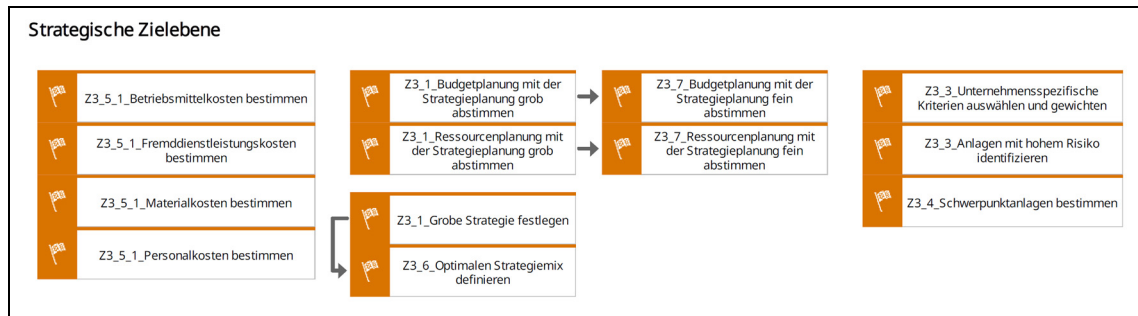


Abbildung 42: Strategische Zielebene<sup>315</sup>

## 3.6 Steuerungsmodellierung

Das Ziel der Funktionsmodellierung war es ein generisches Prozessmodell aus verschiedenen Ansätzen zu definieren. Dazu wurden generische IH-Managementkonzepte auf Gemeinsamkeiten untersucht und Module bestimmt, die eine allgemeine Gültigkeit besitzen. Das Zielmodell konnte anschließend direkt aus den definierten Funktionen entwickelt werden. Bei der nun folgenden Modellierung, der Steuerungssicht, werden die Funktions-, Ziel- und Datenperspektiven logisch kombiniert, um die notwendigen Daten abzuleiten. Aufgrund des Referenzmodellierungscharakters wurde ein Top-Down-Ansatz gewählt, der ein generisches Bild der notwendigen Daten ergibt. Die Perspektive dient gleichzeitig der Validation der Anzahl der Hierarchieebenen – wurde hinreichende Abstraktionsniveaus gewählt, lassen sich die beteiligten Entitätstypen mit den Attributen ableiten. Die Ausprägungsstufen von den Instandhaltungsprozessen variiert in der Realität von Unternehmen zu Unternehmen. Das modellierte, abgewandelte ARIS-Haus hat nicht den Anspruch oder das Ziel, die Reife des Prozesses mit zu betrachten<sup>316</sup>, sondern definiert den Prozess mit allen Details, die für eine sinnvolle Durchführung benötigt werden. Es gilt hervorzuheben, dass Referenzmodelle als Basis für die Weiterentwicklung konzipiert werden, und dementsprechend Forschungsbedarf in der Implementierung des Instandhaltungsreifegrads im Informationssystem gesehen wird.<sup>317</sup>

<sup>315</sup> Eigene Darstellung

<sup>316</sup> Vgl. hierzu Wireman, T. (2004); Schröder, W. (2010) für eine detaillierte Bestimmung der Reife des Instandhaltungsmanagements

<sup>317</sup> Siehe Abschnitt 5.3 Ausblick

### 3.6.1 Steuerungsmodellierung der operativen Instandhaltungsprozesse

Die Steuerungsmodellierung dient der Ableitung der benötigten Daten. Es ist hervorzuheben, dass sich die gewählte methodische Vorgehensweise aus einer Ansicht des Instandhaltungsmanagements, und nicht aus einer technischen Perspektive, entwickelt hat. Der Digitale Schatten besitzt nicht den Anspruch, ein technisch vollständiges System abzubilden, sondern soll die wichtigsten Daten identifizieren, die in jedem Fall für die praktische Umsetzung des Instandhaltungsmanagements notwendig sind. Dem ARIS-Haus entsprechend, findet die gegenständliche Betrachtung des Informationssystems lediglich in der ersten, konzeptionellen Ebene statt. Im folgenden Abschnitt wird die Instandhaltungsdurchführungsplanung mit den zwei Teilprozessen und den dementsprechenden Detailprozessen in der Steuerungssicht modelliert.

#### 3.6.1.1 Instandhaltungsdurchführungsplanung – Bereitstellungsplanung

##### Personalidentifizierung und –zuweisung

Die Personalidentifizierung und –zuweisung (siehe Abbildung 43) hat das Ziel, qualifiziertes Personal für die Durchführung des Instandhaltungsprogramms auszuwählen. Dazu muss der Mitarbeiter eindeutig identifiziert werden und die Qualifizierung mit den Anforderungen des Auftrags, der darin beinhalteten IH-Vorgänge, sowie der Anlage abgeglichen werden. Die drei wichtigen Entitäten sind der D1\_Mitarbeiter, die D2\_Anlage und das D3\_Auftragswesen. Ausgelöst wird die Personalidentifizierung und –zuweisung durch den Bedarf, das Instandhaltungsprogramm operativ zu planen. Abgeschlossen ist der Prozess, wenn den IH-Aufträgen die geeigneten Mitarbeiter zugewiesen wurden.

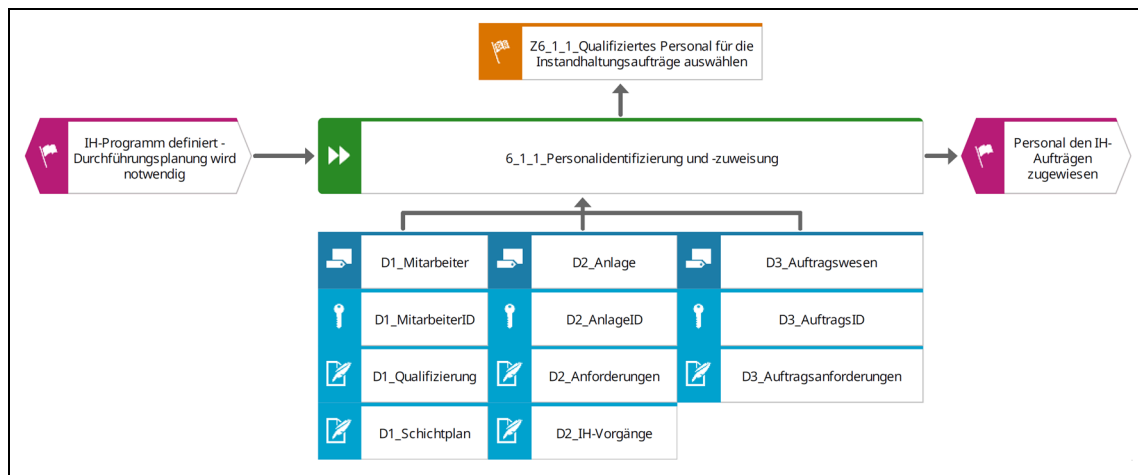


Abbildung 43: Steuerungsperspektive der Funktion Personalidentifizierung und –zuweisung<sup>318</sup>

<sup>318</sup> Eigene Darstellung

## Beschaffung Material und Ersatzteile

Die Beschaffung des Materials und der Ersatzteile ist der nächste Schritt in der IH-Durchführungsplanung (siehe Abbildung 44). Ziel des Prozesses ist es, die für die Durchführung notwendigen Ersatzteile und das Material ohne Wartezeiten bereitstellen zu können. Der Bestand der verbrauchten / eingebauten Betriebsmittel ist außerdem zu überwachen und ggf. wiederaufzufüllen. Die ableitbaren Entitätstypen sind die D4\_Materialwirtschaft, die D5\_Ersatzteilmwirtschaft, die D2\_Anlage und das D5\_Auftragswesen. Initiator für den Prozess ist wie bei 6\_1\_1 das definierte IH-Programm, für das eine feinere Planung notwendig ist. Abgeschlossen ist der Prozess, wenn Material und Ersatzteile bereitgestellt sind. Bei der Sicherstellung der notwendigen Ressourcen gilt es besonders etwaige lange Verzögerungen zu beachten und zu vermeiden. Zusätzlich müssen verbrauchte Materialien in den entsprechenden Lagern wieder aufgefüllt werden. Eine umfangreiche IT-Unterstützung wird empfohlen, da sich die steigende Komplexität der Anlagen auch durch eine hohe Anzahl an Komponenten auszeichnet. Die Anlagenzuordnung der Ersatzteile gilt nur für Reserveteile, bei Mehrart- und Normteilen ist diese Zuordnung nicht möglich<sup>319</sup>. Für die Funktion gibt es in den Entitäten D4\_Materialwirtschaft und D5\_Ersatzteilmwirtschaft jeweils einen Sekundärschlüssel mit der Anlagenzuordnung. In den folgenden Modellierungen wird auf die Darstellung der Sekundärschlüssel aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Besonders für Datenanalysen und die Gestaltung der Datenbanken ist die Integration von geeigneten Sekundärschlüsseln jedoch wichtig und sollte spätestens in den weiteren Konzeptionierungsphasen des ARIS-Hauses berücksichtigt werden.

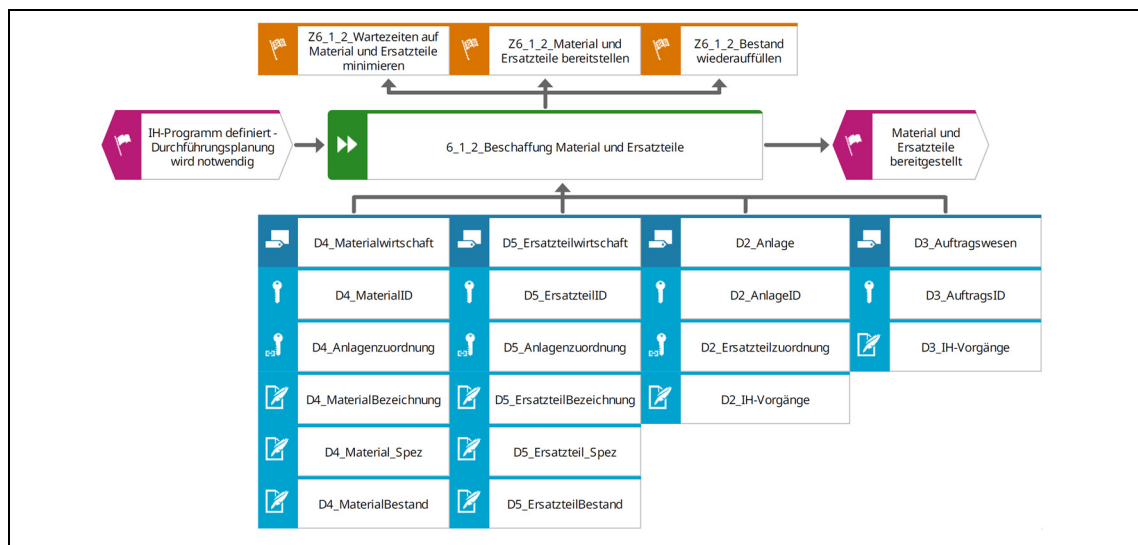


Abbildung 44: Steuerungsperspektive der Funktion Beschaffung Material und Ersatzteile<sup>320</sup>

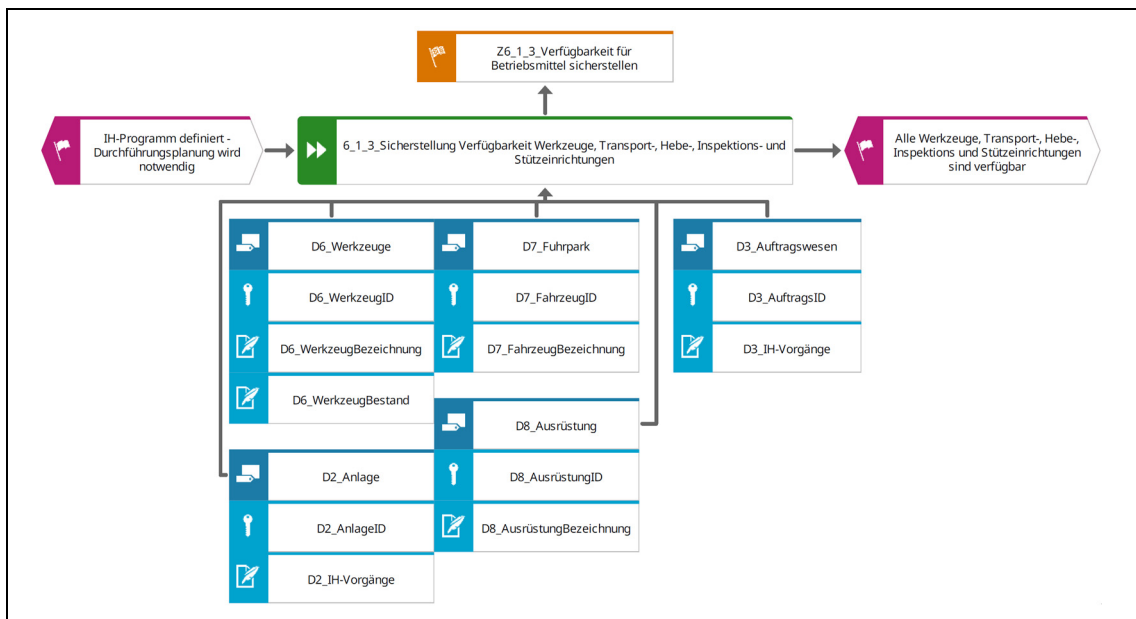
## Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge, Transport-, Hebe- und Stützeinrichtungen

Der Prozess 6\_1\_3\_Sicherstellung der Verfügbarkeit von Werkzeugen, Transport-, Hebe-, Inspektions- und Stützeinrichtungen (siehe Abbildung 45) soll die Sicherstellung

<sup>319</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008b), S. 3

<sup>320</sup> Eigene Darstellung

der Verfügbarkeit von Betriebsmitteln gewährleisten. Ausgangspunkt ist wie bei den anderen Detailprozessen<sup>321</sup> das definierte IH-Programm. Abgeschlossen ist der Prozess, wenn die Instandhaltungstätigkeit ohne Verzögerungen, bezogen auf die Verfügbarkeit der Betriebsmittel, durchgeführt werden kann. Dazu werden vor allem Daten über die Ressourcen, also D6\_Werkzeuge, D7\_Fuhrpark, D8\_Ausrüstung sowie D3\_Auftragswesen und D2\_Anlage benötigt. Neben dem aktuellen Bestand ist zusätzlich die Beschreibung der durchzuführenden IH-Vorgänge wichtig, auch wenn die detaillierte Ausarbeitung erst in der Ablaufplanung stattfindet.



**Abbildung 45: Steuerungsperspektive der Funktion Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge, Transport-, Hebe- und Stützeinrichtungen<sup>322</sup>**

### 3.6.1.2 Instandhaltungsdurchführungsplanung – Ablaufplanung

In der Ablaufplanung wird der optimale Einsatz der bereitgestellten Ressourcen (Mensch, Material, Maschinen) sichergestellt. Dazu müssen die Instandhaltungsvorgänge ausgewählt, die benötigten Mengen festgelegt und der chronologische Ablauf bestimmt werden.

#### Bearbeitungsplanung

Die Bearbeitungsplanung (siehe Abbildung 46) legt fest, welche IH-Vorgänge an der Anlage durchzuführen sind. Die Festlegung der Arbeitsabläufe ist für eine effiziente, sichere Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten von zentraler Bedeutung<sup>323</sup>. Für den Prozess werden im D3\_Auftragswesen die Arbeitsschritte (D3\_IH-Vorgänge) dem IH-Auftrag (D3\_AuftragsID & D3\_AuftragsArt) zugeordnet. Die Bearbeitungsplanung muss für die Wartung, Inspektion und Überholung durchgeführt werden. Abgeschlossen ist der Prozess, wenn die Arbeitsabläufe festgelegt und ein Arbeitsablaufplan erstellt wurde.

<sup>321</sup> Siehe Steuerungsmodellierung von Funktion 6.1.1 und 6.1.2

<sup>322</sup> Eigene Darstellung

<sup>323</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 104

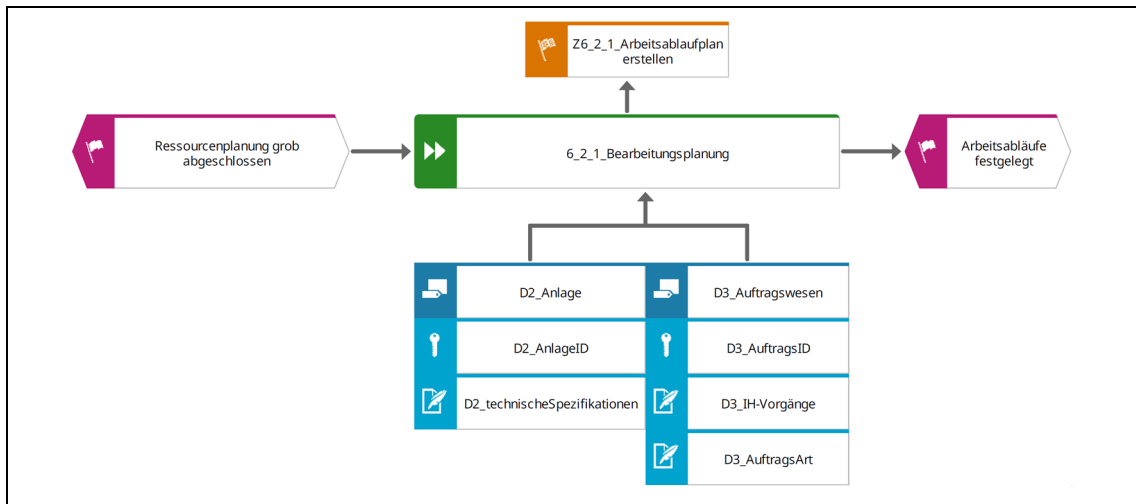


Abbildung 46: Steuerungsperspektive der Funktion Bearbeitungsplanung<sup>324</sup>

### Mengenplanung

Das Ziel der Mengenplanung (siehe Abbildung 47) ist eine detaillierte Erhebung des Bedarfs der einzusetzenden Betriebsmittel. Ausgelöst wird die Mengenplanung durch den Abschluss der Bearbeitungsplanung. Mit der Festlegung der Arbeitsschritte erfolgt die Bedarfsermittlung für Material, Ersatzteile und Mitarbeiterstunden. Dazu werden Daten der D2\_Anlage, des D3\_Auftragswesens, der D4\_Materialwirtschaft, des D1\_Mitarbeiters und der D5\_Ersatzteilwirtschaft eingesetzt. In der Funktion werden dadurch die Attribute D3\_MaterialmengeSOLL, D3\_ErsatzteilmengeSOLL und D3\_MitarbeiterstundenSOLL erstellt, die für eine Auftragssteuerung und Soll-Ist-Abgleichen erforderlich werden. In diesem Schritt können außerdem bereits die voraussichtlichen Kosten ermittelt werden. Die Ersatzteilkosten sind im einfachsten Fall die Anschaffungskosten, können aber je nach Reifegrad des Ersatzteilmanagements des Unternehmens auch Kosten für Beschaffung und Lagerkosten beinhalten.

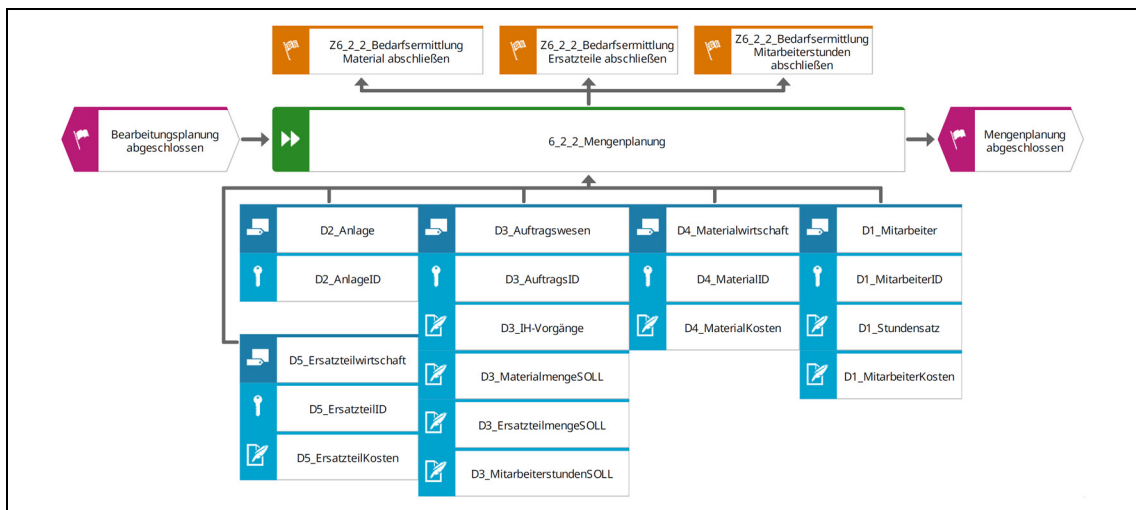


Abbildung 47: Steuerungsperspektive der Funktion Mengenplanung<sup>325</sup>

<sup>324</sup> Eigene Darstellung

<sup>325</sup> Eigene Darstellung

## Zeitplanung

In der Zeitplanung (siehe Abbildung 48) wird die Reihenfolge der IH-Tätigkeiten festgelegt. Der Prozess hat einen hohen Stellenwert in der Praxis, da hier einerseits die Priorität des Auftrags einfließen sollte, und gleichzeitig die Produktionsplanung in den Vorgang miteinbezogen werden muss. Die Terminplanung erfolgt gemeinsam mit der Produktion und ist im Idealfall über die Informationssysteme verbunden. Die Mitbetrachtung der Kritikalität der Anlage (und damit auch des Auftrags) ist der zweite Aspekt, der vorab durch Instandhaltung und Produktion gemeinsam ermittelt werden sollte<sup>326</sup>. Die notwendigen Daten umfassen die Klassen D2\_Anlage und D3\_Auftragswesen. Die detaillierte Erhebung der Sollzeiten wird der Auftragssteuerung zugeordnet, kann aber auch in diesem Schritt vollzogen werden.

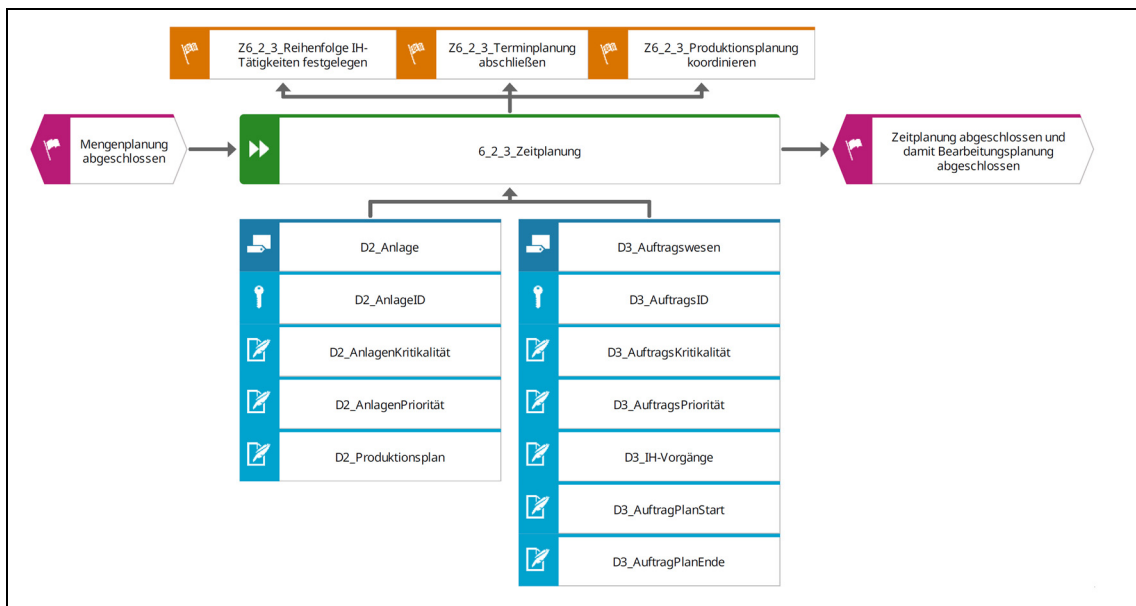


Abbildung 48: Steuerungsperspektive der Funktion Zeitplanung<sup>327</sup>

### 3.6.1.3 Auftragssteuerung

Die Auftragssteuerung umfasst drei Prozesse:

- Auftragsveranlassung
- Auftragsüberwachung
- Auftragsrückmeldung

Die Auftragsveranlassung und -rückmeldung wird über das Informationssystem gesteuert. Die Modellierung der Steuerungssicht ist für die Veranlassung oder Rückmeldung nicht notwendig und wird dementsprechend nur für die Überwachung erstellt.

### Auftragsüberwachung

Der Auftragsüberwachung (siehe Abbildung 49) und -rückmeldung werden die wesentlichen Informationen des Auftrags zugeordnet. Dazu gehören die beteiligten Ressourcen wie die verbauten Ersatzteile oder eingesetzten Mitarbeiter, aber auch der

<sup>326</sup> Siehe Abschnitt 3.4.4 Funktionsmodellierung der strategischen Instandhaltungsprozesse

<sup>327</sup> Eigene Darstellung

Arbeitsfortschritt (siehe D3\_Auftragszustand). Klassifiziert werden kann ein Auftrag nach seinem Zustand (z.B. geplant / eröffnet), nach der Instandhaltungsart (z.B. Wartung / Inspektion) oder nach der Leistungserbringung (z.B. Eigenleistung / Fremdleistung).<sup>328</sup> In der Auftragsüberwachung wird das Ziel Z7\_2\_Kosten erfassen und überwachen formuliert. Die dafür benötigten Daten bestehen aus eindeutigen IDs zum Auftrag und der Anlage, sowie den eingebauten Ersatzteilen, außerdem müssen die Kosten und Personalstunden erfasst und Soll-Ist-Abgleiche ermöglicht werden.<sup>329</sup>

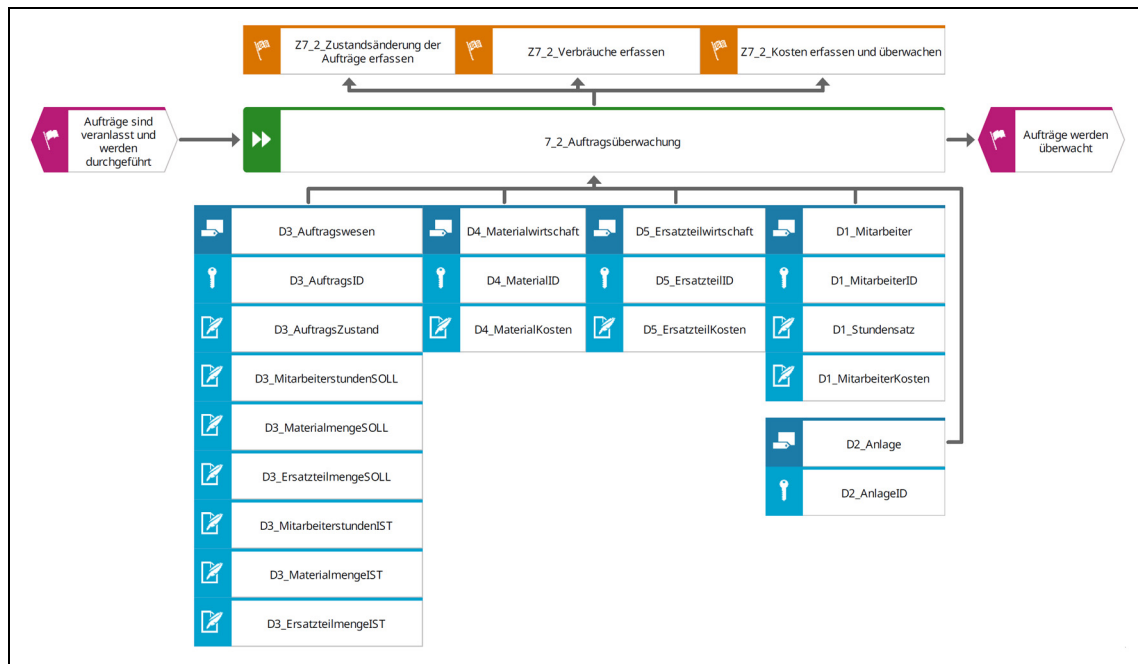


Abbildung 49: Steuerungsperspektive der Funktion Auftragsüberwachung<sup>330</sup>

### 3.6.1.4 Instandhaltungsdurchführung

Die Steuerungsmodellierung der Instandhaltungsdurchführung hat besondere Relevanz für das Informationssystem, weil die entstehenden Daten einerseits in Analysen eingesetzt werden und andererseits für die zukünftige Planung von höchster Wichtigkeit sind. Jedes Datenattribut, das in der Durchführung nicht erfasst wird, kann nur über erheblichen Mehraufwand nachgepflegt werden. Die Hauptaufgaben der Instandhaltung werden in der Instandhaltungsdurchführung betrachtet:

#### Wartung durchführen

Die Wartung besitzt vier Hauptschritte, die in Abbildung 50 als Subfunktionen dargestellt werden. Auslöser ist immer die Feststellung eines Wartungsbedarfs und Ziel ist die Wiederherstellung des Abnutzungsvorrats. Ausgehend davon werden die technischen Daten und eine Aufgabenbeschreibung in Form eines Instandhaltungsauftrags erfasst. Es folgen koordinierende Tätigkeiten, die einerseits die notwendigen Ressourcen organisieren, und andererseits Mitarbeiter dem Auftrag zuordnen. Die wichtigsten Daten des Auftrags sind verschiedene Zeitstempel, die über die Effizienz der Durchführung

<sup>328</sup> Vgl. Proksch, R. (1999), S. 83f

<sup>329</sup> Vgl. Biedermann, H. (1992), S. 702ff

<sup>330</sup> Eigene Darstellung

Aufschluss geben. Dazu muss der D3\_AuftragsStart sowie das D3\_AuftragsEnde möglichst genau dokumentiert werden. Um Kennzahlen wie die MTTR (Mean Time to Repair) darstellen zu können, gilt es den D3\_ReparaturStart und das D3\_ReparaturEnde in jedem Wartungsauftrag zu erfassen. Eine vollständige Dokumentation der Wartungstätigkeit beinhaltet auch die Erfassung der IST-Verbräuche. Diese können herangezogen werden, um diese mit den in der Durchführungsplanung<sup>331</sup> festgelegten SOLL-Verbräuchen zu vergleichen.

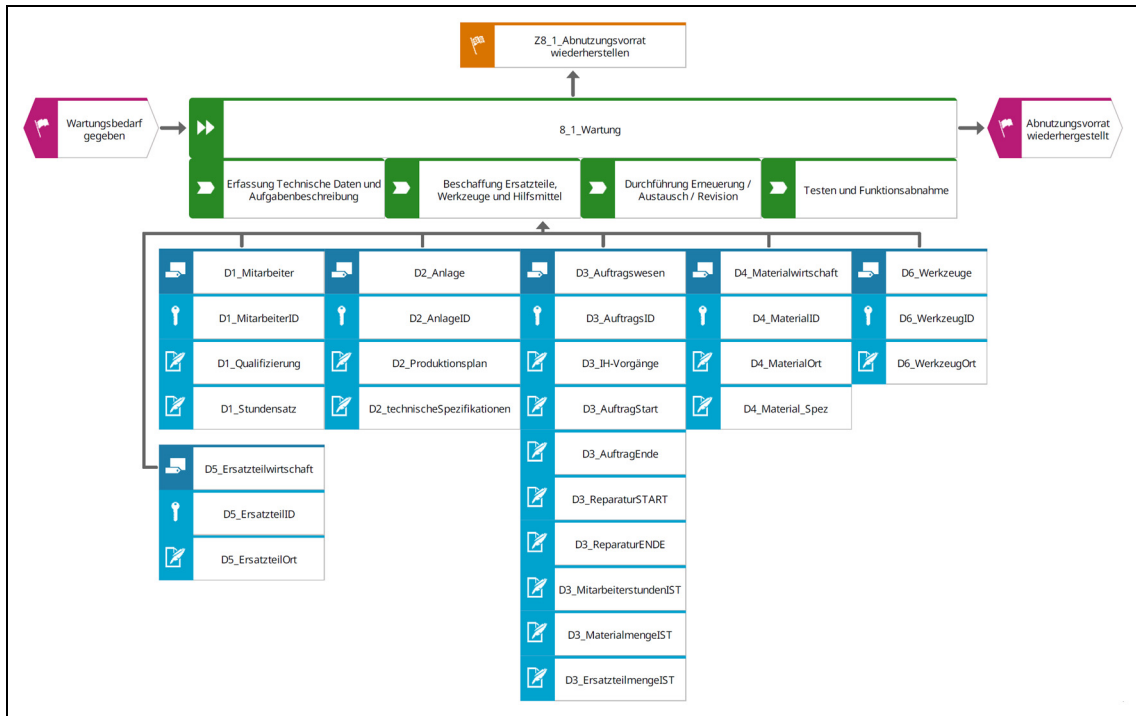


Abbildung 50: Steuerungsperspektive der Funktion Wartung<sup>332</sup>

### Inspektion durchführen

Die Inspektion hat das Ziel, den Zustand der instand zuhaltenden Systeme zu ermitteln (siehe Abbildung 51). Inspektionsbedarf löst die Funktion 8\_2\_Inspektion aus. Die Prozessschritte sind die Erfassung der technischen Daten sowie der Aufgabenbeschreibung, die Beschaffung der benötigten Ausrüstung, die Feststellung des Ist-Zustands und die Ableitung von Maßnahmen. Die Inspektion ist für das Instandhaltungsmanagement von zentraler Bedeutung und äußert sich im Datenattribut D2\_ZustandAnlage. Je besser der Zustand der Anlage dokumentiert ist, desto besser lässt sich der gesamte strategische Regelkreis des Instandhaltungsmanagements durchführen. Nach der Festlegung muss eine Maßnahmenableitung initiiert werden, in der bei kritischen Fällen eine Instandsetzung folgt, oder bei erhobenen Wartungsbedarf ein Auftrag für eine Wartung erstellt wird (D3\_AuftragPlanStart). Der Einsatz des Attributs D2\_ZustandAnlage kann die Produktionsplanung und –steuerung unterstützen, und damit eine realistischere Planung im Produktionsmanagement gewährleisten.<sup>333</sup>

<sup>331</sup> Siehe Abbildung 47

<sup>332</sup> Eigene Darstellung

<sup>333</sup> Vgl. Karner, M. et al. (2019), S. 938



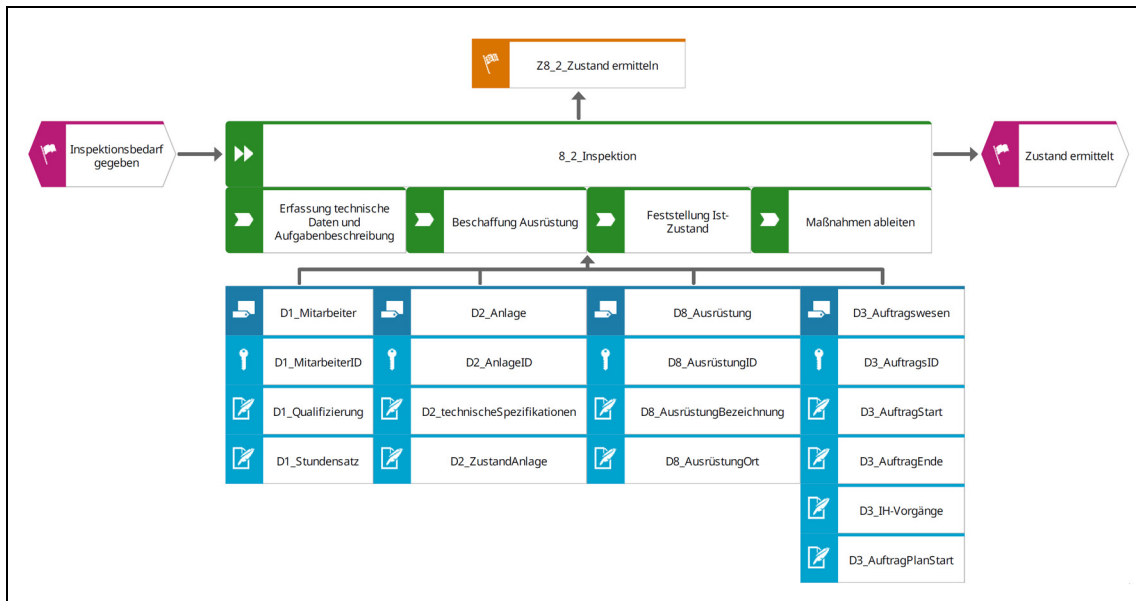


Abbildung 51: Steuerungsperspektive der Funktion Inspektion<sup>334</sup>

### Instandsetzung durchführen

Die Instandsetzungsdurchführung (siehe Abbildung 52) wird durch eine Störung initiiert. Dabei muss die Störung so ressourceneffizient wie möglich behoben werden. Es gilt dabei vor allem die Reparaturdauer auf ein Minimum zu reduzieren und etwaige Wegzeiten zu optimieren. Eine nachhaltige Störungsbeseitigung gelingt nur, wenn die Schäden identifiziert und klassifiziert werden. Die Teilschritte der Instandsetzung sind die Erfassung der technischen Daten und der Aufgabenbeschreibung, die Beschaffung der Ersatzteile, Werkzeuge und sonstiger Hilfsmittel, die Identifizierung des Schadens und die anschließende Reparatur. Der abschließende Test und die Funktionsabnahme sind der Qualitätssicherung zugeordnet. Die Datenanforderungen an diesen Prozess sind vielfältig. Mit der Klasse D1\_Mitarbeiter können die D1\_MitarbeiterKosten erfasst werden, außerdem muss dem D3\_Auftragswesen eine D1\_MitarbeiterID zugeordnet werden. Da der Fokus auf einer effizienten Vorgehensweise liegt, gilt es die D2\_ErsatzteilID zu hinterlegen, um schnell auf notwendige D5\_ErsatzteileIDs zugreifen zu können. Das D12\_Meldewesen wird vor der Durchführung gebraucht, um entweder vom System, vom IH-Mitarbeiter oder Produktionsmitarbeiter eine Störmeldung systemisch zu erfassen. Die Differenz zwischen getätigter Meldung, Start des Auftrags sowie Start der Reparatur kann aufschlussreiche Missstände aufzeigen und damit Effizienzpotenziale ausschöpfbar machen. Im D3\_Auftragswesen werden die Ist-Mengen des Ressourcenverbrauchs dokumentiert und ein D3\_Auftragszustand gepflegt. Der Zustand des Auftrags ist vor allem bei großen Instandhaltungsorganisationen notwendig, damit die Instandhaltungsleitung über den Fortschritt jederzeit informiert ist. Mit der Klasse D11\_Schadenserfassung wird das D11\_Schadensmerkmal erfasst und ggf. ein D11\_SchadensCode zugeordnet. Die geplante Instandsetzung wird nicht gesondert betrachtet und richtet sich grob nach dem Prozess 8\_2\_Wartung durchführen.

<sup>334</sup> Eigene Darstellung

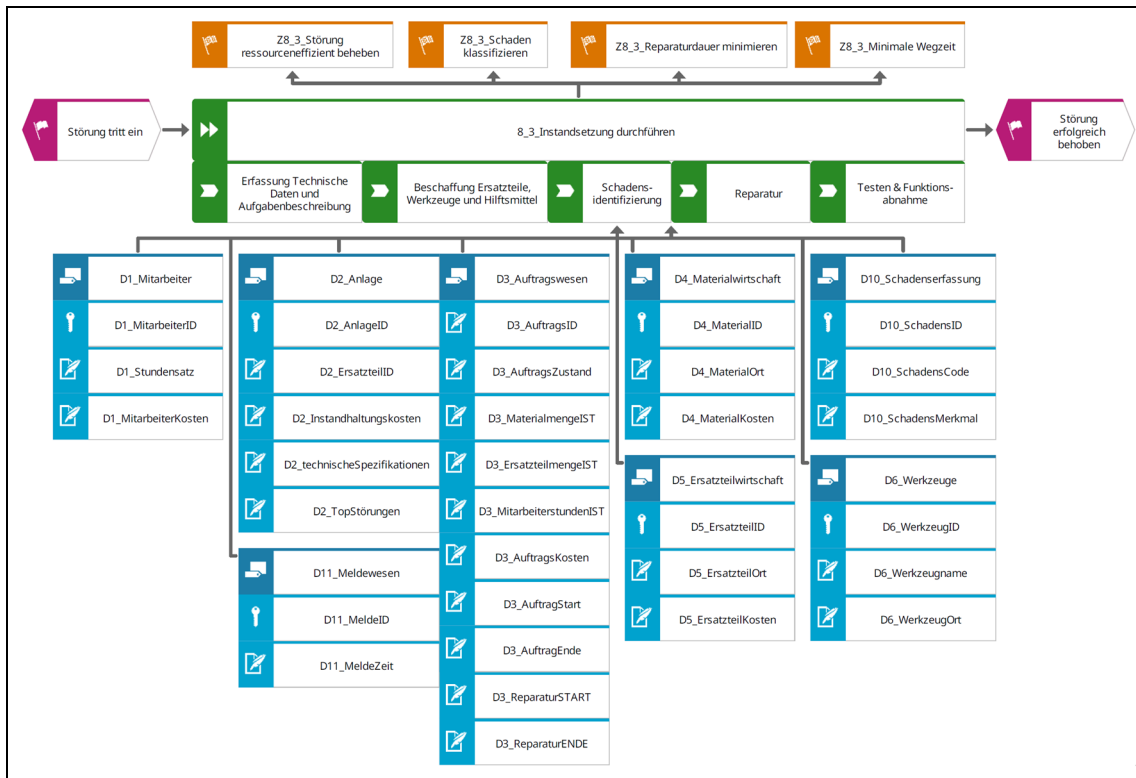


Abbildung 52: Steuerungsperspektive der Funktion Instandsetzung<sup>335</sup>

### 3.6.2 Steuerungsmodellierung der strategisch-operativen Instandhaltungsprozesse

Die Erstellung eines Instandhaltungsprogramms konzentriert sich auf die Wartungsplanung, bei der zunächst die Herstellerangaben die Wartungsintervalle bestimmen. Zusätzlich kann nach Inbetriebnahme die gewonnene Erfahrung ein neues Optimum definieren. Unterstützend kann außerdem der Einsatz von Prognosewerkzeugen sein.

#### 3.6.2.1 Instandhaltungsprogrammplanung: Wartung planen

Aus der Festlegung einer präventiven Instandhaltungsstrategie folgt die Instandhaltungsprogrammplanung für Wartungen. Dazu werden im ersten Schritt die Herstellerangaben herangezogen um in weiterer Folge die Wartungsintervalle mit der gewonnenen Erfahrung zu ergänzen und je nach Reifegrad mit einem Prognosemodell zu optimieren. Es wird allerdings ausdrücklich auf die Komplexität bei der Erstellung eines prädiktiven Modells hingewiesen und dementsprechend ist dieser Punkt in der Gegenwart noch optional, für die Zukunft allerdings wichtig.

#### Herstellerangaben analysieren

Die Funktion Herstellerangaben analysieren (siehe Abbildung 53) hat zum Ziel, einen Erstentwurf eines Wartungsplans zu erstellen. Dazu muss die IH-Strategie definiert sein und präventiver Instandhaltungsbedarf vorherrschen. Die Funktion wird von den zwei

<sup>335</sup> Eigene Darstellung

Entitätstypen D2\_Anlage und D3\_Auftragswesen unterstützt. Für jede Anlage sollte das Wartungsintervall nach Herstellerangaben definiert werden. Das Ziel sind Aufträge (D3\_AuftragPlanStart und D3\_AuftragPlanEnde), die bereits eine Vorplanung des Ressourcenverbrauchs zulassen (D3\_ErsatzteilmengeSOLL, D3\_MitarbeiterStundenSOLL, D3\_MaterialmengeSOLL).

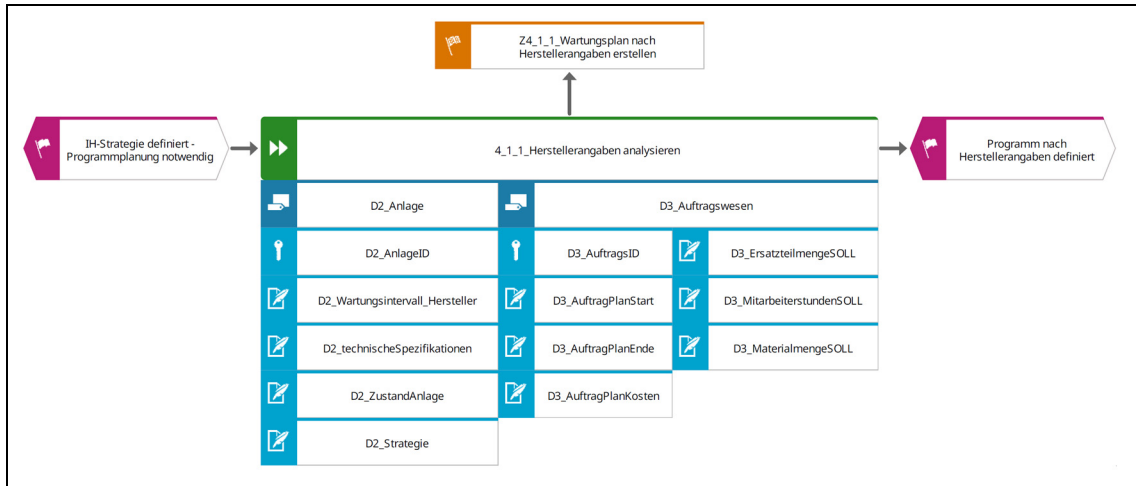


Abbildung 53: Steuerungsperspektive der Funktion Herstellerangaben analysieren<sup>336</sup>

### Erfahrungswerte einsetzen

Die Wartungsintervalle der Hersteller können nie in der Lage sein, die spezifischen Leistungsgrade der unterschiedlichen Anwender zu erfassen. Es gilt daher, das Know-How der Instandhaltungs- und Produktionsmitarbeiter einzusetzen, und ein optimiertes Wartungsintervall zu definieren (siehe Abbildung 54). Wichtig bei dieser Optimierung ist eine umfassende Dokumentation der Anpassungen, um den Nutzen quantifizieren zu können, aber auch ggf. Änderungen wieder rückgängig machen zu können.

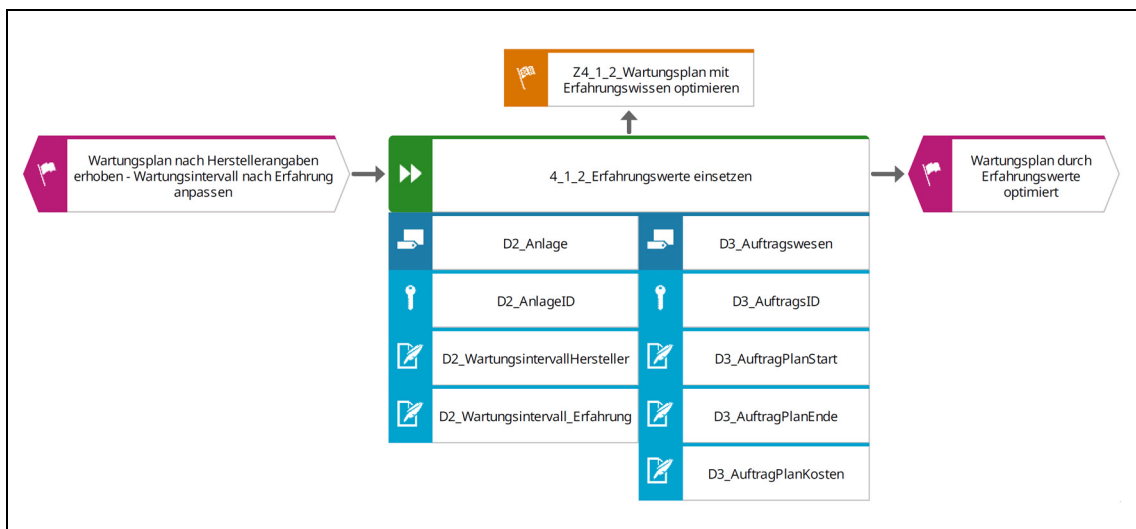


Abbildung 54: Steuerungsperspektive der Funktion Erfahrungswerte einsetzen<sup>337</sup>

<sup>336</sup> Eigene Darstellung

<sup>337</sup> Eigene Darstellung

### Wartungszeitpunkt prognostizieren

Die Prognose des Wartungszeitpunkts (siehe Abbildung 55) erfährt in der Forschung und Praxis unter dem Begriff predictive maintenance eine hohe Aufmerksamkeit<sup>338</sup>. Voraussetzungen sind Kenntnisse über den Zustand der Anlagen. Basierend darauf, müssen Einflussfaktoren für Zustandsveränderungen identifiziert werden. Mithilfe dieser Variablen lässt sich im Anschluss ein Prognosemodell erstellen. Wichtiges Nebenziel ist außerdem die Kosten/Nutzen-Abschätzung für das Prognosemodell durchzuführen. Die daraus ableitbaren Datenanforderungen betreffen die D2\_Anlage, in der das Ergebnis des Prognosemodells angeführt wird. Es kann sich um das Datum der prognostizierten Wartung handeln, oder um eine Restlebensdauer, die dann noch als neues Wartungsintervall definiert werden muss. Es ist außerdem sinnvoll, die D2\_Einflussfaktoren ebenfalls bei der D2\_Anlage zu hinterlegen. Neben der D2\_Anlage und dem D3\_Auftragswesen wird das D17\_ConditionMonitoring-System und das D16\_KennzahlenSystem benötigt. Die CMS-Datenklasse bildet damit die Schnittstelle zu einem externen System, von dem die wichtigsten, instandhaltungsrelevanten Datenfelder abgefragt werden können. Das Kennzahlensystem ist in den Prozess integriert, weil Kosten/Nutzen-Vergleiche sich mithilfe von Kennzahlen sinnvoll aufstellen und messen lassen. Neben den definierten Zielen der Funktion 4\_1\_3 gibt es noch weitere Vorteile, die durch die prädiktive Instandhaltung entstehen.<sup>339</sup>

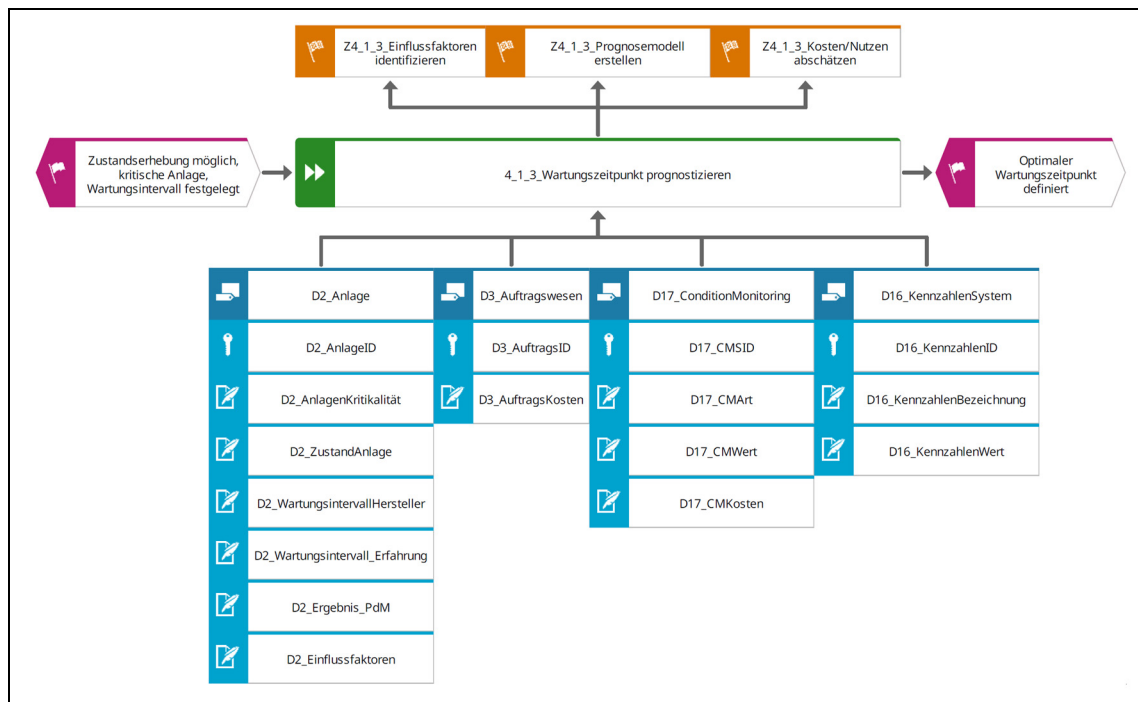


Abbildung 55: Steuerungsperspektive der Funktion Wartungszeitpunkt prognostizieren<sup>340</sup>

<sup>338</sup> Vgl. Feldmann, S. (2017); Wimmer, A. et al. (2018) für zwei Studien, in denen die Potenziale, aber auch Hindernisse von predictive maintenance erörtert werden

<sup>339</sup> Vgl. Biedermann, H. (2019), S. 9, der die Kostenreduzierung (Vermeidung Ausfallkosten, Ersatzteile), Anlagenlebensdaueroptimierung und die Erhöhung der Anlagensicherheit und –effizienz als weitere Potenziale von prädiktiver Instandhaltung nennt.

<sup>340</sup> Eigene Darstellung

### 3.6.2.2 Instandhaltungsprogrammplanung: Entstörung planen

Neben der präventiven Instandhaltungsstrategie muss auch die reaktive Instandhaltung geplant werden. Die Analyse der historischen Störungen einer Anlage bringt Erkenntnisse über das zufällige Ausfallverhalten. Je nachdem, welche Dimension für ein Unternehmen wichtig ist (Zeit, Geld oder beispielsweise Produktivität), gilt es die Störungen zu untersuchen und die erwartende Unsicherheit zu quantifizieren. Abgeschlossen ist die Funktion, wenn die wichtigsten Störungen identifiziert wurden (siehe Abbildung 56).

#### Störungen analysieren

Die Funktion Störung analysieren tritt ein, wenn Vorbereitungen auf die Entstörung im Unternehmen als wichtig erachtet werden. Dazu werden Daten der D2\_Anlage, des D3\_Auftragswesens, der D14\_Instandhaltungskosten sowie Daten der D10\_Schadenserfassung benötigt.

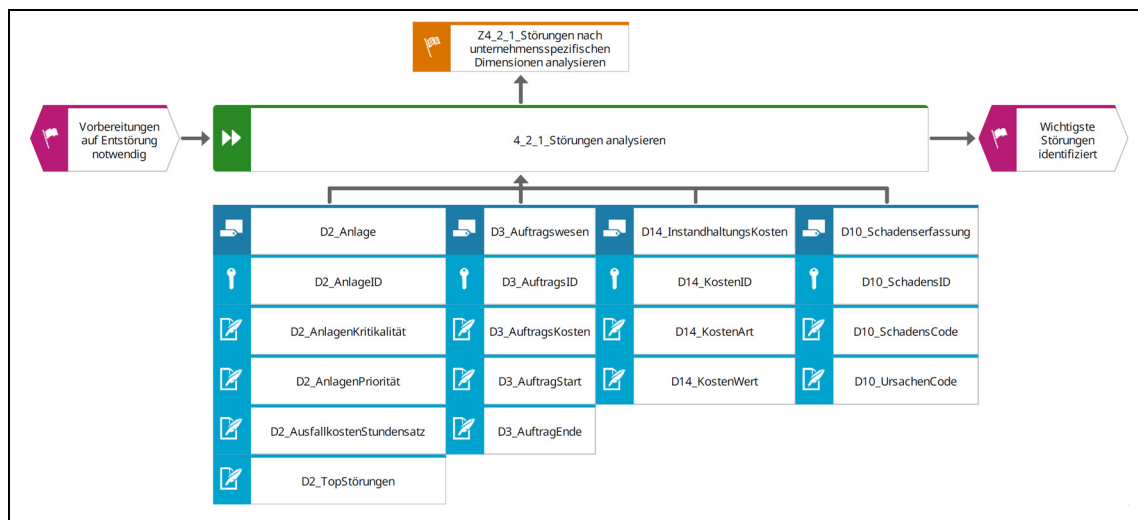


Abbildung 56: Steuerungsperspektive der Funktion Störungen analysieren<sup>341</sup>

#### Ressourcengrobplanung für reaktive Instandhaltung durchführen

Nach Abschluss der Identifizierung der Top-Störungen werden die gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um eine Ressourcengrobplanung durchzuführen (siehe Abbildung 57). Dabei ist es wichtig, Kapazitäten für zufällige Ereignisse einzuplanen und Ressourcen dafür zu reservieren. Die Betrachtung der vorrätigen Ersatzteile bzw. der Beschaffungszeit von Ersatzteilen bei hochkritischen Anlagen kann wirtschaftliche sinnvoll sein. Für die Erfüllung der Funktion werden alle Daten zu den jeweiligen Ressourcen benötigt. Initiiert wird die Ressourcengrobplanung nach der Identifizierung der wichtigsten Störungen. Abgeschlossen ist die Funktion, wenn Kapazitäten für reaktive Instandhaltungstätigkeiten eingeplant wurden.

<sup>341</sup> Eigene Darstellung

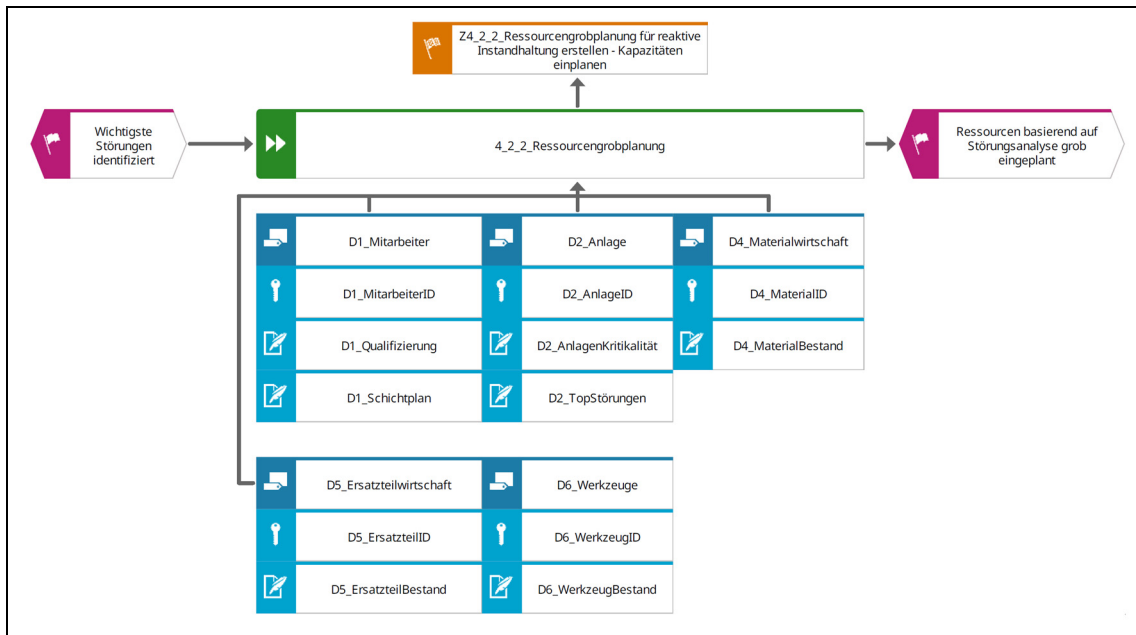


Abbildung 57: Steuerungsperspektive der Funktion Ressourcengroßplanung<sup>342</sup>

### 3.6.2.3 Schwachstellenanalyse

Die Schwachstellenanalyse beginnt nach Abschluss des operativen Regelkreises. Im Sinne der kontinuierlichen Verbesserung sind Unternehmen dazu bestrebt, im Anschluss an die Instandhaltungstätigkeiten den Verbesserungsbedarf zu ermitteln. Folgende Steuerungsperspektiven ergeben sich dadurch:

#### Schadensanalyse

Die Schadensanalyse (siehe Abbildung 58) hat das Ziel, die auftretenden Schäden zu klassifizieren und zu dokumentieren. Die Datenklasse D10\_Schadenserfassung tritt hier besonders zum Vorschein. Es gilt den Schaden zu beschreiben (D10\_SchadensCode, D10\_SchadensMerkmal) und gleichzeitig bereits zu versuchen die eigentliche Ursache zu definieren (D10\_UrsachenCode). Die Schadensanalyse sollte folgende Fragen beantworten:

- Was ist passiert? (D3\_Auftragswesen, D2\_Anlage, D10\_Schadenserfassung)
- Wo ist der Schaden eingetreten? (D2\_Anlage)
- Warum ist der Schaden eingetreten? (D10\_UrsachenCode)
- Welche Auswirkungen hat der Schaden? (D2\_Anlage)

Die einzelnen Elemente werden in den folgenden Schritten noch weiter vertieft. Es ist dennoch sinnvoll, sich bereits unmittelbar nach Schadenseintritt und der Reparatur mit den Ursachen und möglichen Folgewirkungen zu beschäftigen und die Erkenntnisse zu dokumentieren.

<sup>342</sup> Eigene Darstellung

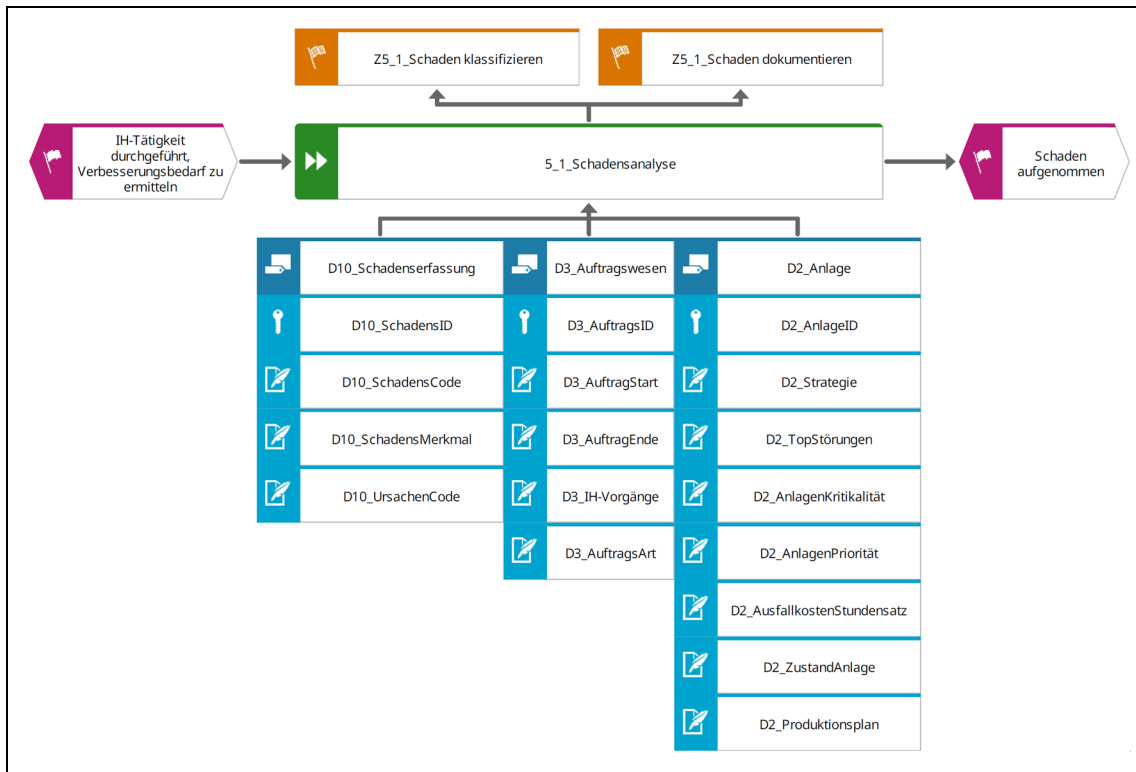


Abbildung 58: Steuerungsperspektive der Funktion Schadensanalyse<sup>343</sup>

#### Feststellung der Ursachen für die Schäden

Wie bereits in 5\_1\_Schadenanalyse angedeutet, gilt es für die Schäden die Ursache zu deklarieren (siehe Abbildung 59). Neben den drei Entitäten (D2\_Anlage, D3\_Auftragswesen und D10\_Schadenserfassung) werden in dieser Funktion zwei weitere Datentypen wichtig, die vor allem durch die Digitalisierung eine zunehmende Bedeutung gewinnen. In der Entität D17\_ConditionMonitoring wird eine Klasse geschaffen, über die Informationen des Condition Monitoring Systems in das Informationssystem der IH fließen sollen. Besonderen Nutzen verspricht bei der Ursachenermittlung außerdem die Datenklasse D18\_Prozessparameter, mit denen Diagnosen durchgeführt werden können. In dieser Klasse werden Ist-Werte von Prozessparametern und die diesbezüglichen Grenzwerte hinterlegt. Die Überschreitung des Grenzwerts kann für die Ursachenermittlung wichtige Erkenntnisse bedeuten. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass die Erstellung diagnostischer Analysen hochkomplexe Verfahren mit sich ziehen. Es lässt sich beispielsweise über ein datengestütztes Ishikawa-Diagramm mithilfe der Assoziationsanalyse feststellen, welcher Prozessparameter, oder welches Produktionsprogramm in einem signifikanten Zusammenhang zu einer Störung steht. Die eingesetzte Methodik geht über die einfache Schwachstellenanalyse hinaus und kann nicht-triviale Erkenntnisse aus den vorhandenen Daten generieren.<sup>344</sup> Im Anschluss an die Feststellung der Ursachen ist die Erarbeitung oder Weiterentwicklung von Ursachencodes notwendig, um die folgenden Analysen effizienter zu machen.

<sup>343</sup> Eigene Darstellung

<sup>344</sup> Vgl. Bernerstätter, R.; Kühnast, R. (2017), S. 163ff

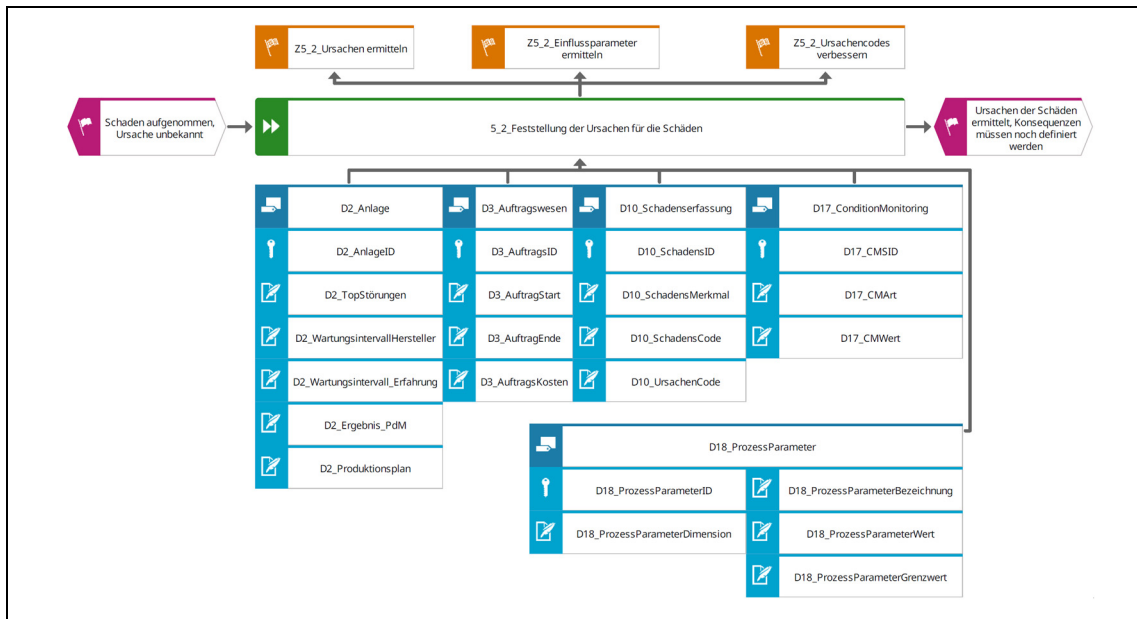


Abbildung 59: Steuerungsperspektive der Funktion Feststellung Ursachen für Schäden<sup>345</sup>

### Ermittlung Folgewirkungen

Bei der Ermittlung der Folgewirkungen werden die Ausfallkosten, Instandhaltungskosten, die Kritikalität und weitere Aspekte miteinbezogen (siehe Abbildung 60). Die aus der Kritikalitätsanalyse (falls vorhanden) gewonnenen Erkenntnisse geben Aufschluss über die Risikofaktoren und deren Gewichtung und unterstützen damit die Ermittlung der Folgewirkungen. Zusätzlich werden mit der D10\_Schadenerfassung die relevanten Daten zum Schaden benötigt, um eine bessere Abschätzung der Folgewirkungen tätigen zu können. Die Einbindung der D9\_Produktion kann zusätzliche Erkenntnisse generieren, die über die Ausfallkostenermittlung hinausgehen.

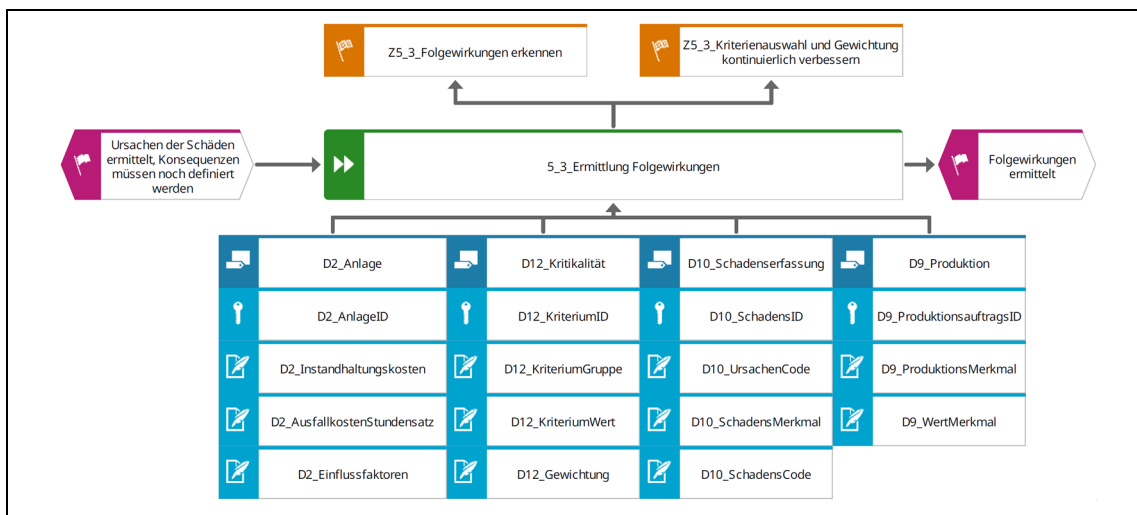


Abbildung 60: Steuerungsperspektive der Funktion Ermittlung Folgewirkungen<sup>346</sup>

<sup>345</sup> Eigene Darstellung

<sup>346</sup> Eigene Darstellung



### Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung von Schwachstellen

Die abschließende Funktion der Schwachstellenanalyse ist die Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung der identifizierten Schwachstellen (siehe Abbildung 61). Das Ziel ist die Erstellung eines Maßnahmenplans, in dem neben der Auftragsplanung auch ein Kostenplan erstellt wird. Es sollte außerdem ein Abgleich zwischen den zu beseitigenden Schwachstellen und den Top-Störungen gemacht werden.

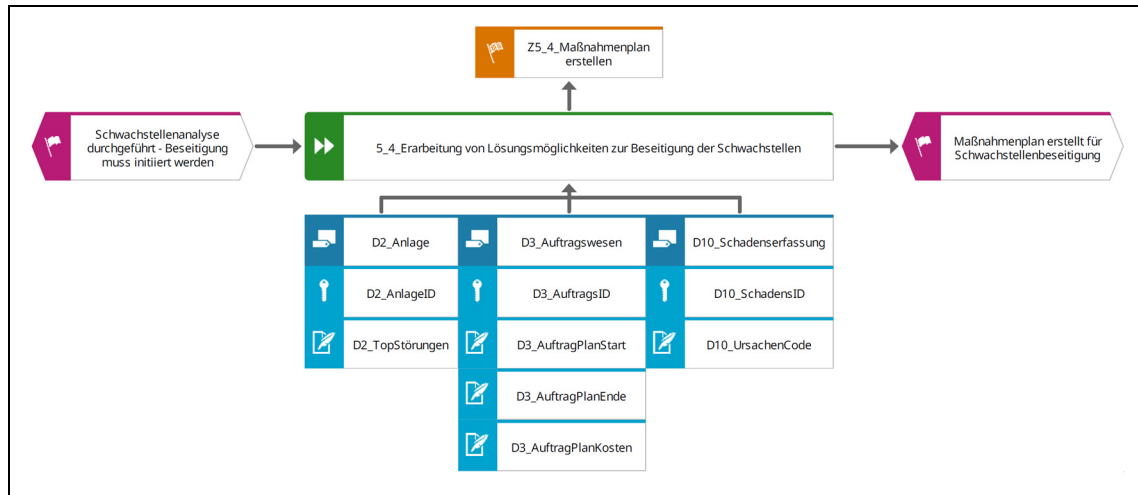


Abbildung 61: Steuerungsperspektive der Funktion Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung der Schwachstellen<sup>347</sup>

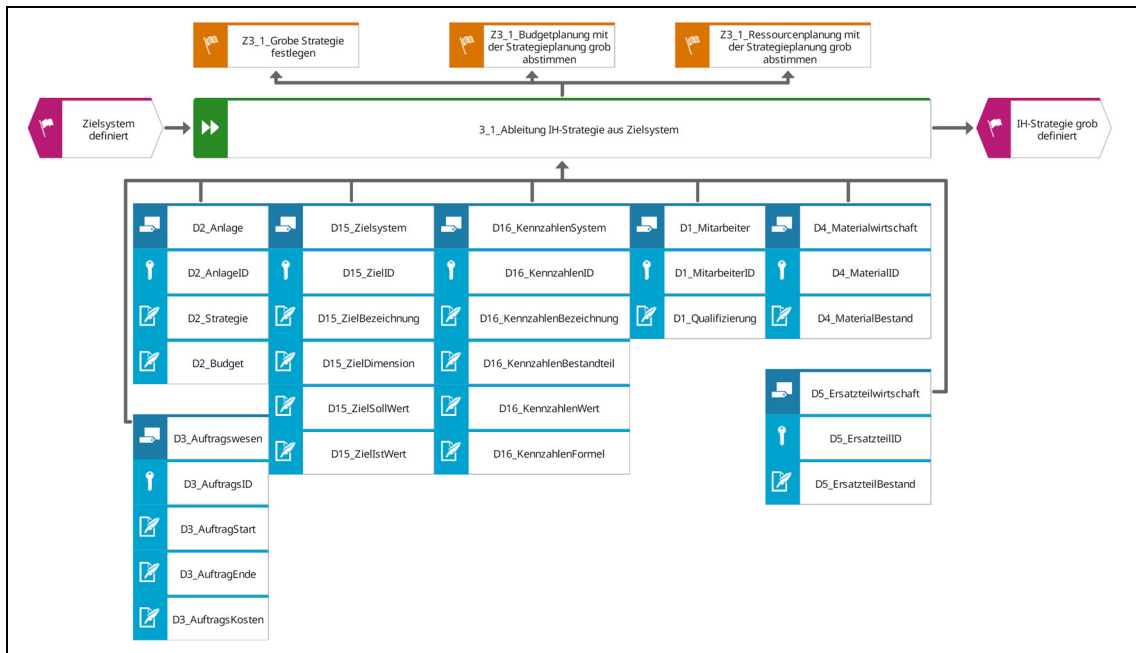
### 3.6.3 Steuerungsmodellierung der strategischen Instandhaltungsprozesse

Die ableitbaren Entitäten und Attribute der strategischen Ebene sind für das Referenzmodell von großer Bedeutung, da sich Informationssysteme teilweise nur auf die operative Ebene konzentrieren. Die Einbettung von Aspekten des Risikomanagements durch die Kritikalitätsanalyse ist für die strategische Ausrichtung des Instandhaltungsmanagements entscheidend, um auch mittel- und langfristig die passenden Tätigkeiten zur Erreichung der Ziele auswählen zu können.

#### 3.6.3.1 Instandhaltungsstrategieplanung: Ableitung IH-Strategie aus Zielsystem

Für die Ableitung der IH-Strategie (siehe Abbildung 62) aus dem Zielsystem werden zwei neue Entitäten benötigt. Das D15\_Zielsystem soll das Informationssystem in dieser Funktion unterstützen, um eine eindeutige Zieldefinition zu gewährleisten. Aus den formulierten Zielen kann ein Kennzahlensystem die qualitativen Ziele in quantitative, messbare Größen umwandeln (wobei nicht jedes Ziel mit einer Kennzahl optimal abgebildet werden kann). Zusätzlich muss die gewählte Strategie bereits in dieser Phase mit der Budget- und Ressourcenplanung harmonisiert werden.

<sup>347</sup> Eigene Darstellung



**Abbildung 62: Steuerungsperspektive der Funktion Ableitung IH-Strategie aus Zielsystem<sup>348</sup>**

### 3.6.3.2 Instandhaltungsstrategieplanung: Bestimmung Ausfallkosten

Ausfallkosten zu bestimmen ist gleichermaßen wichtig und schwierig. PAWELLEK sieht in den Kostenauswirkungen eines Anlageausfalls weitreichende Folgen für ein Unternehmen. Die Höhe der Auswirkungen hängt von der Einbindung der Anlagen in den Produktionsprozess ab. Abbildung 63 zeigt die notwendigen Daten der weitreichenden Ausfallfolgekosten<sup>349</sup>. Die beschriebene Funktion hat für die Instandhaltung eine besondere Bedeutung, denn in ihr liegt die Möglichkeit, den Wertschöpfungsbeitrag monetär darzustellen und als Nutzen der Anlageninstandhaltung zu interpretieren<sup>350</sup>. Die zu erhebenden Daten entsprechen der Definition der Ausfallkosten in der theoretischen Grundlegung MÄNNELS<sup>351</sup>, wobei hervorzuheben ist, dass die Ermittlung der einzelnen Datensätze nicht als direkte Aufgabe der Instandhaltung gesehen wird. Die sukzessive Erarbeitung der Attribute trägt noch weitere Potenziale mit sich. Die Erhöhung der Transparenz und ein besseres Verständnis der Verlustquellen gibt der Instandhaltung die Möglichkeit, das eigene Schaffen als monetäre Größe zu bewerten, und andererseits Unzulänglichkeiten anderer Bereiche aufzudecken. Die Ermittlung des Attributs D2\_AusfallkostenStundensatz ist in dem zu erstellenden Datenmodell das wichtigste Feld zur Unterstützung von Entscheidungen. In der Frage nach Kosten/Nutzen Betrachtungen werden primär die Ausfallkosten herangezogen, und erst in weiterer Folge die Instandhaltungskosten als Entscheidungsgrundlage betrachtet.

<sup>348</sup> Eigene Darstellung

<sup>349</sup> Vgl. Pawellek, G. (2016), S. 71f

<sup>350</sup> Vgl. Männel, W. (1992), S. 731

<sup>351</sup> Vgl. Männel, W. (1992), S. 733ff

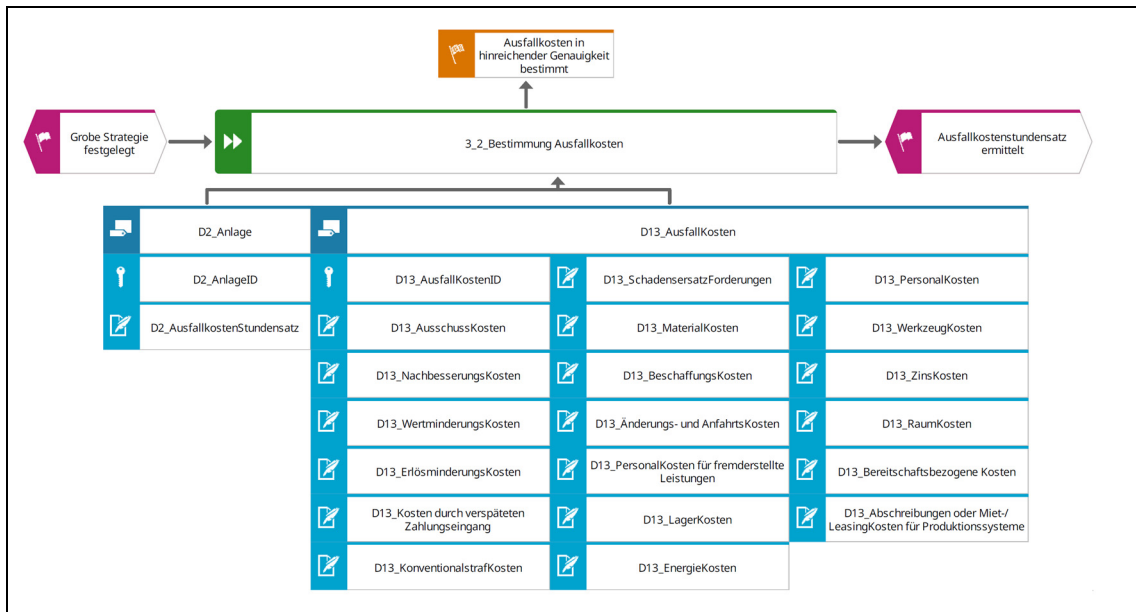


Abbildung 63: Steuerungsperspektive der Funktion Bestimmung Ausfallkosten<sup>352</sup>

### 3.6.3.3 Instandhaltungsstrategieplanung: Anlagenkritikalitätsbestimmung

In der Funktion Anlagenkritikalitätsbestimmung (siehe Abbildung 64) wird einer Anlage ein Kritikalitätsindex zugeordnet. Hintergrund ist die Ermittlung des Risikos von Anlagen für ein Unternehmen. Dabei können die Kriterien unterschiedliche Dimensionen beachten. Es gilt die D12\_KriteriumsSkala zu bestimmen, die D12\_Gewichtung zu ermitteln, D12\_Konsequenzen zu evaluieren und in einer Bewertung die Kriterien mit einem D12\_KriteriumsWert oder einer D12\_Wahrscheinlichkeit zu hinterlegen. Zusätzlich lässt sich die Analyse durch das D15\_Zielsystem unterstützen, da in diesem die wesentlichen Erfolgsfaktoren bereits ausgearbeitet wurden.

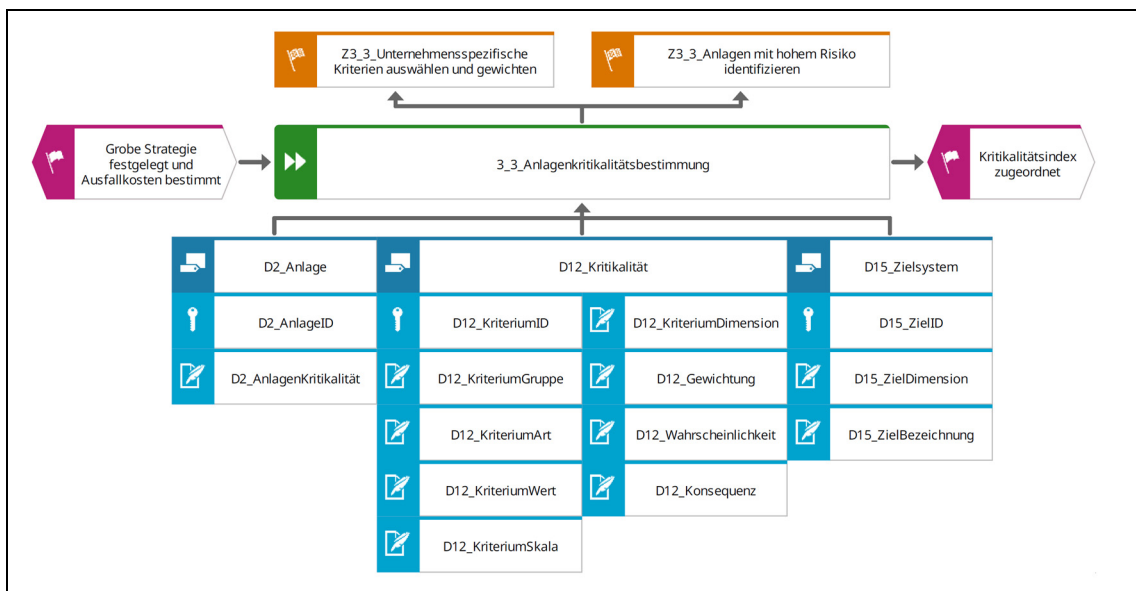


Abbildung 64: Steuerungsperspektive der Funktion Anlagenkritikalitätsbestimmung<sup>353</sup>

<sup>352</sup> Eigene Darstellung

<sup>353</sup> Eigene Darstellung

### 3.6.3.4 Instandhaltungsstrategieplanung: Identifikation Schwerpunktanlagen

Nachdem die Kritikalität bestimmt wurde, kann aus dem Ergebnis die Identifikation der Schwerpunktanlagen erfolgen (siehe Abbildung 65).

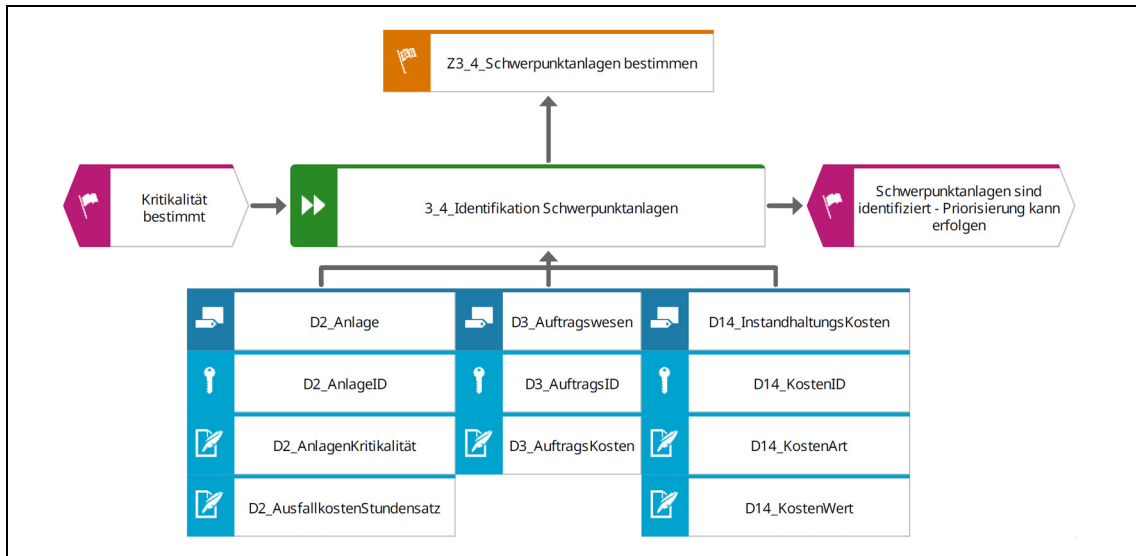


Abbildung 65: Steuerungsperspektive der Funktion Identifikation Schwerpunktanlagen<sup>354</sup>

### 3.6.3.5 Instandhaltungsstrategieplanung: Detailanalysen: Kostenanalyse

Die Kritikalitätsanalyse stellt das Risiko der Anlagen in den Vordergrund. Es gilt aber noch eine zweite Dimension zu betrachten – die Kosten (siehe Abbildung 66). Bei der Kostenanalyse sollen wichtige Teilbereiche wie die Fremddienstleistung, Personalleistung, Materialverbrauch und Betriebsmittelverbrauch durch eine monetäre Bewertung die zu treffenden Entscheidungen unterstützen.

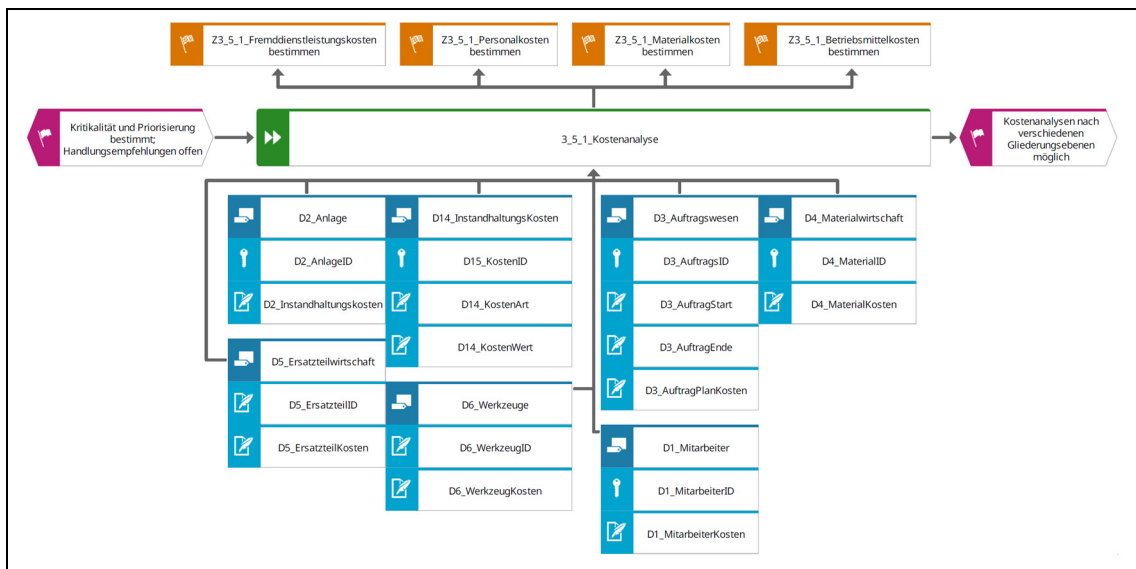


Abbildung 66: Steuerungsperspektive der Funktion Kostenanalyse<sup>355</sup>

<sup>354</sup> Eigene Darstellung

<sup>355</sup> Eigene Darstellung

### 3.6.3.6 Instandhaltungsstrategieplanung: Anpassung Strategiemix

Die Anpassung des Strategiemix erfolgt nachdem die Kritikalität bestimmt, die Priorisierung festgelegt, Kosten- und Schwachstellenanalysen durchgeführt sind. Ziel ist die Definition des optimalen Strategiemix für die betrachtete Anlage. Die Datenanforderungen sind in Abbildung 67 dargestellt.

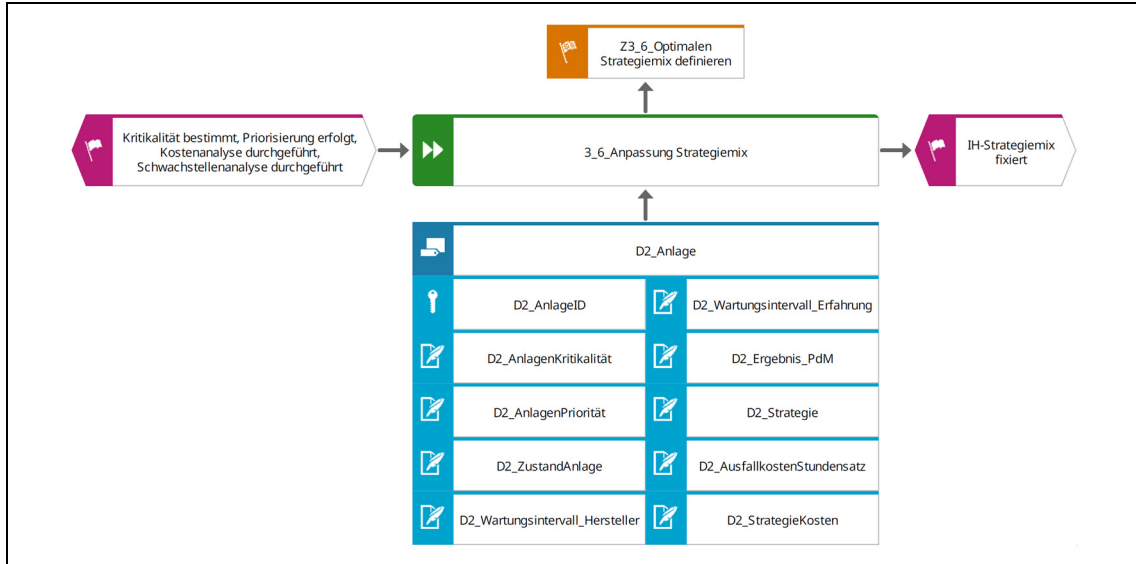


Abbildung 67: Steuerungsperspektive der Funktion Anpassung Strategiemix<sup>356</sup>

### 3.6.3.7 Instandhaltungsstrategieplanung: Abgleich IH-Strategie mit Budget- und Ressourcenplanung

Die gewählten Strategien gilt es mit der Budget- und Ressourcenplanung abzugleichen (siehe Abbildung 68). Ziel ist die Koordination zwischen den zu leistenden Maßnahmenbündeln und den budgetären Gegebenheiten. Gleichzeitig wird die Ressourcenplanung miteinbezogen, um bereits frühzeitig die notwendigen Ressourcen zu verplanen bzw. zu organisieren.

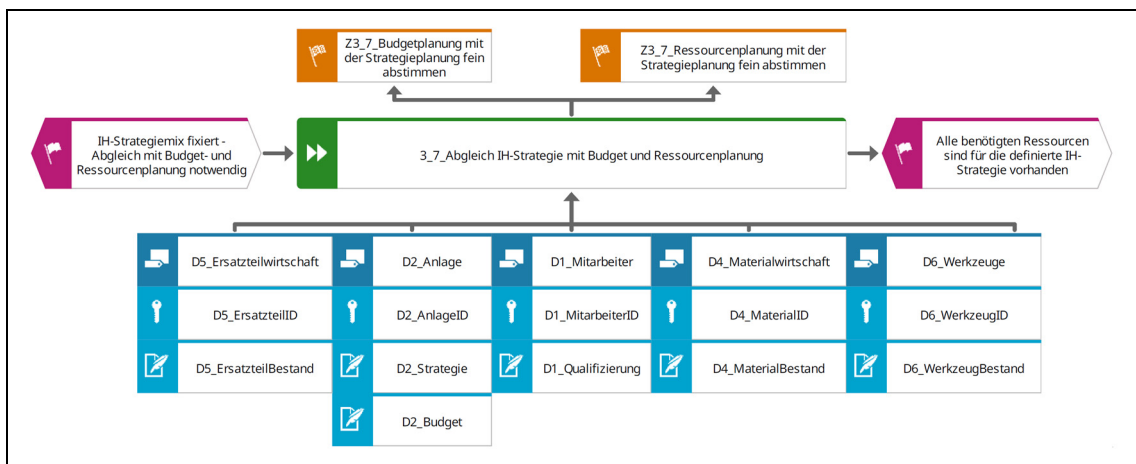


Abbildung 68: Steuerungsperspektive der Funktion Abgleich IH-Strategie mit Budget- und Ressourcenplanung<sup>357</sup>

<sup>356</sup> Eigene Darstellung

<sup>357</sup> Eigene Darstellung

### 3.7 Datenmodellierung

Die Datenmodellierung des Informationssystems Instandhaltung hat den Zweck, geeignete Rahmenbedingungen für die systematische Erfassung und Speicherung von Daten zu gewährleisten. Die weitere Verarbeitung, Verdichtung, Analyse und Transformation der Daten liefert die Informationen für die entscheidungsbildenden Prozesse der Instandhaltung, wie die Planung oder das Controlling. Die Erstellung von Datenmodellen wurde daher von verschiedenen Autoren bereits aufgenommen. Die vorgestellten Lösungen stellen jeweils Teilaspekte des Instandhaltungssystems vor und finden in der durchgeführten Modellierung teilweise Anwendung. Sie werden daher im folgenden Abschnitt kurz präsentiert.

Die Klassifikation der Entitätstypen in sinnvolle Gruppen beeinflusst die Möglichkeiten von Datenanalysen stark. Der Einfluss insbesondere auf den strategischen Regelkreis ist enorm. Einfache Zuordnungen, wie die Unterteilung in Kostenklassen, kann bereits wichtige Strategieentscheidungen wie die Vergabestrategie von Fremddienstleistungen oder das Ersatzteilmanagement stark verändern. Es ist daher notwendig, die richtigen Dimensionen der Entitätstypen und damit der Daten zu beschreiben. SIHN unterteilt die Informationen in objekt-, auftrags- oder materialbezogen.<sup>358</sup>

Den Bedarf an Daten zu bestimmen ist keine neue Problemstellung. Für die Bildung von Kennzahlen ist es notwendig, eine Informationsbedarfsanalyse durchzuführen und die Bestandteile der Kennzahlen Top-Down zu definieren. Dieser Ansatz verfolgt das spezifische Ziel die relevanten Kennzahlen abbilden zu können, es wird daher nur der ausgewählte Ausschnitt betrachtet. Der Digitale Schatten umfasst das Informationssystem in einem größeren Maßstab. Es sollen alle relevanten Informationen für das System erfasst werden können.

Klassendiagramme sind die Basis für objektorientierte Programmierungen und geben einen Überblick über die Strukturen und Beziehungen der Systemelemente wieder<sup>359</sup>. Klassendiagramme haben ihren Ursprung im Entity-Relationship-Modell von CHEN<sup>360</sup>. Eine Klasse besteht aus Attributen und Methoden, die den Zustand und das Verhalten der Klasse determinieren<sup>361</sup>.

In dem folgenden Modell werden die aus der Steuerungsperspektive abgeleiteten Daten in einem System zusammengefasst und sinnvoll miteinander verknüpft. Das allgemeine Modell gibt zunächst Aufschluss auf die Frage, welche Daten für die Durchführung der operativen, der strategisch-operativen (analytischen) und der strategischen Instandhaltungsprozesse benötigt werden.

Die Datenmodellierung kann in zwei Schritte unterteilt werden, wobei in Anschluss an den zweiten Schritt eine kritische Betrachtung der Attribute notwendig ist und gegebenenfalls zusätzliche Attribute definiert werden müssen. Durch den Übergang von

---

<sup>358</sup> Vgl. Sihn, W. (1992), S. 42

<sup>359</sup> Vgl. Rumpe, B. (2016), S. 14

<sup>360</sup> Siehe Chen, P.P.-S. (1976)

<sup>361</sup> Vgl. Rumpe, B. (2016), S. 17

einer statischen (Schritt 1) in eine teilweise dynamische Analyse (Schritt 2) lassen sich offene Themen identifizieren<sup>362</sup>.

### 3.7.1 Identifikation Entitätstypen & Basisattribute

Der erste Schritt der Datenmodellierung besteht in der Analyse der Steuerungssicht. Basierend auf der Prozessdarstellung lassen sich die relevanten Daten, die für eine erfolgreiche Durchführung der entsprechenden Funktionen notwendig sind, ableiten. Dazu werden die grundlegenden Entitätstypen wie in den Prozessdarstellungen ersichtlich definiert. Es wurden 18 verschiedene Klassen (Entitäten) bestimmt, die miteinander in Beziehung stehen. Die Stärke der gewählten Vorgehensweise liegt in der gesamtheitlichen Betrachtung und der Involvierung aller Prozesse des Instandhaltungsmanagements. Es kann damit gewährleistet werden, dass nicht nur ein bestimmter Teilaspekt mitbetrachtet wird, sondern ein vollständiges Bild der Datenlandschaft gezeichnet wird (siehe Abbildungen 69-72). Die ersten drei Entitäten sind in Abbildung 69 dargestellt und stellen gleichzeitig die wesentlichen Bezugspunkte für das Instandhaltungsmanagement in den Mittelpunkt. Der Mitarbeiter, die Anlage und die durchzuführenden Aufträge sind für die erfolgreiche Arbeit der Instandhaltung unumgänglich. Die Attribute des Auftragswesens und des Mitarbeiters lassen sich fast vollständig primär dem operativen Regelkreis zuordnen. Strategische Aspekte werden in den Daten zur Anlage bei ungefähr der Hälfte der Attribute betrachtet.

D1_Mitarbeiter	D2_Anlage		D3_Auftragswesen	
D1_MitarbeiterID	D2_AnlageID	D2_ErsatzteilID	D3_AuftragsID	D3_AuftragsArt
D1_Qualifizierung	D2_Anforderungen	D2_IH-Vorgänge	D3_AuftragStart	D3_AuftragEnde
D1_Schichtplan	D2_technischeSpezifikationen	D2_Instandhaltungskosten	D3_AuftragPlanStart	D3_AuftragPlanEnde
D1_Stundensatz	D2_AnlagenKritikalität	D2_AnlagenPriorität	D3_Auftragsanforderungen	D3_IH-Vorgänge
D1_MitarbeiterKosten	D2_Produktionsplan	D2_TopStörungen	D3_ErsatzteilmengeIST	D3_ErsatzteilmengeSOLL
	D2_ZustandAnlage	D2_WartungsintervallHersteller	D3_MaterialmengeIST	D3_MaterialmengeSOLL
	D2_AusfallkostenStundensatz	D2_WartungsintervallErfahrung	D3_MitarbeiterstundenIST	D3_MitarbeiterstundenSOLL
	D2_Einflussfaktoren	D2_Strategie	D3_ReparaturSTART	D3_ReparaturENDE
	D2_Ergebnis_PdM	D2_StrategieKosten	D3_AuftragsKritikalität	D3_AuftragsPriorität
	D2_Budget		D3_AuftragsKosten	D3_AuftragsZustand
			D3_AuftragPlanKosten	

Abbildung 69: Entitäten (D1-D3) mit Attributen<sup>363</sup>

Die folgende Abbildung 70 umfasst hauptsächlich die Ressourcendaten mit den Entitäten D4\_Materialwirtschaft, D5\_Ersatzteilwirtschaft, D6\_Werkzeuge, D7\_Fuhrpark und D8\_Ausrüstung. Die Klassen haben dabei einen ähnlichen Aufbau, in dem vor allem der Bestand, Ort und die Kosten wichtige Attribute darstellen.

<sup>362</sup> Vgl. Gadatsch, A. (2019), S. 14f

<sup>363</sup> Eigene Darstellung

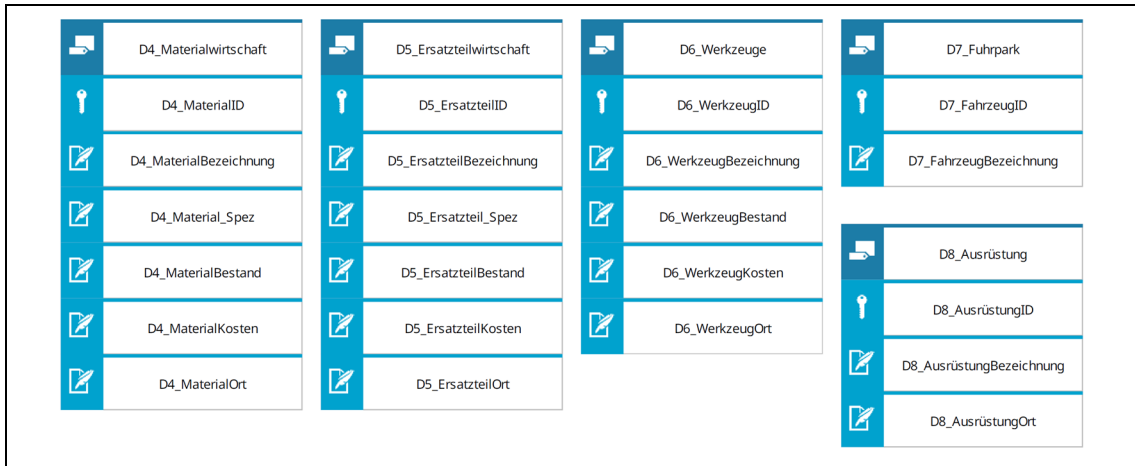


Abbildung 70: Entitäten (D4-D8) mit Attributen<sup>364</sup>

In Abbildung 71 werden mit Ausnahme der D10\_Schadensfassung und dem D11\_Meldewesen strategische Entitäten berücksichtigt. Daten der Produktion (D9\_Produktion), Kritikalität (D12\_Kritikalität) und die Ausfallkosten (D13\_Ausfallkosten) bilden vor allem für die Weiterentwicklung des Informationssystems und damit des IH-Managements die Grundlage.

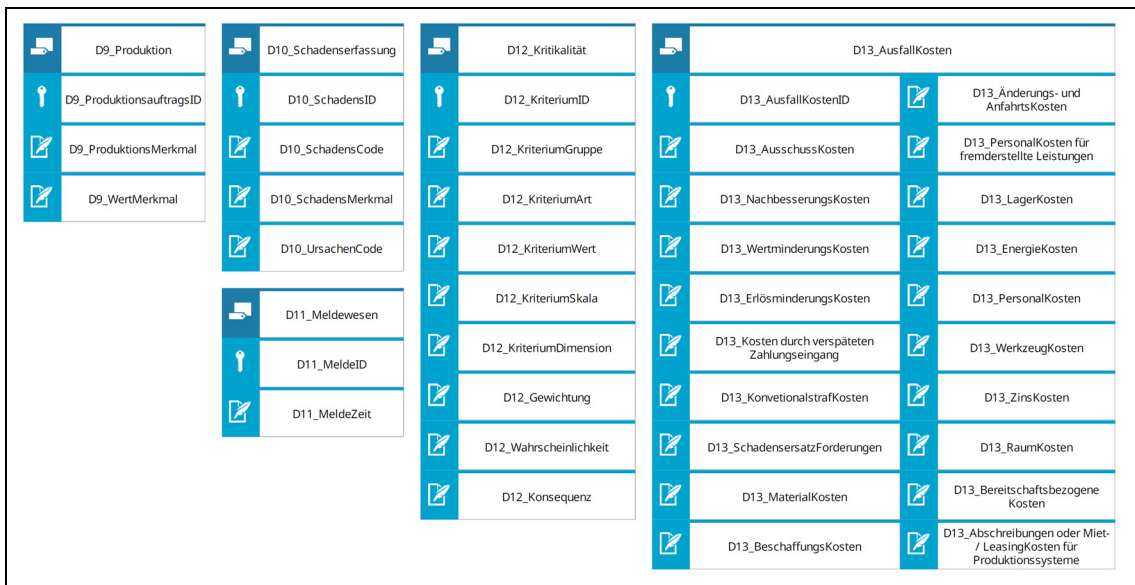


Abbildung 71: Entitäten (D9-D13) mit Attributen<sup>365</sup>

Die letzten Entitäten umfassen ausschließlich das strategische oder strategisch-operative IH-Management (siehe Abbildung 72). Die Ermittlung der Daten zu D14\_Instandhaltungskosten, dem D15\_Zielsystem, dem D16\_Kennzahlensystem sowie D17\_ConditionMonitoring und D18\_Prozessparametern kann durch vielfältige Anwendung (beispielsweise Einsatz von datenanalytischen Methoden wie der Assoziationsanalyse oder Prognosemodelle) Chancen nutzbar machen.

<sup>364</sup> Eigene Darstellung

<sup>365</sup> Eigene Darstellung



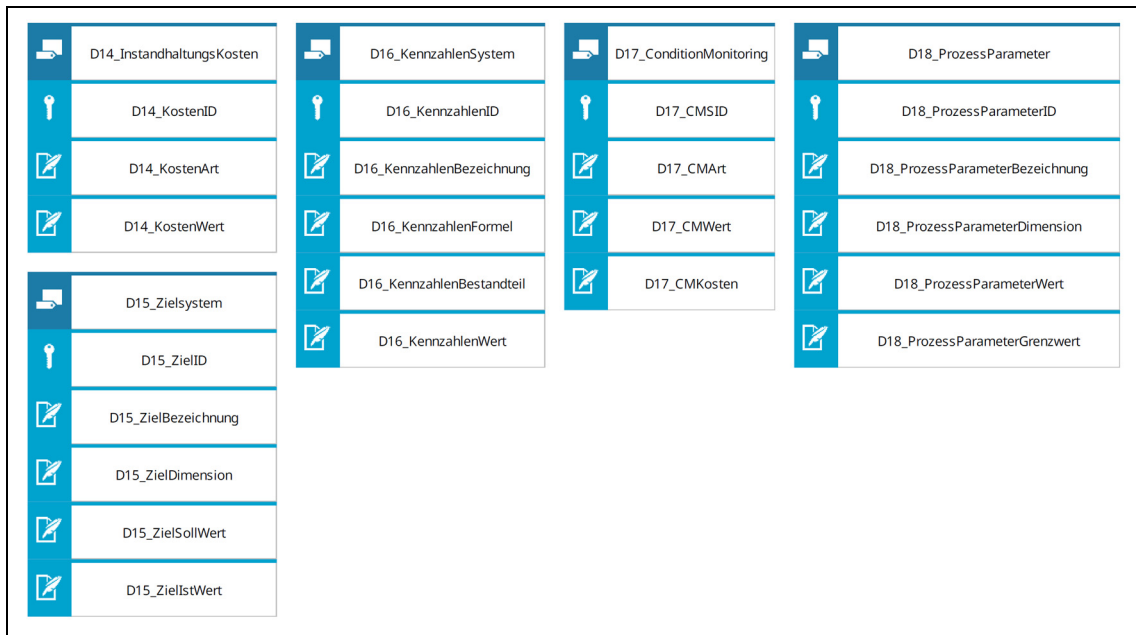


Abbildung 72: Entitäten (D14-D18) mit Attributen<sup>366</sup>

### 3.7.2 Identifikation Beziehungstypen

Die Beziehung zwischen den Entitäten lässt sich mithilfe der Steuerungssicht nachvollziehen. Ausgehend von den Funktionen und den bestimmaren Attributen kann die Beziehung zwischen zwei oder mehreren Entitäten in einem generischen Datenmodell in Form eines Entity-Relationship-Modells<sup>367</sup> erstellt werden.

Im Zentrum stehen die beiden Klassen D2\_Anlage und D3\_Auftragswesen (siehe Abbildung 73). Die Verben zwischen den Entitäten sollen die Beziehung verdeutlichen und sind sinngemäß in der entsprechenden Richtung zu lesen. Es lässt sich außerdem eine Unterteilung in die strategische und operative Ebene vollziehen, wobei es in Einzelfällen zu Ausnahmen kommen kann (vor allem in Datenattributen die dem strategisch-operativen Regelkreis entstammen). In der Entität D2\_Anlage ist ungefähr die Hälfte der Attribute dem operativen Regelkreis zugeordnet. Die andere Hälfte wurde aus dem strategisch-operativen und strategischen Regelkreis abgeleitet. Die Entität D3\_Auftragswesen beinhaltet ausschließlich Daten, die der operativen Ebene zugeordnet werden können. Hervorzuheben sind außerdem die Datenklassen, die auf IH-externe Datenquellen angewiesen sind. So benötigen die D13\_Ausfallkosten, D9\_Produktion, D17\_ConditionMonitoring sowie D18\_Prozessparameter Input aus anderen Systemen des Betriebs. Die normative Ebene wurde in dem erstellten Datenmodell nicht betrachtet. Die D2\_Anlage und das D3\_Auftragswesen liegen genau zwischen den zwei Ebenen, wobei vor allem in den Anlagedaten auch strategische Themen hinterlegt werden und die Auftragsdaten eher von der operativen Ebene unterstützt bzw. generiert werden.

<sup>366</sup> Eigene Darstellung

<sup>367</sup> Siehe Abschnitt 2.4.2 Datenmodellierung

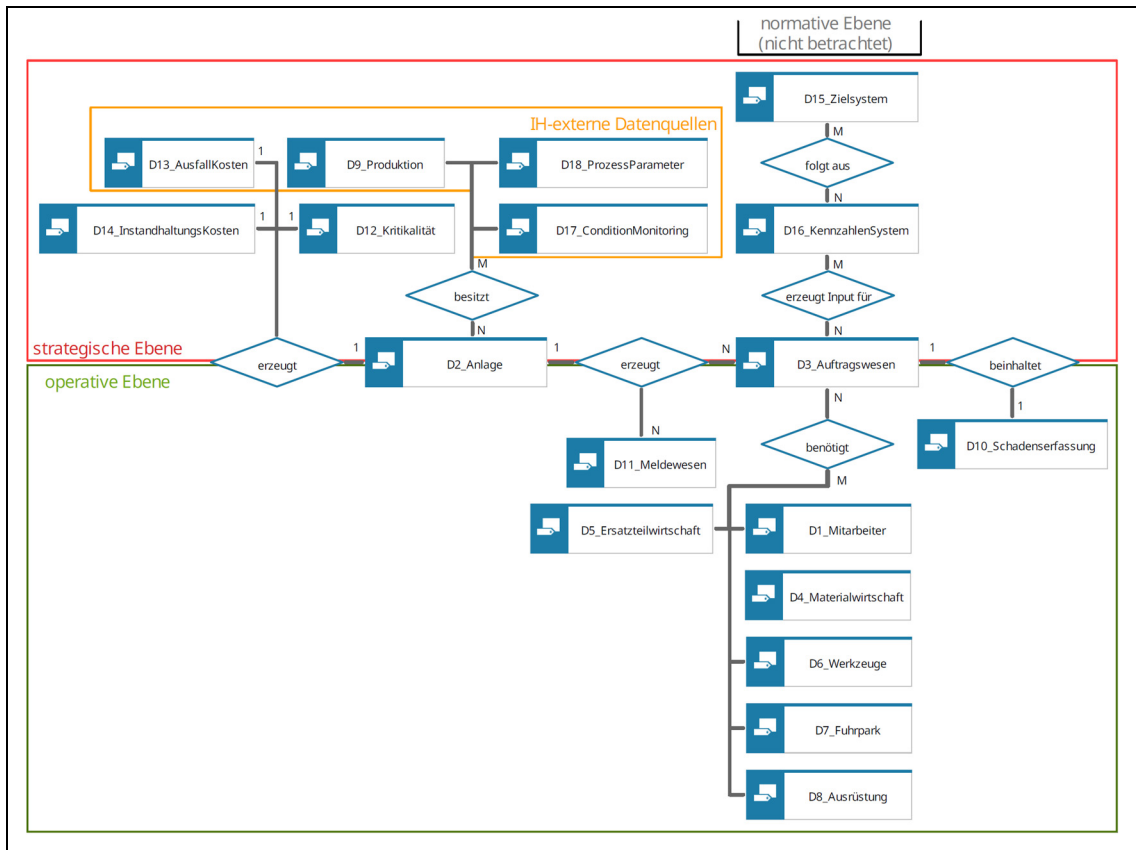


Abbildung 73: Datenmodell mit Verbindungen<sup>368</sup>

### 3.8 Kritische Würdigung des Referenzmodells

Das Referenzmodell beansprucht als Grundlage einen generischen Ansatz, der die systemrelevanten Funktionen beinhaltet. Dazu wurden Rahmenwerke und Normen auf Gemeinsamkeiten untersucht und Grundmodule definiert<sup>369</sup>. Die gewählte Vorgehensweise unterscheidet sich von vergleichbaren Referenzmodellen des Informationssystems der Instandhaltung. Der Ansatz von HARLAND untersucht das System der Instandhaltungsdienstleistungen mit einer Case Study Methodik. Dazu werden, ebenfalls dem generischen Anspruch folgend, Fallstudien ausgewählt und iterativ ein Prozessbaukasten erstellt. Das Ergebnis ist ein Funktionsbaum, der vor allem die operativen Prozesse der Dienstleistung repräsentiert.<sup>370</sup> Das entstandene Referenzmodell konzentriert sich auf den operativen Regelkreis, die operativ-strategischen und strategischen Aspekte bleiben unbeachtet. Ein anderes Referenzmodell extrahiert die generischen Anforderungen an ein integriertes Instandhaltungssystem über eine Literaturanalyse und erhärtet die Ergebnisse mit einem Vergleich aus der Praxis. Die daraus abgeleiteten Bausteine bilden die Anforderungen an das Informationssystem.<sup>371</sup> Bei den Modulen gibt es starke Überschneidungen zu den

<sup>368</sup> Eigene Darstellung

<sup>369</sup> Siehe Abschnitt 3.3.1 Auswahl der Prozessmodule

<sup>370</sup> Vgl. Harland, T. (2019), S. 109ff

<sup>371</sup> Vgl. Reidt, A. (2019), S. 69ff

Prozessmodulen dieser Arbeit, die Interdependenzen lassen sich aufgrund der großen Anzahl (40 Funktionsmodule – wobei keine Detailebenen definiert wurden) nur schwierig erkennen.

### **3.8.1 Funktionsmodell**

Die Einordnung des Ergebnisses der Funktionssicht lässt sich über die differenzierbaren Methoden zur Definition der Instandhaltungsprozesse bewerkstelligen. Die gewählte Vorgehensweise, die generischen Grundwerke iterativ mit Weiterentwicklungen des Prozessmodells nach BIEDERMANN zu vervollständigen, hat den Vorteil, von einer groben Perspektive in eine detaillierte Perspektive gehen zu können. Die Grundmodule leiten sich deduktiv-nomologisch aus den Grundfunktionen des Managements ab. Eine Validierung, ob Planung für das Instandhaltungsmanagement und in weiterer Folge für das Informationsmanagement wichtig ist, scheint damit nicht notwendig. Sehr wohl muss auf die Frage eingegangen werden, wie die Planung gestaltet werden muss und in welchen Prozessschritten diese besonders gefordert ist. Kritisch anzumerken ist, dass Instandhaltungsprozesse in der Praxis immer einen bestimmten Reifegrad besitzen. So kann sich die Kritikalitätsanalyse bei einem Unternehmen lediglich auf Engpassanlagen und ohne Gewichtung der Kriterien äußern, und bei einem anderen Unternehmen den gesamten Anlagenpark, mit gewichteten Kriterien beziehen. Es wurde daher bei allen Prozessen versucht, eine allgemeine Beschreibung zu definieren, die weder den höchsten, noch den niedrigsten Reifegrad für sich beansprucht. Es wird demnach nicht ein Grundsatz der Vollständigkeit verfolgt, sondern die Maßregel, einen Referenzprozess zu definieren, der je nach Reifegrad der Instandhaltung noch angepasst werden kann.

### **3.8.2 Zielmodell**

Das entwickelte Zielmodell entspricht den Funktionszielen des Funktionsmodells und sollte dementsprechend einer kritischen Prüfung unterzogen werden, ob die genannten Ziele sich den generischen Zielen des Instandhaltungsmanagements zuordnen lassen.<sup>372</sup> Ausgehend von der Gewinnmaximierung lassen sich mehrere Zielebenen in Form eines Zielbaums konstruieren<sup>373</sup>. Auf Zielebene 1 ist die Gewinnmaximierung, die sich in die Optimierung der Instandhaltungskosten und die Optimierung der Anlagenverfügbarkeit gliedert (Ebene 2). Auf Zielebene 3 werden die Instandhaltungskosten in direkte und indirekte unterteilt. Die Anlagenverfügbarkeit besteht aus der Optimierung der Zuverlässigkeit und der Optimierung der Ausfallszeit. Auf der letzten vorgegebenen Zielebene 4 wird für die Optimierung der direkten Instandhaltungskosten die Identifizierung des Ressourcenverbrauchs und die Identifizierung der Instandhaltungskosten als notwendig gesehen. Für die Erreichung der Optimierung der indirekten Instandhaltungskosten müssen die Ausfallkosten bestimmt und wiederkehrende Fehler minimiert werden. Die Reduzierung der wiederkehrenden Fehler und die Optimierung der korrektiven Instandhaltung unterstützt außerdem die

---

<sup>372</sup> Siehe Abschnitt 2.7.1 Zielsetzung der Instandhaltung

<sup>373</sup> Vgl. Matyas, K. (1999), S. 51ff

Optimierung der Ausfallszeit. Mit der präventiven Instandhaltung wird vor allem die Ausfallwahrscheinlichkeit reduziert und damit die Zuverlässigkeit optimiert. Das Ergebnis der Zuordnung<sup>374</sup> zeigt deutlich, dass die Ziele der Instandhaltung mit dem vorliegenden Modell angesprochen werden.

### 3.8.3 Datenmodell

Der Wunsch einen Digitalen Schatten und in weiterer Folge einen Digitalen Zwilling des Instandhaltungsmanagements zu erstellen besteht in der Literatur vor allem seit der Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien<sup>375</sup>. Die Modellierung des Daten- oder Informationsflusses geschieht dabei in vielen Fällen aus einer technischen Perspektive. Die resultierenden Darstellungen der Entitäten und deren Beziehungen untereinander erfüllen demzufolge vor allem technische Zwecke. Die ersten Versuche der Datenmodellierung des Informationssystems der Instandhaltung sind entweder Insellösungen<sup>376</sup> oder beziehen sich auf das Gebäude- oder Straßeninstandhaltungsmanagement<sup>377</sup>. In vielen Fällen wird das Auftragswesen in das Zentrum der Betrachtung gestellt<sup>378</sup>. Eine umfassendere Sichtweise wird von CAMPOS ET AL aufgezeigt, die in der Unified Modeling Language (UML) ein neues Instandhaltungsmanagementmodell vorstellen, das an der ISO 9001:2008 ausgerichtet wird. Dabei werden die Architektur, ein Zielbaumdiagramm sowie ein Ablaufdiagramm eines Instandhaltungsauftrags gezeichnet. Die Geschäftsprozesse der Instandhaltung werden in Planung (Unterscheidung in kurzfristig, mittelfristig und langfristig), Unterstützungsprozesse, Kontrolle und Entwicklung und IH-Durchführung zusammengefasst.<sup>379</sup> Die Weiterentwicklung wird im Folgejahr postuliert, indem das Instandhaltungsmodell nach den Gestaltungsprinzipien der PAS-55-Standards<sup>380</sup> erstellt wird. Abbildung 74 zeigt das konzeptionelle Datenmodell, in dem zwischen dem operativen, taktischen und strategischen Level unterschieden wird, und eine grobe Zuordnung von Attributen zu Datenklassen vollzogen wird.<sup>381</sup> Weitere Datenmodelle bringen keine wesentlichen neuen konzeptuellen Weiterentwicklungen, zeigen jedoch teilweise neue Aspekte und Erkenntnisse, wie die Unterscheidung von statischen und dynamischen Daten<sup>382</sup>, die Einbettung von Informationen in neue Technologien wie Mixed Reality<sup>383</sup> oder eine kombinatorische Perspektive aus Aktivitätendiagrammen<sup>384</sup>, Sequenzdiagrammen und Klassendiagrammen, in denen auch der Mensch in die Gestaltung des Informationssystems miteinbezogen wird<sup>385</sup>.

---

<sup>374</sup> Siehe Anhang

<sup>375</sup> MIMOSA OSA-CBM ist beispielsweise eine Standardarchitektur für den Informationsfluss in einem zustandsbasierten Instandhaltungssystem. Vgl. [mimosa.org/mimosa-osa-cbm](http://mimosa.org/mimosa-osa-cbm)

<sup>376</sup> Vgl. Hokanen, T. (2004)

<sup>377</sup> Vgl. Abudayyeh, O. et al. (2005), S. 540ff

<sup>378</sup> Vgl. Harland, T. (2019)

<sup>379</sup> Vgl. Campos, M.A.L. et al. (2010), S. 501ff

<sup>380</sup> Siehe Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008a); (b)

<sup>381</sup> Vgl. Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011), S. 815

<sup>382</sup> Vgl. Koukias, A. et al. (2013), S. 53

<sup>383</sup> Vgl. Espíndola, D.B. et al. (2013), S. 382

<sup>384</sup> Aktivitätendiagramme dienen der Modellierung dynamischer Aspekte von Systemen und sind Teil der UML vgl. Booch, G. et al. (1999), S. 216ff

<sup>385</sup> Vgl. Oktavia, T.; Wongso, A. (2015), S. 106

Das erstellte Datenmodell liefert Erkenntnisse vor allem durch den hohen Detailgrad des betrachteten Systems. Die Unterteilung in teilweise drei Prozessebenen stellt sicher, dass nicht nur die vordergründigen Daten miteinbezogen werden, sondern auch nebensächliche Aspekte inkludiert werden. In Abbildung 74 ist beispielsweise das Auftragswesen mit verschiedenen Attributen dargestellt. Datum, Beschreibung, ID und weitere Daten werden als notwendig erachtet. Eine Zuordnung zu den Geschäftsprozessen oder Zielen lässt sich jedoch nicht formulieren, die Validierung der Notwendigkeit genau dieser 8 Attribute lässt sich damit nur über die Anwendung finden.

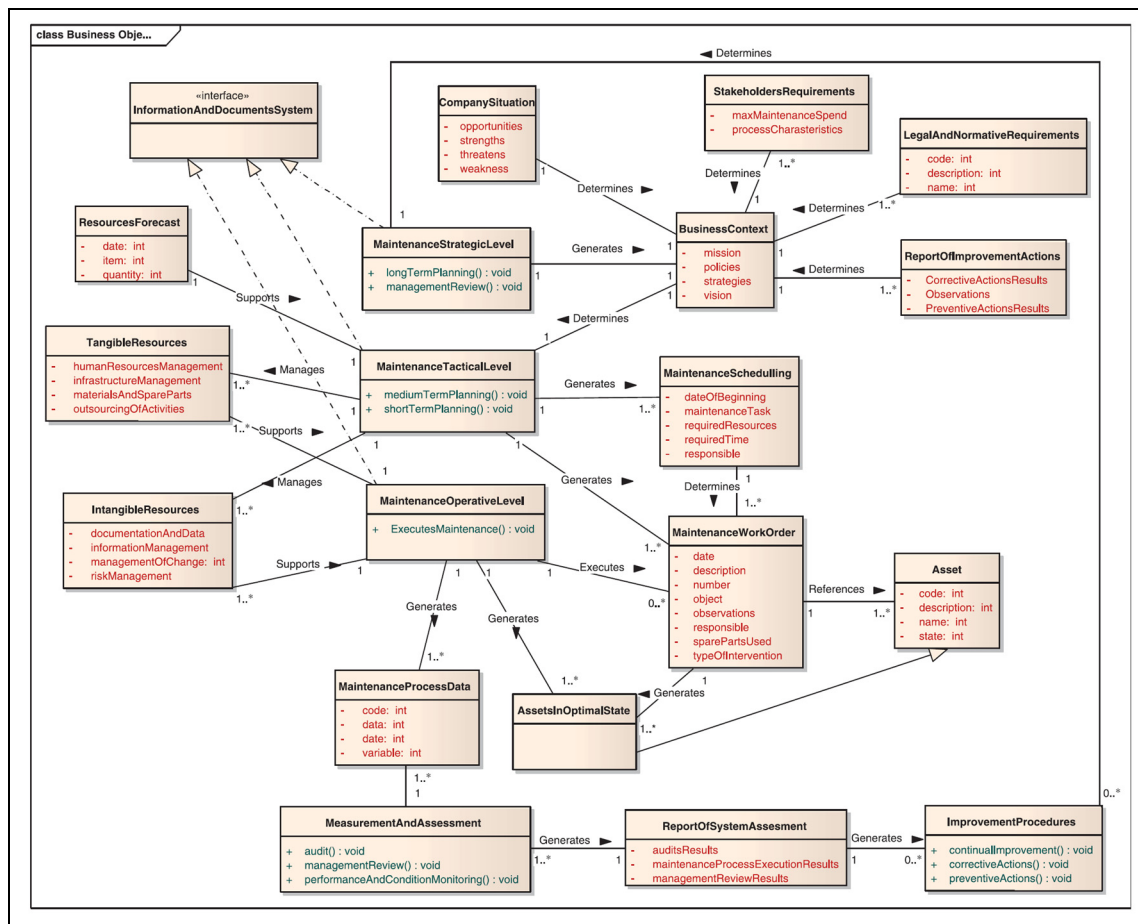


Abbildung 74: Konzeptionelles Modell der Klassen und Objekte des Instandhaltungsmanagements<sup>386</sup>

Das Datenmodell erhebt den Anspruch, eine Referenz für zukünftige Weiterentwicklungen darzustellen, weil es einerseits semantische Tiefe durch die inhaltliche Ausarbeitung hat<sup>387</sup>, und andererseits einen syntaktischen Rahmen<sup>388</sup> bietet. Durch die Kombination können die Erkenntnisse im Rahmen einer Neu- oder Weiterentwicklung eines Informationssystems eingesetzt werden, um bestehende Systeme zu bewerten. Eine einfache Überprüfung des Vorhandenseins der einzelnen Attribute der Entitätsklassen führt zu einem Ist-Datenmodell des zu bewertenden Informationssystems, das im gleichen Zug mögliche Handlungsfelder aufzeigt. Die

<sup>386</sup> Quelle: Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011), S. 815

<sup>387</sup> Vgl. Abbildung 69-72

<sup>388</sup> Vgl. Abbildung 73

vorgestellte Struktur lässt sich außerdem simpel mit den gängigen Modellierungssprachen (ERD) erweitern bzw. um Attribute anpassen. Es ist nochmals zu erwähnen, dass das Gesamtmodell nicht den Digitalen Zwilling der Instandhaltung repräsentiert, sondern vielmehr durch die fundierte Struktur und inhaltlichen Ausprägungen die Verwendung und Weiterentwicklung fördern soll.

### **3.8.4 Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung<sup>389</sup>**

#### **Grundsatz der Richtigkeit**

Die syntaktische Richtigkeit liegt dann vor, wenn das Modell nach den vorherrschenden Regeln der Modellierungssprache erstellt wird. Das Metamodell (als Vorgehensmodell) des konstruierten Referenzmodells ist das ARIS-Konzept<sup>390</sup>. Die in dem Grundwerk beschriebenen Gestaltungsregeln der jeweiligen Modellierungssprachen (EPK / ERD) wurden bei der Modellierung für alle eingesetzten Methoden<sup>391</sup> berücksichtigt.

#### **Grundsatz der Relevanz**

Nach dem Grundsatz der Relevanz sollen nur Aspekte modelliert werden, die für den zugrundeliegenden Modellierungszweck relevant sind. Die erste Abgrenzung des Modells erfolgte durch den gewählten systemorientierten Ansatz, in dem die Unerheblichkeit der Personalführung sowie der Aufbauorganisation eines Unternehmens für das Modell bestimmt wurde. Das Hauptziel des Referenzmodells ist die strukturelle Darstellung des Digitalen Schattens des Instandhaltungsmanagements mit dem Fokus ein Netzwerk von Zielen über Funktionen zu Daten zu entwerfen. Die Auswahl der Prozessmodule entstammt einer Literaturrecherche, in der die wichtigsten ganzheitlichen Ansätze Betrachtung fanden. In Abbildung 15 ist deutlich erkennbar, dass eine grundsätzliche Ordnung des Instandhaltungsmanagements existiert. Damit ist die inhaltliche Relevanz der ausgewählten Geschäftsprozesse gewährleistet.

#### **Grundsatz der Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit beschäftigt sich mit der Frage, ob das Modell im Detailgrad bereits zu fortgeschritten oder zu oberflächlich ist<sup>392</sup>. Beide Szenarien schränken den Nutzen des Modells stark ein und sollten vermieden werden. Um die Effizienz des Modells während der Erstellung zu gewährleisten, wurde ein iteratives Vorgehen implementiert, in dem der Detailgrad der Funktionen so lange erhöht wurde, bis eine Detailstufe erreicht wurde, in der die Identifizierung der relevanten Daten möglich war. Eine weitere Analyse der Prozesse, Daten und Ziele hätte den Detailgrad zwar erhöht, jedoch keinen weiteren Mehrwert für das Modell ergeben. Die Prüfung erfolgt letztendlich in den Teilkapiteln der Arbeit.

---

<sup>389</sup> Siehe Abschnitt 2.3.4 GoM

<sup>390</sup> Siehe Scheer, A.-W. (1999a)

<sup>391</sup> Siehe Abschnitt 2.4 Techniken in der Referenzinformationsmodellierung

<sup>392</sup> Vgl. Becker, J. et al. (2012), S. 31f

### **Grundsatz der Klarheit**

Der Grundsatz der Klarheit des Modells lässt sich über die entworfene Architektur des Gesamtmodells verfolgen. Ein klares Modell ist in der Lage, die relevanten Sachverhalte zu beleuchten und einen Fokus auf Lesbarkeit, Anschaulichkeit und Verständlichkeit zu setzen. Im Vordergrund stehen Diagramme, die den Zweck der jeweiligen Sichtweise verfolgen und auf Nebensächlichkeiten verzichten. Basierend auf der Systemtheorie wurden aus diesem Grund die Modellierungsmethoden ausgewählt, mit denen sich die skizzierten Systeme am besten darstellen lassen.

### **Grundsatz der Vergleichbarkeit**

Der Grundsatz der Vergleichbarkeit lässt sich wie der Grundsatz der Richtigkeit in eine syntaktische und eine semantische Komponente unterteilen, wobei beide Komponenten durch die Architektur, die Methodenauswahl sowie das Vorgehen bei der Prozessmodulauswahl gegeben sind. Prozesse, die in der realen Welt gleich sind, sollten auch im Modell gleich sein. Mit dieser Maßnahme wird sichergestellt, dass Prozesse, die im Realen identisch sind, auch im Virtuellen gleich sind und damit vergleichbar bleiben. Der zweite Aspekt, die Vergleichbarkeit gegenüber Modellen anderer Modellierungssprache zu gewährleisten, ist erfüllt, weil sich ARIS einfach (und das wurde mit der Modellierung der Prozessmodule in IDEF0 gezeigt<sup>393</sup>) in andere Sprachen überführen lässt. Die Vergleichbarkeit ist zusätzlich gewährleistet, da jedes Modell über die Systemtheorie entwickelt wurde. Beispielsweise ist es unerheblich, ob das Datenmodell als UML-Klassendiagramm oder, wie in dieser Arbeit, als ERD erstellt wird. Die Darstellung zeigt ein System mit Systemelementen, Beziehungen untereinander und der daraus ableitbaren Struktur – es ist daher unerheblich, welche Modellierungssprache eingesetzt wird.

### **Grundsatz des systematischen Aufbaus**

Die Voraussetzungen für die Erfüllung des Grundsatzes des systematischen Aufbaus des Gesamtmodells decken sich stark mit den in diesem Modell definierten Anforderungen. Nur über einen systematischen Aufbau lässt sich die wissenschaftliche Zielsetzung dieser Arbeit überhaupt erfüllen. Es wurden daher alle Elemente der unterschiedlichen Sichtweisen, Ebenen und Modelle einheitlich benannt und in den Analysen modellübergreifend ausgewertet.

---

<sup>393</sup> Siehe Abschnitt 2.4.4 IDEF0-Modell

## 4 Anwendung des Referenzmodells nach dem Gegenstrom-Prinzip

Die Validierung der Referenzmodellierung kann als erfüllt angesehen werden, wenn sich das Modell benutzen lässt, um spezifische Aufgabenstellungen aus der Praxis zu unterstützen. Der Zielsetzung nach besteht das Hauptziel der Arbeit in der Entwicklung einer Referenz für das Informationssystem des Instandhaltungsmanagements<sup>394</sup>. Die grundsätzliche Funktion des Modells ist die Erstellung einer Basis mit Empfehlungscharakter für Informationssysteme der Instandhaltung. Ausgehend von diesem Bezugspunkt<sup>395</sup> kann das Modell in den bestimmten Strukturen und Hierarchien weiterentwickelt werden. Der größte Nutzen entsteht für die Anwender durch die klaren Systemgrenzen und Regeln, die für die Weiterentwicklung gelten. Nach SCHÖNSLEBEN zeigt die Realität, dass das gewünschte, einzige und allgemein gültige Modell für ein Informationssystem eines Unternehmens nicht gefunden werden kann. Das entspricht der Komplexität solcher sozio-technischer Systeme. Hingegen bestehen immer mehr Chancen, ein gemeinsames Framework, d.h. einen passenden Rahmen zu finden, in welchen die verschiedenen Denkmodelle eingeordnet werden können.<sup>396</sup> Der formulierten Ansicht nach, besteht ein großer Mehrwert in der Generierung eines passenden Rahmens für das Informationssystem Instandhaltung. Die Validierung dieses Frameworks wird nach dem Gegenstrom-Prinzip durchgeführt. Im Top-Down Ansatz werden drei Modelle erstellt, wobei das jeweilige Ziel die Erstellung von Datenmodellen ist. Nach dem Bottom-Up Ansatz wird das Informationssystem eines Softwareherstellers untersucht, um ausgehend von dem Referenzmodell die vollziehbaren Funktionen und damit die erreichbaren Ziele zu definieren.

- Top-Down Ansatz (Soll-Modelle)
  - Entwicklung des Datenmodells basierend auf Funktionen zur ausfallbezogenen Instandhaltung
  - Entwicklung des Datenmodells basierend auf Funktionen zur präventiven Instandhaltung
  - Entwicklung des Datenmodells basierend auf der TPM-Philosophie
- Bottom-Up Ansatz (Ist-Modell)
  - Entwicklung des Funktions- und Zielmodells basierend auf Daten eines Softwareherstellers

### 4.1 Anwendung des Referenzmodells als Soll-Modell

In der Regel enthalten Referenzmodelle Soll-Aussagen bezüglich eines eingegrenzten Sachverhalts<sup>397</sup>. Diese Funktion soll im folgenden Abschnitt anhand von drei

---

<sup>394</sup> Siehe Abschnitt 1.2 Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsfragen

<sup>395</sup> Siehe Abschnitt 2.3.3 Referenzmodelle

<sup>396</sup> Schönsleben, P. (2001), S. 136

<sup>397</sup> Vgl. Becker, J. et al. (2004), S. 1



Instandhaltungsphilosophien Anwendung finden und bei der Entwicklung des jeweiligen Informationssystems unterstützen. In Abbildung 75 ist eine vereinfachte Version der IH-Pyramide<sup>398</sup> gezeichnet, in der zusätzlich die Ausprägungsstufen der Managementfunktionen evaluiert wurden. Zu jedem Modell wird eine Tabelle gezeichnet, in der die Ausprägungen aufgelistet werden, und die Auswirkungen auf das Informationssystem beschrieben werden.

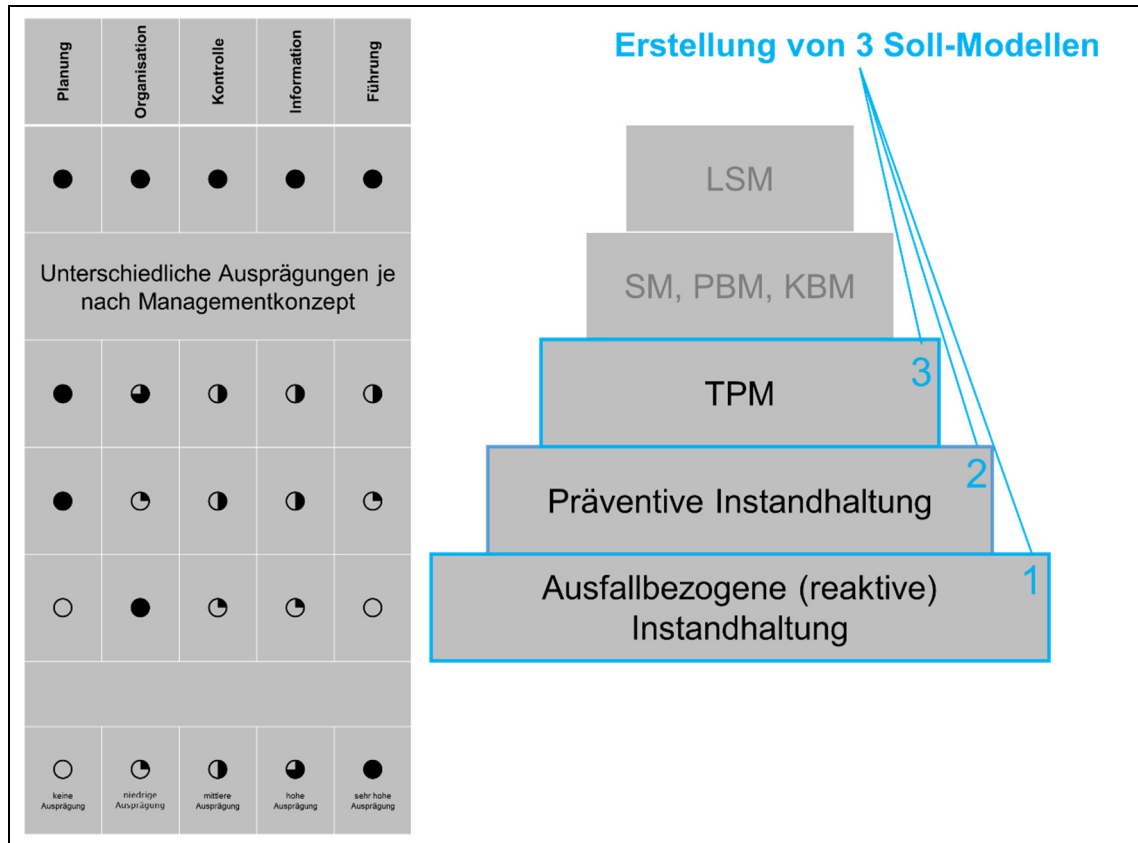


Abbildung 75: Anwendung des Referenzmodells auf drei Managementkonzepte<sup>399</sup>

#### 4.1.1 Soll-Modell der ausfallbezogenen (reaktiven) Instandhaltung<sup>400</sup>

Auf der ersten Entwicklungsstufe der Instandhaltungsphilosophien befindet sich die ausfallbezogene (reaktive) Instandhaltung. Die auszuführende Strategie stellt den Ausfall des betrachteten Systemelements in den Vordergrund und reagiert auf den Störfall. Auslöser ist der vollständige Verbrauch des Abnutzungsvorrats und ein daraus resultierender Funktionsverlust. Die Charakteristiken sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Es wird keine Planung der IH-Tätigkeiten vorgenommen. Die Organisation konzentriert sich auf die durchzuführende Instandsetzung und das darauf bezogene Auftragswesen.

<sup>398</sup> Siehe Abbildung 13

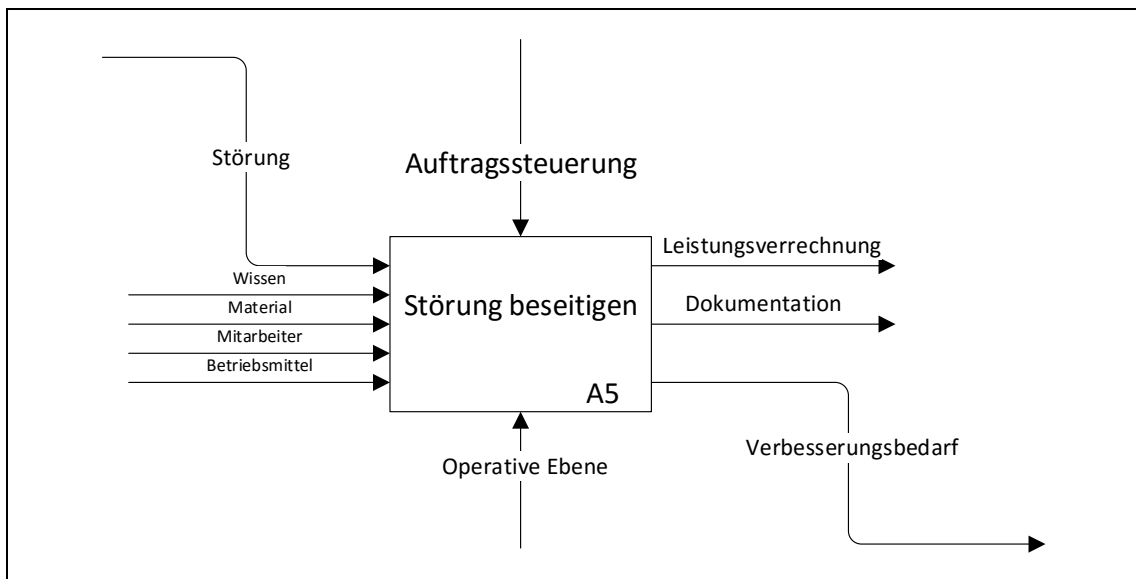
<sup>399</sup> Quelle: In Anlehnung an Kinz, A. (2017), S. 90 in Anlehnung an Biedermann, H. (2016), S. 27

<sup>400</sup> Siehe Abschnitt 2.8.1 Ausfallorientierte Instandhaltung

**Tabelle 13: Eigenschaften, Ausprägungen und Auswirkungen der ausfallbedingten Instandhaltung**

Eigenschaft	Ausprägung	Auswirkungen auf das Informationssystem
Planung	Keine Planung	keine Strategieplanung keine IH-Programmplanung keine Schwachstellenanalyse
Organisation	Fokus Ablauforganisation	Fokus Instandsetzung durchführen und Auftragswesen
Kontrolle	IH-Kostenkontrolle	Fokus Leistungsverrechnung
Information	Auftragsinformationen	Fokus Auftragswesen

Die Inhalte des Soll-Modells der ausfallorientierten Instandhaltung werden in Abbildung 76 gezeigt. Es gilt mit den vorhandenen Ressourcen eine Störung möglichst schnell zu beseitigen. Die Auftragssteuerung überwacht den Prozess und stellt sicher, dass eine adäquate Leistungsverrechnung sowie Auftragsdokumentation stattfindet. Die Funktion wird ausschließlich von der operativen Ebene durchgeführt. In seltenen Fällen wird ein Verbesserungsbedarf entdeckt.



**Abbildung 76: Inhalte des Soll-Modells der ausfallorientierten Instandhaltung<sup>401</sup>**

### Funktionsmodell der reaktiven Instandhaltung

Das Referenzmodell besitzt den Anspruch über Ziele, Funktionen oder Daten zu den jeweils anderen Perspektiven zu gelangen. Wobei die Soll-Modelle immer Top-Down erstellt werden müssen. Im Fall der reaktiven Instandhaltung stehen die Funktionen im Vordergrund und werden in Abhängigkeit von den Anforderungen ausgewählt. Folgende Funktionen werden von der reaktiven Instandhaltungsphilosophie benötigt:

<sup>401</sup> Eigene Darstellung, siehe Abschnitt 3.4.1 Eingrenzung des Modellinhalts

- 7\_Auftragssteuerung<sup>402</sup>
- 8\_3\_Instandsetzung durchführen<sup>403</sup>

### Steuerungsmodelle der reaktiven Instandhaltung

Nachdem die Funktionen ausgewählt sind, lassen sich die zwei weiteren Perspektiven modellieren. Ausgehend von den definierten Funktionen müssen im nächsten Schritt die Steuerungsmodelle herangezogen werden.<sup>404</sup> In Abbildung 77 ist die Hauptfunktion der ausfallorientierten Instandhaltung, die Instandsetzung durchzuführen, dargestellt.

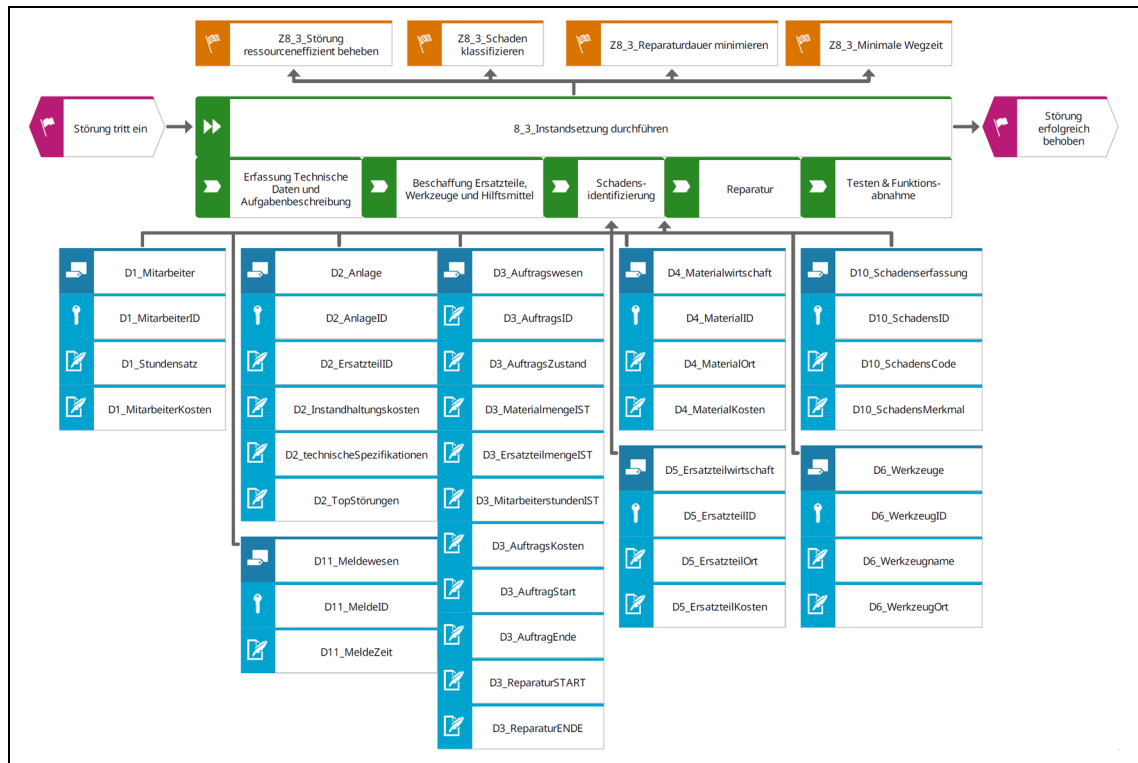


Abbildung 77: Steuerungsmodell der Instandsetzung<sup>405</sup>

### Zielmodell der reaktiven Instandhaltung

Die erfüllbaren Ziele der reaktiven Instandhaltung sind von den durchzuführenden Funktionen abhängig und ergeben das in Abbildung 78 gezeigte Zielmodell. Mit der ausfallbedingten Instandhaltung lassen sich nur 9 der 50 möglichen Ziele erzielen. Es gilt die Verbräuche und Schäden zu erfassen und die Reparaturdauer zu minimieren. Strategische Ziele werden vollständig ausgelassen.

<sup>402</sup> Siehe Abschnitt 3.4.2 Funktionsmodellierung der operativen Instandhaltungsprozesse

<sup>403</sup> Siehe Abschnitt 3.4.2 Funktionsmodellierung der operativen Instandhaltungsprozesse

<sup>404</sup> Hinweis: die Steuerungssicht wird in diesem Abschnitt nur auszugsweise gezeigt, die ausgeblendeten Diagramme können über die Funktions\_ID in Abschnitt 3.6 gefunden werden

<sup>405</sup> Eigene Darstellung, siehe Abschnitt 3.6.1



Abbildung 78: Zielmodell der reaktiven Instandhaltung<sup>406</sup>

### Datenmodell der reaktiven Instandhaltung

Das Datenmodell der reaktiven Instandhaltung ist nach der geringen Anzahl der durchzuführenden Funktionen und erreichbaren Ziele ebenfalls stark reduziert. Abbildung 79 zeigt die ausgewählten Entitäten und zugehörigen Attribute. Auf eine Systemdarstellung der Beziehungen wird verzichtet, da sie der Darstellung in Abbildung 73 entspricht. Das Entity-Relationship-Diagramm ist demnach die Kombination aus Attributen (Abbildung 79) mit Entitätsklassen (Abbildung 73).

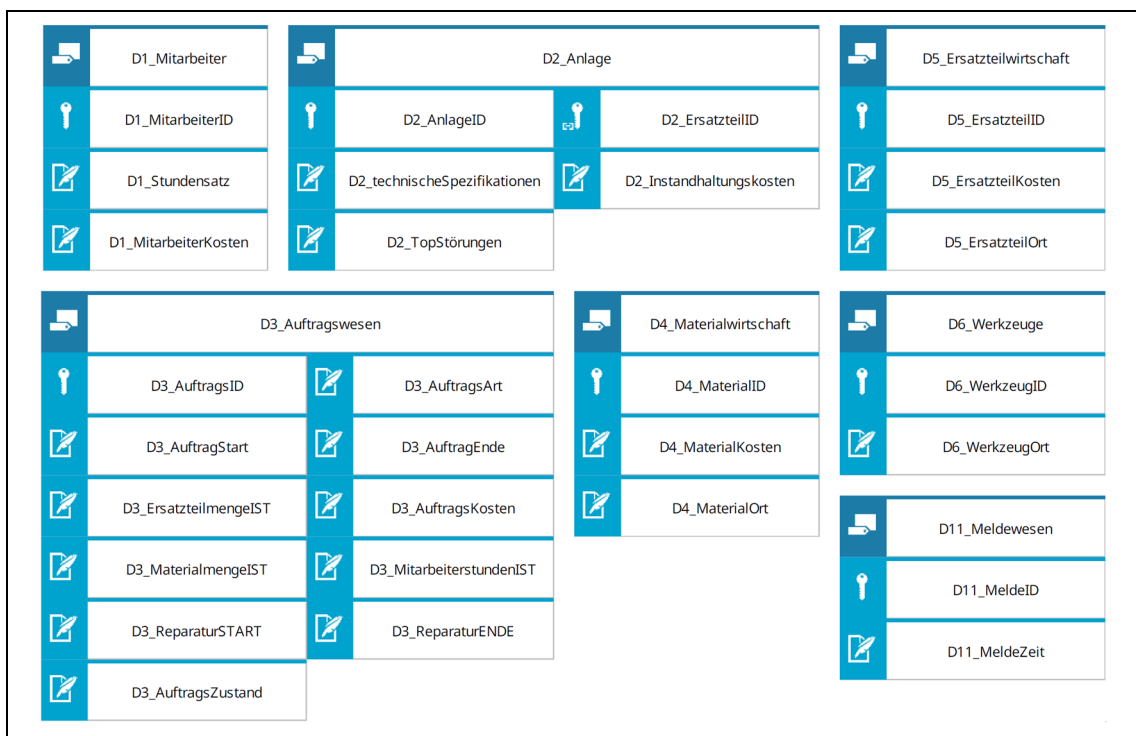


Abbildung 79: Ausgewählte Attribute für das Datenmodell der ausfallorientierten Instandhaltung<sup>407</sup>

<sup>406</sup> Eigene Darstellung

<sup>407</sup> Eigene Darstellung

#### 4.1.2 Soll-Modell der präventiven Instandhaltung<sup>408</sup>

Die zweite Entwicklungsstufe der Instandhaltungsmanagementkonzepte wiederfährt mit dem verstärkten Einsatz von planenden Tätigkeiten eine starke Veränderung. Die Instandhaltungstätigkeiten reduzieren sich nicht nur auf den operativen Regelkreis, sondern enthalten auch Analysen, die für die Entscheidungsfindung benötigt werden. Beispielsweise müssen in der IH-Programmplanung die Herstellerangaben mit den Erfahrungswerten optimiert werden. Es gilt außerdem die Zufallskomponente der Störungen aus historischen Daten grob zu modellieren und anhand der Erkenntnisse eine Ressourcengroßplanung durchzuführen. Mit der Prävention wird auch das Interesse an der Reduktion von wiederkehrenden Störungen angestoßen, wobei erst mit der Einführung eines umfassenden Managementkonzepts, wie TPM oder LSM, hier ein systematischer Prozess eingeführt werden kann (siehe Abbildung 80).

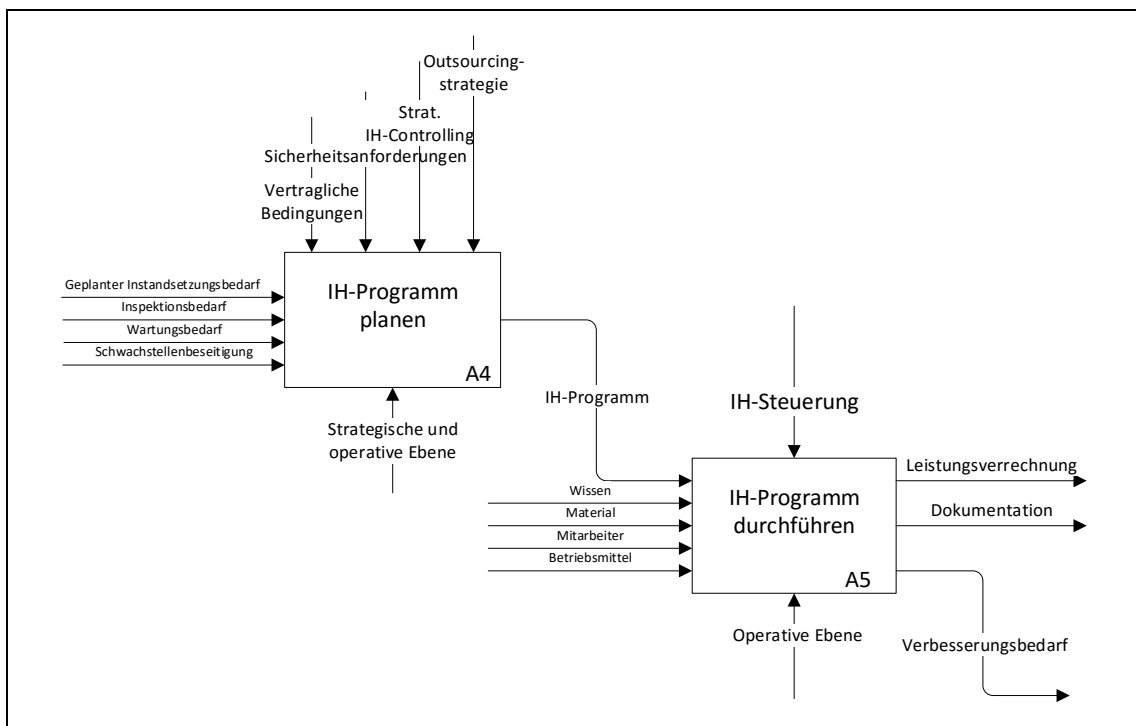


Abbildung 80: Inhalte des Soll-Modells der präventiven Instandhaltung<sup>409</sup>

Der Fokus der präventiven Instandhaltung liegt in der Planung (siehe Tabelle 14). Eine umfassende, mittel- bis langfristige Planung findet jedoch noch nicht statt. Der Umfang der Tätigkeiten wird primär auf das präsenste oder anstehende Geschäftsjahr bezogen. Die Ermittlung des IH-Programms ist der wesentliche Output, wobei keine Schwachstellenanalysen oder Kritikalitätsbetrachtungen miteinbezogen werden. In der Organisation liegt der Fokus auf der Wartung und Inspektion. Die Kontrolle erfasst kaum Kennzahlen und versucht lediglich, den Planungsgrad zu erhöhen und wie die reaktive Instandhaltung, kostenorientiert zu arbeiten. Das Informationssystem, wie im Datenmodell ersichtlich, stellt das Auftragswesen dar.

<sup>408</sup> Siehe Abschnitt 2.8.2 Präventive Instandhaltung

<sup>409</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987b)

**Tabelle 14: Eigenschaften, Ausprägungen und Auswirkungen der präventiven Instandhaltung**

<b>Eigenschaft</b>	<b>Ausprägung</b>	<b>Auswirkungen auf das Informationssystem</b>
Planung	Fokus Planung	kaum Strategieplanung Fokus IH-Programmplanung keine Schwachstellenanalyse keine Kritikalitätsanalyse
Organisation	Wichtiger Aspekt	Fokus Wartung und Inspektion
Kontrolle	Planungsgrad, Kostenkontrolle, Ansätze von Effizienzsteigerungen	Fokus Entscheidungsunterstützung für planende Tätigkeiten
Information	Auftragsinformationen und teilweise Analysen	Fokus Auftragswesen

### **Funktionsmodell der präventiven Instandhaltung**

Die präventive Instandhaltung besitzt eine besondere Stellung im Instandhaltungsmanagement, da die Einführung von planenden Tätigkeiten einen erheblichen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit jedes Unternehmens hat<sup>410</sup>. Nach WIREMAN bildet sie den ersten Schritt in der Entwicklung eines Unternehmens zu dem Prädikat Best Practice<sup>411</sup>. Folgende Inhalte des Funktionsmodells müssen in der präventiven Instandhaltung getätigt werden<sup>412</sup>:

- 4\_IH-Programmplanung (ohne prädiktive Instandhaltung)
- 6\_IH-Durchführungsplanung
- 7\_Auftragssteuerung
- 8\_IH-Durchführung (ohne Schwachstellenanalyse)

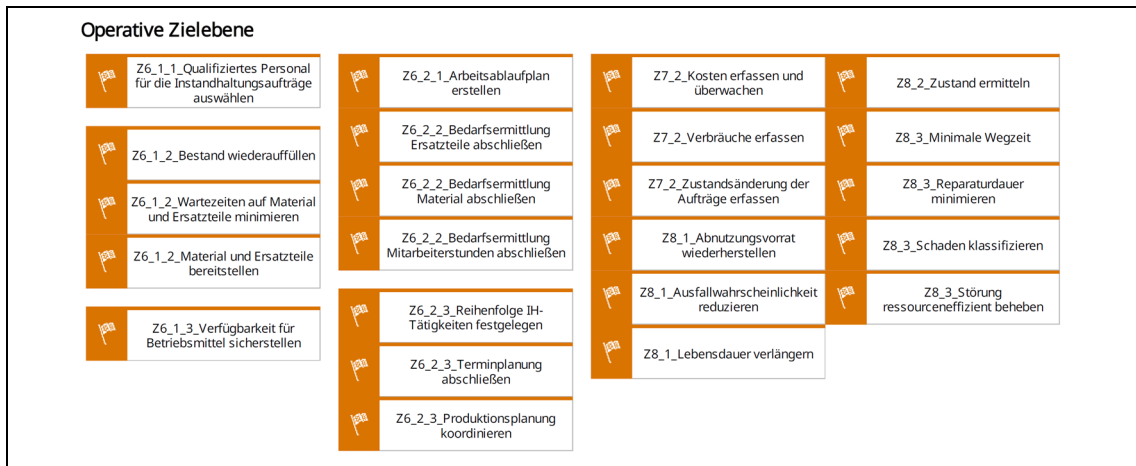
### **Zielmodell der präventiven Instandhaltung**

Ausgehend von den bestimmten Funktionen ergibt sich das Zielmodell. Übereinstimmend zu dem operativen Fokus der präventiven Instandhaltung besteht ein Großteil der Ziele in der Optimierung von Ausfallszeit und der Zuverlässigkeit. Im Unterschied zu der rein reaktiven Instandhaltung lässt sich mit der präventiven Instandhaltung eine Reduktion der Ausfallwahrscheinlichkeit erreichen. Das Zielmodell der reaktiven Instandhaltung enthält 9 spezifische Ziele, mit dem Managementkonzept der präventiven Instandhaltung lassen sich 27 spezifische Ziele erreichen. In Abbildung 81 wird die operative Zielebene dargestellt, in der sich 23 der 27 erreichbaren Ziele befinden.

<sup>410</sup> Vgl. Biedermann, H. (2008a), S. 30ff

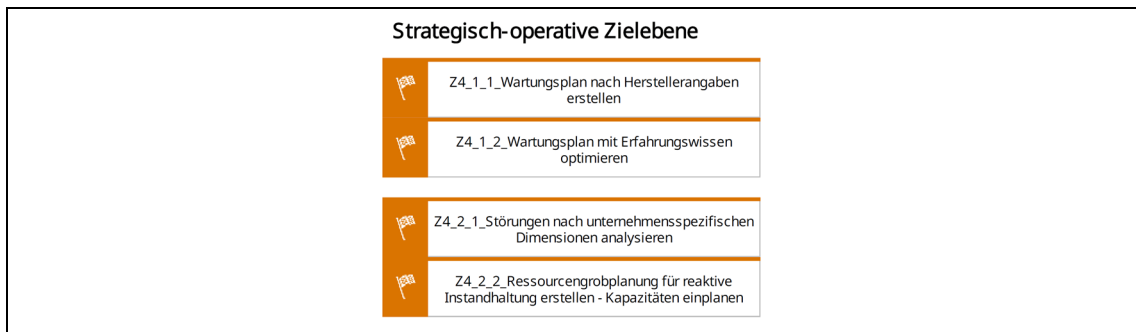
<sup>411</sup> Vgl. Wireman, T. (2004), S. 39

<sup>412</sup> Die genauen Inhalte sind in Abschnitt 3.4.3 gegeben.



**Abbildung 81: Operative Zielebene der präventiven IH<sup>413</sup>**

Die strategisch-operative Zielebene der präventiven Instandhaltung ist in Abbildung 82 abgebildet. Die Ziele werden der IH-Programmplanung zugeordnet. Ziele der Strategieplanung können keine erreicht werden, ebenso können keine Schwachstellen im IH-System aufgedeckt werden.



**Abbildung 82: Strategisch-operative Zielebene der präventiven IH<sup>414</sup>**

### Datenmodell der präventiven Instandhaltung

Im Datenmodell der präventiven Instandhaltung werden neben Attributen, die zur vollständigen Leistungsverrechnung und Dokumentation notwendig sind (Ist-Werte des Ressourcenverbrauchs, Beginn Zeiten sowie Kostensätze) auch für die Planung relevante Daten benötigt (beispielsweise der Ort der Ressourcen, oder Planwerte, die durch die IH-Durchführungsplanung ermittelt werden). Es besteht daher dringender Handlungsbedarf in der Etablierung von Risikobetrachtungen, auch in Managementkonzepten, die hauptsächlich im operativen Regelkreis befindlich sind.

<sup>413</sup> Eigene Darstellung

<sup>414</sup> Eigene Darstellung

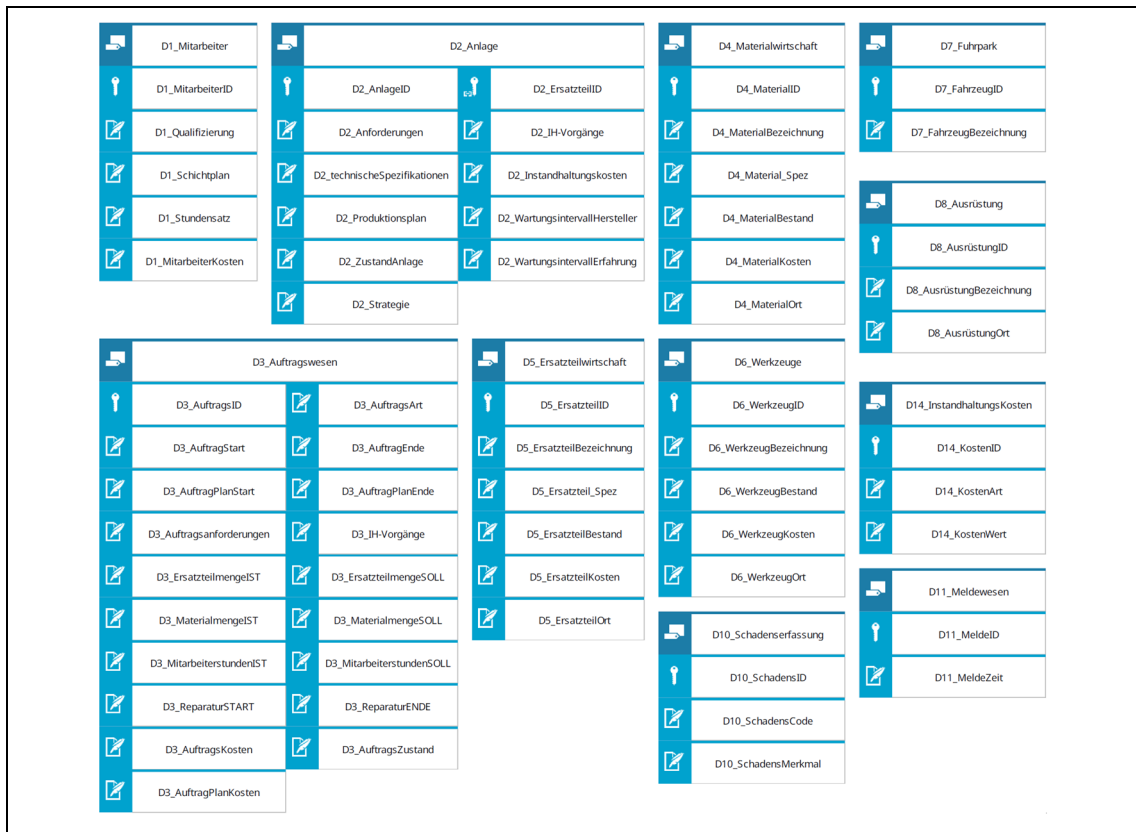


Abbildung 83: Datenmodell der präventiven Instandhaltung<sup>415</sup>

### 4.1.3 Soll-Modell der Total Productive Maintenance

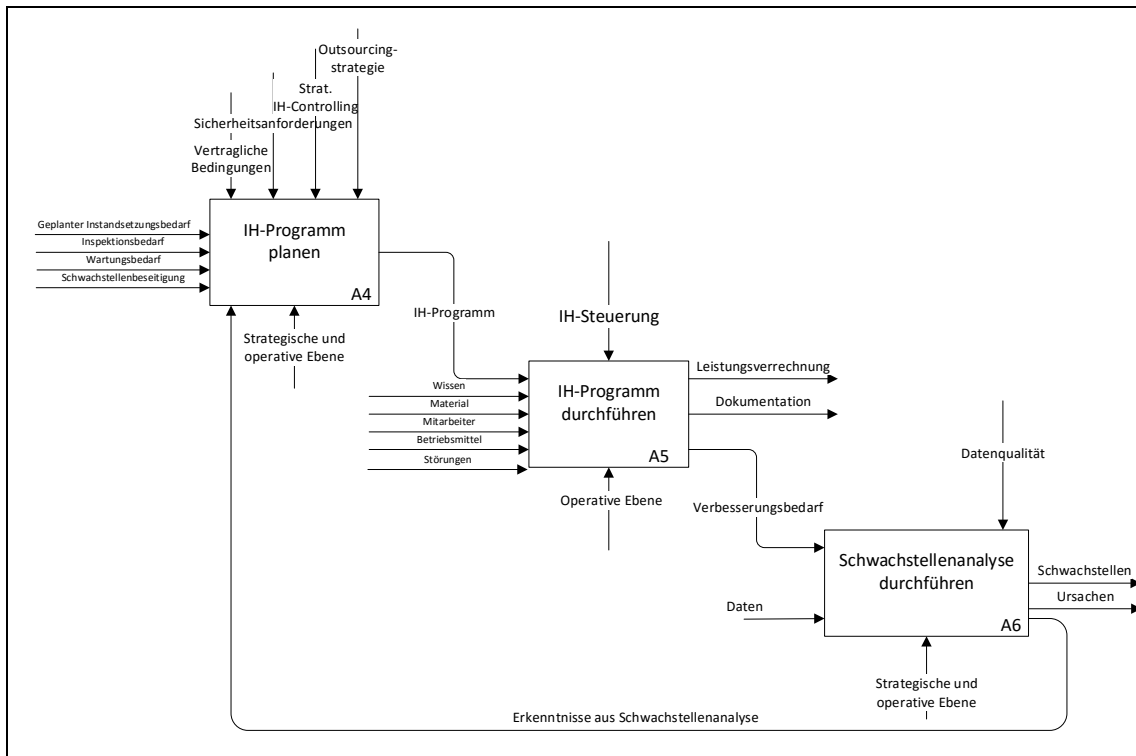
Das Konzept der reaktiven und präventiven Instandhaltung lässt sich idealerweise aus den Funktionen ableiten, da die Prozesse und die damit verbundene Organisation im Mittelpunkt stehen (siehe Tabelle 15). Die Total Productive Maintenance besteht im Gegensatz zu den zwei modellierten Konzepten aus mehreren Themenfeldern, die den Ansprüchen eines umfassenden Managementsystems genügen (siehe Abbildung 84). Das Zielsystem - in der reaktiven Instandhaltung kaum oder gar nicht vorhanden - ist in der TPM ausgereifter<sup>416</sup> ausgebildet. Ausgehend von den Funktionen werden die anderen Perspektiven bestimmt und mit der Steuerungssicht wieder die Daten und das entsprechende Datenmodell abgeleitet. Anzumerken ist, dass das Referenzmodell den Anspruch hat, aus Funktionen des Managementkonzepts ein Datenmodell zu erstellen. Es kann jedoch nicht jeden Teilaspekt der vielseitigen Varianten der Managementkonzepts<sup>417</sup> aufnehmen und dient mehr als eine Grundstruktur, mit der sich grundlegende Datenmodelle erschaffen lassen, die dann noch optimiert werden müssen.

<sup>415</sup> Eigene Darstellung

<sup>416</sup> Siehe Abschnitt 2.7 Instandhaltungsmanagement, insbesondere die Zielaufstellung

<sup>417</sup> Siehe Biedermann, H. (2011) – insbesondere die Darstellung der Entwicklung des Instandhaltungs- und Anlagenmanagements





**Abbildung 84: Inhalte des Soll-Modells der Total Productive Maintenance<sup>418</sup>**

Die Durchführung von präventiven IH-Tätigkeiten gilt als eine der Säulen von TPM<sup>419</sup>. Die Planung des IH-Programms besitzt eine ähnliche Ausprägungsstufe wie bei der präventiven Instandhaltung. Zusätzlich entsteht, unter anderem durch das Konzept der kontinuierlichen Verbesserung, eine Vergrößerung des zu betrachtenden Zeithorizonts. Es werden dadurch vermehrt Ansätze der Strategieplanung relevant und die Schwachstellenanalyse wird teilweise durchgeführt. Aus diesem Grund wird nach der Durchführung von IH-Tätigkeiten die Schwachstellenanalyse eingeleitet. Die Kontrolle der ausführenden Tätigkeiten erfolgt nicht nur durch kostenabbildende Kennzahlen, sondern bezieht sich auf die wichtigste Kennzahl von TPM: die Overall-Equipment-Effectiveness (OEE – die Gesamtanlageneffektivität). Bezogen auf die durchzuführenden Funktionen oder Ziele ändert sich durch die OEE-Betrachtung wenig. Im Datenmodell müssen allerdings die Produktions- und Prozessdaten Berücksichtigung finden.

**Tabelle 15: Eigenschaften, Ausprägungen und Auswirkungen der Total Productive Maintenance**

Eigenschaft	Ausprägung	Auswirkungen auf das Informationssystem
Planung	Planung als Säule eines funktionierenden IH-Managements	Ansätze der Strategieplanung Fokus IH-Programmplanung teilweise Schwachstellenanalyse

<sup>418</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Biedermann, H. (1987b)

<sup>419</sup> Siehe Abschnitt 2.8 Managementkonzepte der Instandhaltung

		keine Kritikalitätsanalyse
Organisation	Wichtiger Aspekt	Fokus IH-Tätigkeiten und kontinuierliche Verbesserung
Kontrolle	OEE	Fokus Reduktion der Verlustquellen
Information	Auftragsinformationen und Analysen	Fokus Auftragswesen, wesentliche Betrachtung von Analysen und Planungsdaten

### Funktionsmodell der Total Productive Maintenance

Es ist deutlich erkennbar, dass die Total Productive Maintenance den Ansprüchen des zugrundeliegenden generischen Managementansatzes in vielen Bereichen genügt. Es wurde aus diesem Grund eine einfache Auflistung zur Darstellung der zu berücksichtigenden Module gewählt:

- 4\_IH-Programmplanung
  - 4\_1\_Planung Wartung
    - 4\_1\_1\_Herstellerangaben analysieren
    - 4\_1\_2\_Erfahrungswerte einsetzen
  - 4\_2\_Planung Entstörung
    - 4\_2\_1\_Störungen analysieren
    - 4\_2\_2\_Ressourcengrobplanung
- 5\_Schwachstellenanalyse
  - 5\_1\_Schadensanalyse
  - 5\_2\_Feststellung der Ursachen für die Schäden
  - 5\_3\_Ermittlung Folgewirkungen
  - 5\_4\_Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung der Schwachstellen
- 6\_IH-Durchführungsplanung
  - 6\_1\_Bereitstellungsplanung
    - 6\_1\_1\_Bereitstellung Wissen und Informationen
    - 6\_1\_2\_Personalidentifizierung und –zuweisung
    - 6\_1\_3\_Beschaffung Material und Ersatzteile
    - 6\_1\_4\_Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge, Transport-, Hebe- und Stützeinrichtungen
    - 6\_1\_5\_Bestellung Outsourcing
  - 6\_2\_Ablaufplanung
    - 6\_2\_1\_Bearbeitungsplanung
    - 6\_2\_2\_Mengenplanung
    - 6\_2\_3\_Zeitplanung
- 7\_Auftragssteuerung
  - 7\_1\_Auftragsveranlassung
  - 7\_2\_Auftragsüberwachung
  - 7\_3\_Auftragsrückmeldung
- 8\_IH-Durchführung
  - 8\_1\_Wartung
    - 8\_1\_1\_Erfassung technische Daten und Aufgabenbeschreibung
    - 8\_1\_2\_Beschaffung Ersatzteile, Werkzeuge und Hilfsmittel
    - 8\_1\_3\_Durchführung Erneuerung / Austausch / Revision

- 8\_1\_4\_Testen und Funktionsabnahme
  - 8\_2\_Inspektion
  - 8\_3\_Instandsetzung
    - 8\_3\_1\_Erfassung technische Daten und Aufgabenbeschreibung
    - 8\_3\_2\_Beschaffung Ersatzteile, Werkzeuge und Hilfsmittel
    - 8\_3\_3\_Schaden identifizieren
    - 8\_3\_4\_Reparatur
    - 8\_3\_5\_Inspektion
    - 8\_3\_6\_Testen und Funktionsabnahme
  - 8\_4\_Verbesserung

Lediglich in der strategischen Ebene gibt es im Vergleich zum generischen Managementansatz noch Handlungsbedarf. Es ist ersichtlich, dass vor allem die Strategieplanung nur eingeschränkt von TPM umgesetzt wird. Eine systematische Erfassung der Ausfallkosten ist nicht vorgesehen und die darauf aufbauende Kritikalitätsanalyse wird ebenso nicht betrachtet. Ohne die Ermittlung der kritischen Anlagen kann in dieser Phase auch keine Schwachstellenanalyse initiiert werden – diese findet jedoch im Anschluss an die Instandhaltungsdurchführung statt (siehe Abbildung 85).

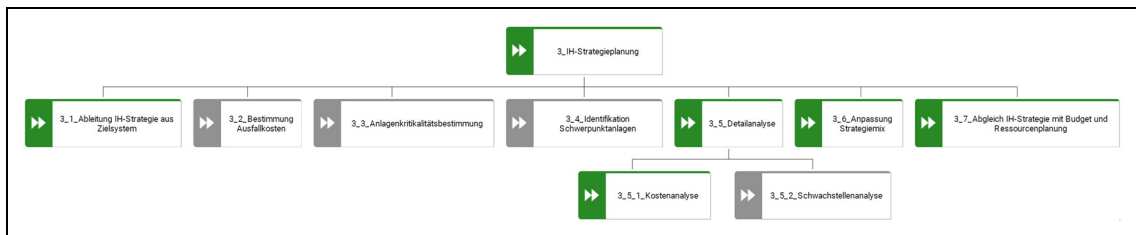


Abbildung 85: Eingeschränkte Strategieplanung der Total Productive Maintenance<sup>420</sup>

### Zielmodell der Total Productive Maintenance

Das Zielmodell von TPM umfasst 43 Ziele (siehe Abbildungen 86 und 87), und beinhaltet alle bereits formulierten Ziele der präventiven Instandhaltung (siehe Abbildung 76). Der Fokus liegt damit auch auf den allgemeinen Zielen der Zuverlässigkeitsoptimierung (erreichbar durch Wartung und Inspektion) sowie der Ausfallszeitoptimierung (erreichbar durch die Optimierung der Verfügbarkeit, Leistung und Qualität des Ressourceneinsatzes). Zusätzlich zur optimalen Planung, tritt das Konzept der Vermeidung von Verschwendungen in den Fokus. Die Analyse von Schäden, die Ermittlung von Ursachen und die grobe Konstruktion der Konsequenzen versucht wiederkehrende Fehler zu reduzieren. Die indirekten Instandhaltungskosten sollen optimiert werden und damit ein Beitrag zur Einhaltung des Budgetplans erfolgen. Mit einer transparenten Aufnahme der direkten Instandhaltungskosten wird außerdem die Ressourcenplanung unterstützt und ein weiterer, optimierender Faktor initiiert.<sup>421</sup>

<sup>420</sup> Eigene Darstellung

<sup>421</sup> Siehe Abschnitt 2.8.3 Total Productive Maintenance

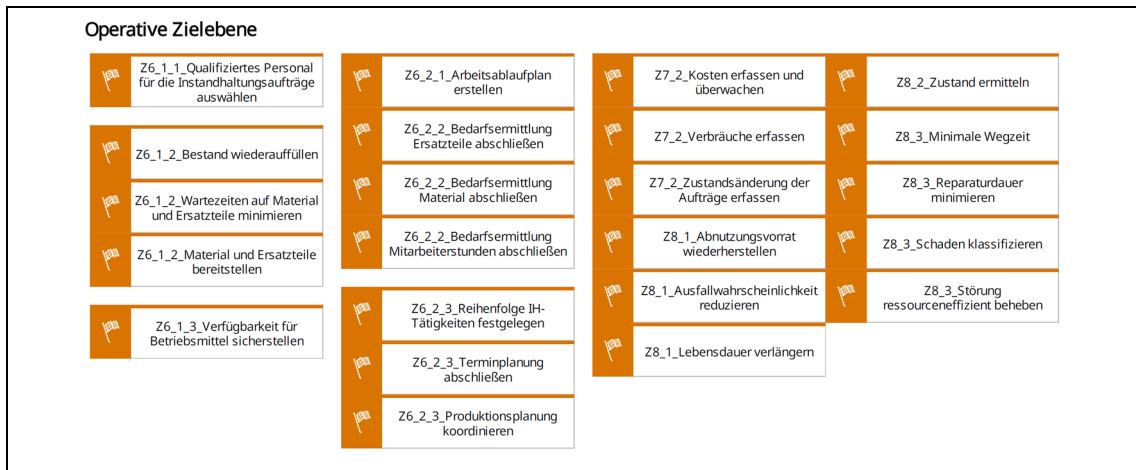


Abbildung 86: Operative Zielebene der Total Productive Maintenance<sup>422</sup>



Abbildung 87: Strategisch-operative Zielebene der Total Productive Maintenance<sup>423</sup>

In der strategischen Zielebene (Abbildung 88) wird die Ermittlung der Instandhaltungskosten, die Koordination mit der Budget- und Ressourcenplanung und die Festlegung einer groben Strategie gesehen.

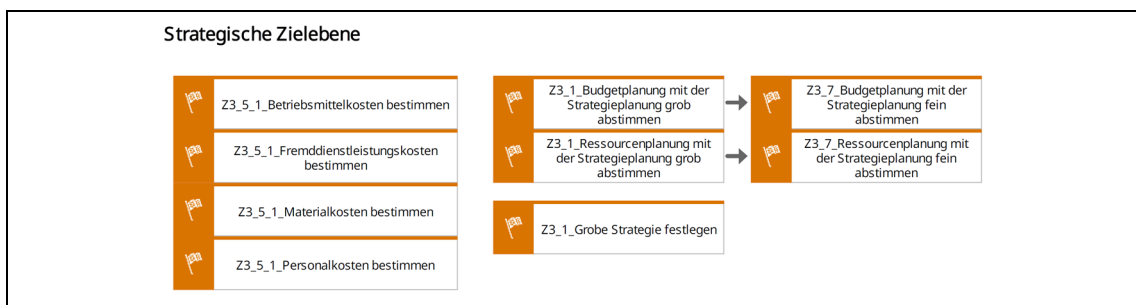


Abbildung 88: Strategische Zielebene der Total Productive Maintenance<sup>424</sup>

<sup>422</sup> Eigene Darstellung

<sup>423</sup> Eigene Darstellung

<sup>424</sup> Eigene Darstellung

## Datenmodell der Total Productive Maintenance

Das Datenmodell der Total Productive Maintenance wird in Abbildung 89 gezeigt. Neben der Bestimmung des Zielsystems und dem daraus folgenden Kennzahlensystem finden auch externe Quellen Berücksichtigung.

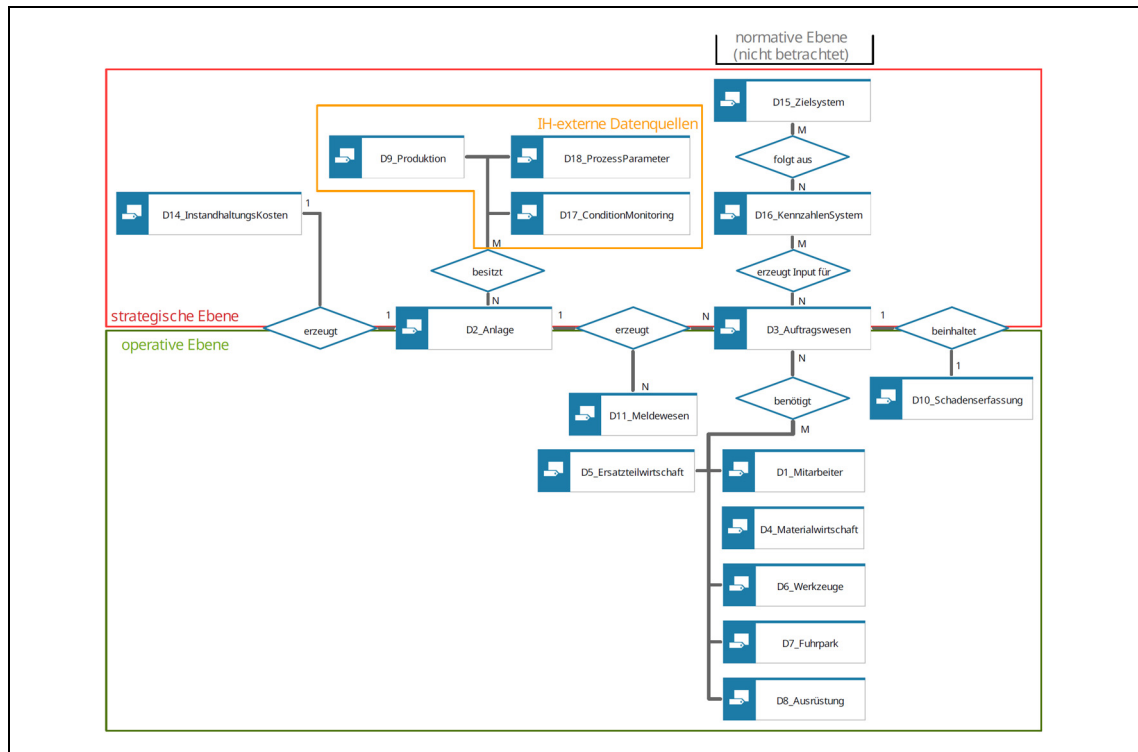


Abbildung 89: Datenmodell der Total Productive Maintenance<sup>425</sup>

### 4.1.4 Resümee der Soll-Modelle

Die drei Soll-Modelle haben gezeigt, dass sich das Referenzmodell nutzen lässt, um verschiedene Ebenen des Instandhaltungsmanagements zu modellieren und schlussendlich ein Datenmodell zu erhalten, mit dem sich die weitere Entwicklung des Informationssystems verwirklichen lässt. Neben der Funktionalität der vorgestellten Methodik bietet auch die inhaltliche Ausgestaltung einen Mehrwert für den Modellanwender.

## 4.2 Anwendung des Referenzmodells als Ist-Modell

Das Instandhaltungsmanagement ist aufgrund der vorherrschenden Komplexität in der Produktion bzw. im Unternehmen von einem Informationssystem abhängig. Kaum ein Unternehmen schafft es jedoch, die Potenziale zu nutzen.<sup>426</sup> Die Gründe für den unzureichenden Einsatz der Instandhaltungssoftware liegen oftmals in fehlender Transparenz<sup>427</sup>. Eine weitere Falle im Einsatz von CMMS ist der Irrglaube, Probleme im

<sup>425</sup> Eigene Darstellung

<sup>426</sup> Vgl. Tsang, A.H.C. (2002), S. 26

<sup>427</sup> Vgl. Labib, A.W. (2004), S. 192

Management durch den Kauf eines IT-Systems lösen zu können<sup>428</sup>. Die Integration der Software in das bestehende Instandhaltungsmanagement muss unbedingt erfolgen, um einen für das Unternehmen positiven Return on Investment des CMMS sicherzustellen. Das Referenzmodell eignet sich zur Verbesserung der angesprochenen Probleme, da es in der Schnittstelle zwischen Technik und Management ansetzt. Die Validierung des Nutzens des erstellten Referenzmodells wurde im ersten Schritt über den Top-Down-Ansatz vollzogen<sup>429</sup>. Die Validierung der Anwendbarkeit in der Praxis sollte allerdings Bottom-Up über die Daten erfolgen. In den folgenden Abschnitten wird mithilfe des Referenzmodells das Informationssystem eines Softwareherstellers in Form des abgewandelten ARIS-Hauses erstellt. Die wissenschaftliche Zielsetzung kann nach der Validierung als erfüllt angesehen werden.

#### **4.2.1 Ist-Modell (Softwarehersteller)**

Das Referenzmodell wird eingesetzt, um das Vorhandensein der im Modell erhobenen Datenfelder im betrachteten Informationssystem zu überprüfen. Dabei werden alle Attribute einzeln in der Software abgefragt, um im nächsten Schritt das Datenmodell zu erstellen. Das Ergebnis ist in Abbildung 90 dargestellt. Ausgehend von dem Resultat lässt sich der Digitale Schatten nutzen, um die digital durchführbaren Funktionen der Instandhaltung zu bestimmen. Anschließend lassen sich die erreichbaren Ziele des Informationssystems feststellen. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass obwohl eine quantitative Analyse in Form eines Vollständigkeitsgrades möglich ist und durchgeführt wurde, es dennoch auch einer qualitativen Analyse bedarf, ob die Funktionsfähigkeit besteht.

##### **Datenmodell**

Das Datenmodell wird in einem Workshop mit dem Softwarehersteller erhoben. Teilnehmer sind Software- und Produktentwickler mit ausgeprägten Domänenwissen über das Instandhaltungsmanagement und die Instandhaltungssoftware. Die Abfrage der vorhandenen Entitäten und Attribute erfolgt einzeln und systematisch nach dem definierten Datenmodell<sup>430</sup>. Zusätzlich wird mithilfe von bestehenden, technischen ERDs und der direkten Anwendung der Software die Überprüfung vollzogen. Das Ergebnis ist in Abbildung 90 ersichtlich. Die drei Entitäten ohne Attribute (D18, D17 und D9) werden nur über Schnittstellen von dem System unterstützt und sind nicht Inhalt des entwickelten Informationssystems. Die Abbildung demonstriert dennoch eine hohe Abdeckungsrate im Vergleich zum Gesamtmodell der Datenmodellierung<sup>431</sup>.

---

<sup>428</sup> Vgl. Wireman, T. (2004), S. 184

<sup>429</sup> Siehe Abschnitt 4.1 Anwendung des Referenzmodells als Soll-Modell

<sup>430</sup> Siehe Abschnitt 3.7 Datenmodellierung

<sup>431</sup> Siehe Abschnitt 3.7.1 Identifikation Entitätstypen & Basisattribute, Abbildung 69-72



Abbildung 90: Datenmodell Softwarehersteller<sup>432</sup>

In weiterer Folge lässt sich das definierte Entity Relationship Diagramm<sup>433</sup> auf das betrachtete Informationssystem anpassen (siehe Abbildung 91). Dabei wird deutlich, dass Daten zu Ausfallkosten, Produktionsaufträgen, Prozessparametern oder Condition Monitoring Systeme ausschließlich über externe Systeme abgreifbar sind. Es fehlen außerdem die Entwicklungsstufen in Richtung der normativen Ebene, das Kennzahlen- und Zielsystem. Die strategische Ebene wird durch die Entitäten zur Kritikalität und Instandhaltungskosten unterstützt. Die Daten der operativen und strategisch-operativen Ebene sind in hohem Maße verfügbar.

<sup>432</sup> Eigene Darstellung

<sup>433</sup> Siehe Abschnitt 3.7, Abbildung 73

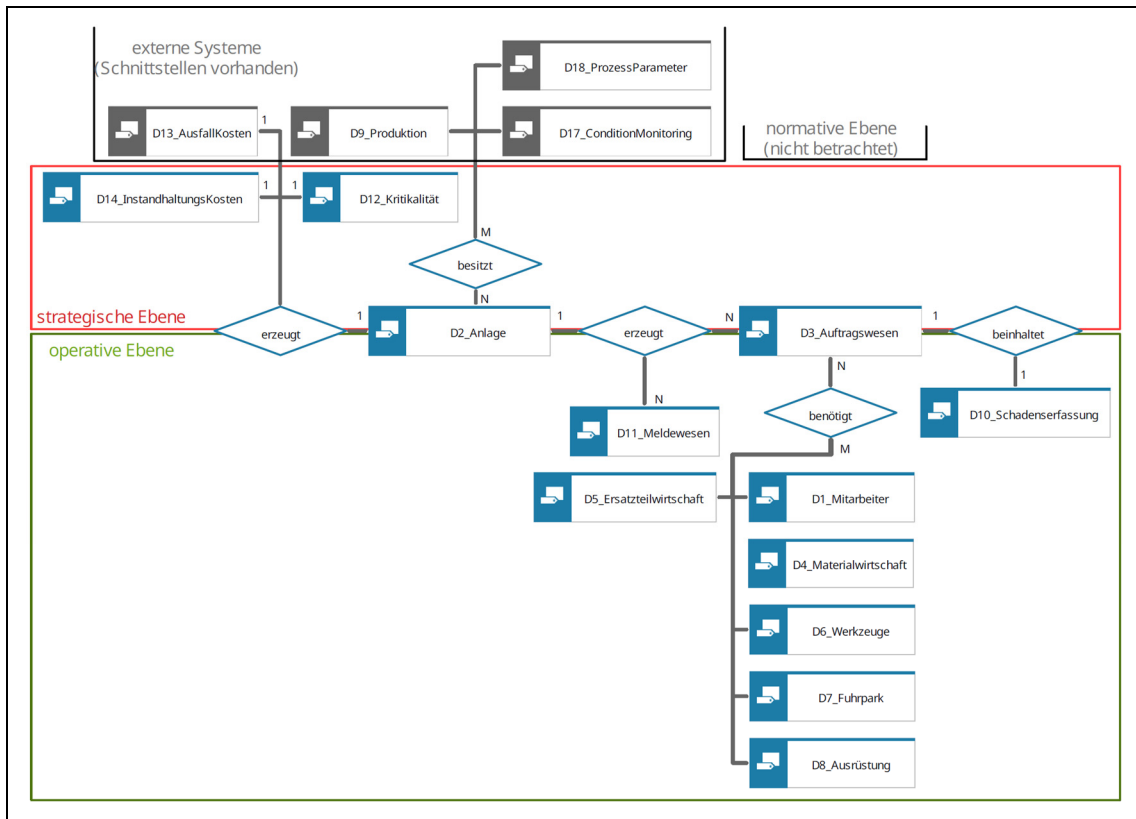


Abbildung 91: Entity Relationship Diagram Softwarehersteller<sup>434</sup>

### Funktionsmodell

Ausgehend von den vorhandenen Daten wird der Vollständigkeitsgrad (ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Anzahl der verfügbaren Datenattribute und der Anzahl der vorhandenen Attribute) ermittelt (siehe Tabelle 16). Die Abstufung zwischen strategisch, strategisch-operativen und operativen Regelkreis unterstreicht die bereits mehrfach formulierte Ansicht, dass der Fokus von Informationssystemen auf der operativen Ebene liegt. Der Datenvollständigkeitsgrad kann als Hilfe zur Entscheidung dienen, welche Funktionen sich mit den ermittelten Daten durchführen lassen. Die endgültige Entscheidung muss jedoch noch qualitativ erfolgen<sup>435</sup>. In Tabelle 16 ist das Ergebnis der qualitativen Analyse mit Ja – die Funktion ist trotzdem durchführbar – und Nein – die Funktion ist nicht durchführbar – beschrieben. Es ist erkennbar, dass die quantitative und qualitative in den meisten Funktionen zu einem gemeinsamen sinnvollen Ergebnis kommen.

<sup>434</sup> Eigene Darstellung

<sup>435</sup> Weitere mögliche Weiterentwicklungen werden in Abschnitt 5.3 Ausblick vorgestellt



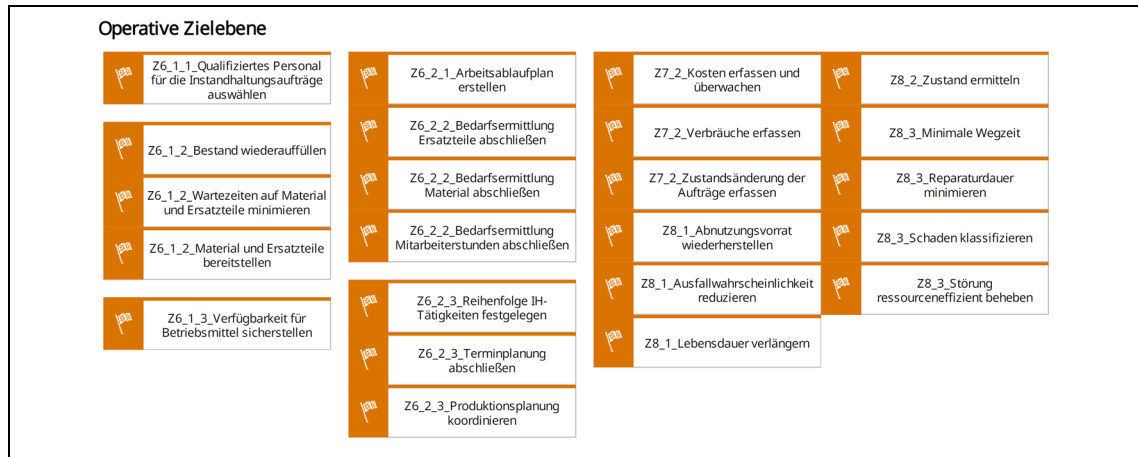
Tabelle 16: Datenvollständigkeitsgrad in den einzelnen Funktionen<sup>436</sup>

Funktion	Bezeichnung	Daten-vollständig-keitsgrad	Regelkreis	qual. Bew.: Funktion durchführbar?
3_1	Ableitung IH-Strategie aus Zielsystem	39%	strategisch	Nein
3_2	Bestimmung Ausfallkosten	5%		Nein
3_3	Anlagenkritikalitätsbestimmung	79%		Ja
3_4	Identifikation Schwerpunktanlagen	38%		Nein
3_5_1	Kostenanalysen	53%		Nein
3_6	Anpassung Strategiemix	60%		Nein
3_7	Abgleich IH-Strategie mit Budget- und Ressourcenplanung	64%		Nein
4_1_1	Herstellerangaben analysieren	100%	strategisch-operativ	Ja
4_1_2	Erfahrungswerte einsetzen	100%		Ja
4_1_3	Wartungszeitpunkte prognostizieren	38%		Nein
4_2_1	Störungen analysieren	67%		Ja
4_2_2	Ressourcengrobplanung	67%		Ja
5_1	Schadensanalyse	71%		Ja
5_2	Feststellung der Ursachen für die Schäden	41%		Nein
5_3	Ermittlung Folgewirkungen	60%		Nein
5_4	Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Schwachstellenbeseitigung	75%		Nein
6_1_1	Personalidentifizierung und -zuweisung	100%		operativ
6_1_2	Beschaffung Material und Ersatzteile	87%	Ja	
6_1_3	Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge, Transport-, Hebe- und Stützeinrichtungen	91%	Ja	
6_2_1	Bearbeitungsplanung	100%	Ja	
6_2_2	Mengenplanung	79%	Ja	
6_2_3	Zeitplanung	70%	Ja	
7_2	Auftragssteuerung	81%	Ja	
8_1	Wartung durchführen	77%	Ja	
8_2	Inspektion durchführen	93%	Ja	
8_3	Instandsetzung durchführen	66%	Ja	

<sup>436</sup> Eigene Darstellung

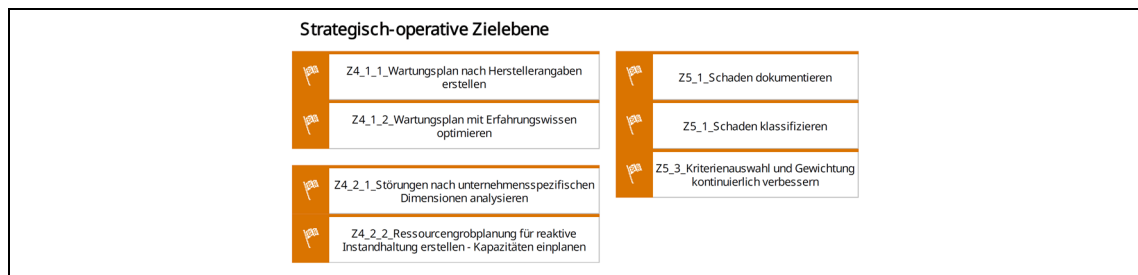
## Zielmodell

Das Zielmodell ergibt sich aus den durchführbaren Funktionen (jenen Funktionen aus Tabelle 16 die mit Ja deklariert wurden). Abbildung 92 zeigt die operative Zielebene, die vollständig mit dem Zielmodell des Referenzmodells übereinstimmt. Einzelner Handlungsbedarf besteht in einer ausgereifteren Unterstützung der Instandsetzung sowie der Zeitplanung.



**Abbildung 92: Operative Zielebene des Informationssystems (Softwarehersteller)<sup>437</sup>**

Mit der strategisch-operativen Zielebene (Abbildung 93) wird gezeigt, dass die IH-Programmplanung mit bis zu 100% Vollständigkeitsgrad im System verwirklicht wurde. Die daraus erreichbaren Ziele sind die Erstellung des Wartungsplans nach Herstellerangaben sowie die Optimierung durch Erfahrungswissen. Zusätzlich sind Störungsanalysen, Ressourcengrobplanung und die Klassifikation von Schäden erreichbare Ziele. Durch die Umsetzung von Kritikalitätsanalysen, lässt sich außerdem die kontinuierliche Verbesserung der Kriterienauswahl und -gewichtung vollziehen.



**Abbildung 93: Strategisch-operative Zielebene des Informationssystems (Softwarehersteller)<sup>438</sup>**

Abbildung 94 zeigt die (überschaubare) strategische Zielebene. In dieser Ebene wird der größte Handlungsbedarf deutlich gezeigt. Aufgrund der fehlenden Implementierung von IH-relevanten Themen wie Ausfallkosten, Condition Monitoring oder auch Zugriff auf Prozess- und Produktionsdaten, kann die Erfüllung einer Vielzahl an strategischen Zielen nicht gewährleistet werden. Die erreichbaren Ziele sind demnach ausschließlich der Kritikalitätsanalyse zugeordnet.

<sup>437</sup> Eigene Darstellung

<sup>438</sup> Eigene Darstellung

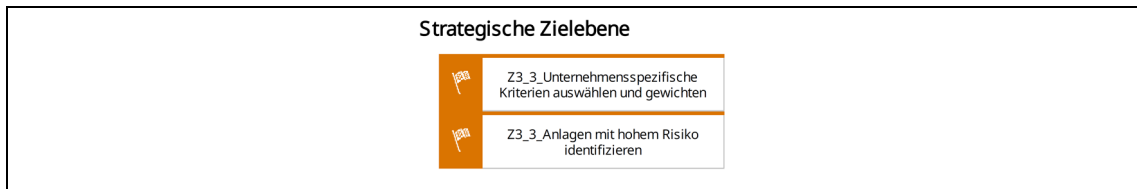


Abbildung 94: Strategische Zielebene des Informationssystems (Softwarehersteller)<sup>439</sup>

#### 4.2.2 Resümee des Ist-Modells

Mit der Anwendung des Referenzmodells als Ist-Modell wird das Ziel verfolgt, ein Informationssystem zu bewerten, die Strukturen und Ausprägungen der Daten zu erheben, und damit den Weg zu den vollziehbaren Funktionen und erreichbaren Zielen zu zeichnen. Bei der Anwendung des Modells konnte festgestellt werden, dass dem generischen Ansatz entsprechend, eine Vielzahl an unterschiedlichen Funktionalitäten abgefragt wird. Daraus ergibt sich die Chance für Softwarehersteller, mithilfe des Referenzmodells einen Ist-Stand zu definieren und klare Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung zu formulieren. Mit der Darstellung des Datenmodells in Abbildung 91 lassen sich durch den Vergleich zum generischen Datenmodell (Abbildung 73) jene Entitäten identifizieren, die noch unzulänglich implementiert wurden.

---

<sup>439</sup> Eigene Darstellung

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im abschließenden Kapitel wird die Arbeit zusammengefasst, die Anwendung des Referenzmodells in der Praxis einer kritischen Würdigung unterzogen und ein Ausblick gegeben.

### 5.1 Zusammenfassung

In Kapitel 1 wird gezeigt, dass die Instandhaltung mithilfe der Digitalisierung Wertschöpfungspotenziale erheben kann, die sich durch die erhöhte Transparenz und horizontale sowie vertikale Vernetzung ergeben. Die Präsenz der Instandhaltung im produzierenden Industriebetrieb wächst durch die steigende Automatisierung und zunehmende Komplexität kontinuierlich an. Großes Potenzial wird dabei dem Digitalen Schatten und in weiterer Folge dem Digitalen Zwilling beigemessen. Forschungsbedarf besteht in diesem Zusammenhang vor allem in der Entwicklung der Strukturen und Architekturen von modernen Informationssystemen. Gleichmaßen werden strategische und strategisch-operative Werkzeuge von der Praxis gefordert. Aus der formulierten Ausgangssituation und Problemstellung ergibt sich das Hauptziel der Arbeit: Die Entwicklung einer Referenz für das Informationssystem des Instandhaltungsmanagements.

Kapitel 2 schafft mit der konzeptionellen und terminologischen Grundlegung die Basis für die Erstellung des Referenzmodells. Dazu wird ausgehend von der System- und Modelltheorie der syntaktische und semantische Rahmen definiert. Ausgehend von dem Metamodell ARIS wird einerseits die relevanten Modellierungssprachen in den Techniken der Referenzinformationsmodellierung vorgestellt, und andererseits das Vorgehensmodell mit dem abgewandelten ARIS-Haus definiert. Der Inhalt der Modellierung wird in der Auswahl der Prozessmodule geschaffen, in der die ganzheitlichen IH-Managementansätze auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersucht werden und ein gemeinsamer Konsens definiert wird.

Die Modellierung des Informationssystems unterteilt sich in Kapitel 3 in vier Modelle. Die Basis des Referenzmodells ist die Funktionssicht, in der die Hierarchie und Struktur der einzelnen Prozessmodule gezeigt wird. Basierend auf den Funktionen wird im nächsten Schritt das Zielmodell erstellt. Das Steuerungsmodell als drittes Modell vereint die Funktions- mit der Zielperspektive und ermöglicht eine Bestimmung der notwendigen Daten für jede der ausgewählten Funktionen in den entsprechenden Hierarchieebenen. Das Resultat der Ableitung wird im vierten Modell in Form von Entity-Relationship-Diagrammen zusammengefasst.

Mit dem letzten Kapitel wird die Anwendung des Referenzmodells in insgesamt vier Fällen gezeigt. Dem Top-Down Ansatz folgend werden die vier Modelle für die ausfallbedingte, präventive und Total Productive Maintenance erstellt. Den größten Mehrwert versprechen die generierten Datenmodelle, die den Anspruch verfolgen, alle relevanten Daten des Instandhaltungsmanagements in den spezifischen Konzepten

darzulegen. Den Abschluss bildet die Anwendung des Referenzmodells als Ist-Modell bei einem Softwarehersteller. Die modellierten vier Perspektiven zeigen deutlich, dass sich das Referenzmodell in beide Richtungen anwenden lässt.

## 5.2 Kritische Würdigung

Der wissenschaftlichen Kernfrage der Arbeit nach, galt es die Gestaltungsprinzipien und –anforderungen an ein Referenzinformationsmodell zu erarbeiten, das einem generischen Instandhaltungsmanagementkonzepts entsprechend, die unterschiedlichen Funktionen mit der Ressource Information optimal unterstützen lässt. Abbildung 9 zeigt die Managementfunktion Information im Kontext zu den weiteren Funktionen. Es ist deutlich erkennbar, dass die Modellierung der notwendigen Informationen in den Teilbereichen Planung, Organisation und Kontrolle diese Unterstützung leisten kann. Die Beantwortung der Detailfragen entspricht der Vorgehensweise in der Arbeit.

*DF1. Welche generischen Geschäftsprozesse sind nach aktuellem Stand der Literatur für das Instandhaltungsmanagement definiert und wie lassen sich diese modellieren?*

Die Grundlegung der Arbeit besteht aus einer Literaturanalyse, in der generische Ansätze des Instandhaltungsmanagements auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersucht werden. Es ist deutlich erkennbar, dass ein gemeinsamer Konsens in Bezug auf die Grundmodule des Instandhaltungsmanagements besteht.

*DF2. Welche Sichtweisen müssen zusätzlich erstellt werden, um aus den definierten Geschäftsprozessen die notwendigen Daten abzuleiten?*

Neben der prozessualen Perspektive müssen die Ziele, Daten und eine kombinierte Perspektive erstellt werden<sup>440</sup>.

*DF3. Wie müssen die Datenmodelle gestaltet sein, um den strukturellen und inhaltlichen Anforderungen des Digitalen Schattens zu entsprechen?*

Das Datenmodell hat das Ziel die Struktur des Digitalen Schattens der Instandhaltung zu definieren. Die Erreichung des Ziels erfolgt mit der Erstellung des Entity-Relationship-Diagramms. Die Objektklassen und Attribute geben dem Modellanwender die Möglichkeit, das eigene Informationssystem zu modellieren und anschließend zu verbessern.<sup>441</sup>

*DF4. Wie lässt sich eine Verbindung von den Zielen der Instandhaltung zu den dafür notwendigen Daten der Instandhaltung zeichnen?*

Die Stärke des ARIS-Hauses ist die Steuerungsperspektive, mit der sich unbegrenzt Subsysteme des Gesamtmodells entwickeln lassen. In jedem der Subsysteme kann eine Verbindung von Daten zu Zielen über die Funktionen gezogen werden.

Hervorzuheben ist außerdem, dass ein Referenzmodell nur dann erfolgreich erstellt wurde, wenn es sich einfach adaptieren lässt. Es besteht demnach kein Bedarf, in einem Referenzmodell alle möglichen Szenarien darzustellen, sondern lediglich die wesentlichen Strukturen zu definieren, die für die meisten Anwendungsgebiete

<sup>440</sup> Siehe Kapitel 3 Modellierung des Informationssystems der Instandhaltung

<sup>441</sup> Siehe Abschnitt 3.8.3 Datenmodell

ausreichend sind. Die Erfüllung dieser Vorgabe wird als erfolgreich angesehen, da die Modellierung der teilweise konträren Anwendungsfälle in Kapitel 4 die erwünschten Ziele erreichen konnte. Die vorgestellte Logik bietet Anwendern außerdem eine einfache Methodik, um das Prozessgerüst mit den eigenen Funktionen zu erweitern. Mit dem modularen Aufbau der Funktionen, Ziele und Daten lassen sich schnell Anpassungen realisieren.

Neben der Weiterentwicklung des Referenzmodells an sich, lässt sich das Modell auch für die Softwareentwicklung einsetzen. Die Entwicklung eines grundsätzlichen, konzeptionellen Datenschemas der Geschäftsprozesse eines Unternehmens ist besonders wertvoll, wenn sie vor der Entwicklung der Softwaresysteme stattfindet<sup>442</sup>.

### **5.3 Ausblick**

Kritisch anzumerken ist, dass vor der Erstellung des Referenzmodells Systemgrenzen gezogen wurden, die der damit verbundenen Erhöhung der Komplexität geschuldet sind. Es ist demnach äußerst sinnvoll, das Referenzmodell mit der Integration eines Kennzahlensystems weiterzuentwickeln. Die erstellte Struktur der Funktionen bietet sich für die Überwachung durch Kennzahlen an, da jeder Prozess einzeln durch mindestens ein Ziel und damit auch mindestens eine Kennzahl bewertet werden kann. Die Datenebene unterstützt diese Erweiterung zusätzlich, da die definierten Entitäten lediglich mit den Anforderungen der entsprechenden Kennzahlen abgeglichen werden müssen.

Eine weitere Perspektive mit viel Potenzial ist die Mitbetrachtung von Entscheidungen in dem Referenzmodell. Zu den Hauptaufgaben des Informationsmanagements zählt die Unterstützung der Entscheidungsbildung durch die richtige Information. Die Erweiterung einer Entscheidungssicht im ARIS-Haus verspricht großen Nutzen, da die Verbindung von Daten zu Entscheidungen gezogen werden kann.

Weitere Handlungsfelder bestehen in der Weiterentwicklung des Digitalen Schattens in den Themen Datenqualität und Datenanalyse. Die Implementierung von modernen Analysemethoden in das Instandhaltungsmanagement wurde in der Arbeit teilweise angesprochen, muss jedoch noch detaillierter untersucht werden. Vor allem die Frage, wie sich die gewonnenen Erkenntnisse in die Prozesse der Instandhaltung pragmatisch eingliedern lassen, sollte noch beantwortet werden. Die dafür notwendigen Grundstrukturen sind in dem vorgestellten Referenzmodell vorhanden und können demnach eine Grundlage für die zukünftige Gestaltung des Informationssystems der Instandhaltung bilden.

---

<sup>442</sup> Vgl. Hänsch, K.; Endig, M. (2010), S. 243

## Literaturverzeichnis

- Abudayyeh, O.; Khan, T.; Yehia, S.; Randolph, D. (2005): The design and implementation of a maintenance information model for rural municipalities. In: *Advances in Engineering Software*, Jg. 36, Nr. 8, S. 540–548.
- Agustiady, T.K.; Cudney, E.A. (2016): *Total Productive Maintenance: Strategies and Implementation Guide*. 1. Aufl., CRC Press. ISBN 978-0-429-15637-3.
- Alcalde Rasch, A. (2000): *Erfolgspotential Instandhaltung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag. ISBN 978-3-503-05811-2.
- Ashby, W.R. (1956): *An Introduction to Cybernetics*. 2. Aufl., London: Chapman & Hall Ltd. ISBN 978-1-61427-765-1.
- Barnett, G. (2019): *The Forrester Wave™: Enterprise Architecture Management Suites, Q1 2019*, 2019.
- Bauernhansl, T.; Krüger, J.; Reinhart, G.; Schuh, G. (2017): *WGP - Standpunkt Industrie 4.0*, URL: <https://wgp.de/de/wgp-standpunktpapier-fuehrt-durchschluesselloch-zu-industrie-4-0/> (Zugriff: 19.01.2020).
- Baumgartner, R.J.; Biedermann, H.; Klügl, F.; Schneeberger, T.; Stromeier, G.; Zielowski, C. (2006): *Generic management: Unternehmensführung in einem komplexen und dynamischen Umfeld*. 1. Aufl, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (Gabler Edition Wissenschaft). ISBN 978-3-8350-0369-9.
- Becker, J.; Niehaves, B.; Knackstedt, R. (2004): Bezugrahmen zur epistemologischen Positionierung der Referenzmodellierung. In: Becker, J. (Hrsg.): *Referenzmodellierung: Grundlagen, Techniken und domänenbezogene Anwendung*. Heidelberg: Physica-Verl. ISBN 978-3-7908-0245-0, S. 1–17.
- Becker, J.; Probandt, W.; Vering, O. (2012): *Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung: Konzeption und Praxisbeispiel für ein effizientes Prozessmanagement*. Berlin: Springer Gabler. (BPM kompetent). ISBN 978-3-642-30411-8.
- Behrenbeck, K.R. (1994): *DV-Einsatz in der Instandhaltung: Erfolgsfaktoren und betriebswirtschaftliche Gesamtkonzeption*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag. ISBN 978-3-8244-6076-2.
- Ben-Daya, M.; Duffuaa, S.O.; Raouf, A.; Knezevic, J.; Ait-Kadi, D. (2009): *Handbook of maintenance management and engineering*. Dordrecht; New York: Springer. ISBN 978-1-84882-471-3.
- Ben-Daya, M.; Kumar, U.; Murthy, D.N.P. (2016): *Introduction to Maintenance Engineering*. John Wiley & Sons.
- Bernerstätter, R. (2019): *Reifegradmodell zur Bewertung der Inputfaktoren für datenanalytische Anwendungen - Konzeptionierung am Beispiel der Schwachstellenanalyse*. Dissertation, Leoben: Montanuniversität Leoben.

- Bernerstätter, R.; Kühnast, R. (2017): Schwachstellenanalyse zur Gewährleistung der Handlungsfähigkeit in komplexen Systemen. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Erfolg durch Lean Smart Maintenance Bausteine und Wege des Wandels. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-7406-0243-7 (Instandhaltungsforum), S. 163–184.
- Bernerstätter, R.; Kühnast, R. (2019): Data Maturity Assessment – Bewertung der Reife des Datenmanagements für Smart Maintenance. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jg. 164, Nr. 1, S. 21–25.
- Bertalanffy, L. von (1972): Systemtheorie. Berlin: Colloquium Verlag Otto H. Hess.
- Bhasin, S.; Burcher, P. (2006): Lean viewed as a philosophy. In: Journal of Manufacturing Technology Management, Jg. 17, Nr. 1, S. 56–72.
- Biedermann, H. (1987a): Flexibilität in der Instandhaltung. In: Berg- und Hüttemännische Monatshefte, o. Jg., Nr. 132, S. 408–414 (9).
- Biedermann, H. (1987b): Organisation zur Realisierung der Instandhaltungsplanung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Planung in der Instandhaltung. Köln: Verlag TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-371-8 (Instandhaltungsforum; 3), S. 173–196.
- Biedermann, H. (1992): Erfassung und Auswertung der Instandhaltungskosten. In: Instandhaltungsmanagement. Köln: Verl. TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-822-5 (Handbuch Instandhaltung).
- Biedermann, H. (2003): Risikominimierung im Anlagenmanagement. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Risikominimierung im Anlagenmanagement: Risiken beim Planen, Errichten und Betreiben von Anlagen. Köln: TÜV-Verl. ISBN 978-3-8249-0830-1 (Instandhaltungsforum; 17), S. 9–24.
- Biedermann, H. (2007): Wertschöpfungsorientiertes Management in der Anlagen- und Produktionswirtschaft. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Wertschöpfendes Instandhaltungs- und Produktionsmanagement: erfolgreich durch Innovationen in Management und Technologie. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1069-4 (Instandhaltungsforum; 21), S. 9–17.
- Biedermann, H. (2008a): Anlagenmanagement: Managementinstrumente zur Wertsteigerung. 2., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl, Köln: TÜV Media. (Praxiswissen Instandhaltung). ISBN 978-3-8249-1080-9.
- Biedermann, H. (2008b): Ersatzteilmanagement: effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen. 2., erw. und aktualisierte Aufl, Berlin: Springer. (VDI-Buch). ISBN 978-3-540-00850-7.
- Biedermann, H. (2009): Erfolgsfaktoren eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. In: Erfolgsfaktor "Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement": Methoden der Effizienz- und Effektivitätssteigerung in der Planungs- und Betriebsphase einer Anlage. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1322-0 (Instandhaltungsforum; 23), S. 9–18.
- Biedermann, H. (2011): Entwicklungsrichtungen und Trends aus 25 Jahren Instandhaltungsmanagement. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Maintenance Null-Verschwendung durch schlanke Strukturen und wertsteigernde Managementkonzepte. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1456-2 (Instandhaltungsforum; 25), S. 9–40.



- Biedermann, H. (2015): Smart Maintenance intelligente, lernorientierte Instandhaltung. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Smart Maintenance intelligente, lernorientierte Instandhaltung. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1950-5 (Instandhaltungsforum; 29)., S. 23–33.
- Biedermann, H. (2016): Lean Smart Maintenance - Controlling. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Smart Maintenance: Konzepte, Instrumente und Anwendungen für eine effiziente und intelligente Instandhaltung. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-7406-0096-9 (Instandhaltungsforum; 30)., S. 19–30.
- Biedermann, H. (2018): Predictive Maintenance - Möglichkeiten und Grenzen. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Predictive Maintenance Realität und Vision. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-7406-0359-5 (Instandhaltungsforum; 32)., S. 23–40.
- Biedermann, H. (2019): Digitalisierte Instandhaltung - Komplex, Agil, Datengetrieben. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Digitalisierte Instandhaltung: Stand und Perspektiven. Köln: TÜV-Media. ISBN 978-3-7406-0467-7 (Instandhaltungsforum; 33)., S. 25–38.
- Bleicher, K. (2011): Das Konzept Integriertes Management: Visionen - Missionen - Programme. Campus Verlag. ISBN 978-3-593-39440-4.
- Bloss, C. (1995): Organisation der Instandhaltung. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. [u.a.]. (Gabler Edition Wissenschaft : Unternehmensführung & Controlling). ISBN 978-3-8244-6185-1.
- Bonitz, H. (2009): Aristoteles' Metaphysik. Hamburg: Felix Meiner Verlag. ISBN 978-3-7873-1947-3.
- Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I. (1999): The unified modeling language user guide. Reading Mass: Addison-Wesley. (The Addison-Wesley object technology series). ISBN 978-0-201-57168-4.
- Campbell, J.D.; Reyes-Picknell, J.V. (2016): Uptime - Strategies for Excellence in Maintenance Management. 3. Aufl., Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Campos, M.A.L.; Fernández, J.F.G.; Daz, V.G.; Márquez, A.C. (2010): A new maintenance management model expressed in UML. In: Soares, G.; Martorell, S.; Bris, R. (Hrsg.): Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-55509-8, S. 501–507.
- Campos, M.A.L.; Márquez, A.C. (2011): Modelling a maintenance management framework based on PAS 55 standard. In: Quality and Reliability Engineering International, Jg. 27, Nr. 6, S. 805–820.
- Chen, P.P.-S. (1976): The entity-relationship model - toward a unified view of data. In: Journal, Jg. 1, Nr. 1, S. 9–36 (Special issue: papers from the international conference on very large data bases: September 22-24, 1975, Framingham, MA).
- Cordes, A.-K. (2018): Prozesse, Prognose und Planung in Ersatzteil-Supply-Chains für die zustandsorientierte Instandhaltung: Entwicklung eines Referenzprozessmodells, eines Nachfrageprognoseverfahrens und eines

- Integrierten Planungsmodells am Beispiel der Maschinenbauindustrie. Berlin: Logos Verlag Berlin GmbH. ISBN 978-3-8325-4672-4.
- Crespo Márquez, A. (2007): The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. London: Springer. (Springer series in reliability engineering). ISBN 978-1-84628-820-3.
- Deutsches Institut für Normung, 13306 (2015): DIN EN 13306: Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung, Beuth Verlag, 2015.
- Deutsches Institut für Normung, 31051 (2012): DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung, Beuth Verlag, 2012.
- Espíndola, D.B.; Fumagalli, L.; Garetti, M.; Pereira, C.E.; Botelho, S.S.C.; Ventura Henriques, R. (2013): A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality. In: Computers in Industry, Jg. 64, Nr. 4, S. 376–391.
- Federal Information Processing Standards Publications (1993): Integration Definition for Function Modelling (IDEF0), Secretary of Commerce, 1993.
- Feldmann, S. (2017): Predictive Maintenance, Roland Berger GmbH, 2017.
- Fleischmann, A.; Oppl, S.; Schmidt, W.; Stary, C. (2018): Ganzheitliche Digitalisierung von Prozessen: Perspektivenwechsel – Design Thinking – Wertegeleitete Interaktion. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-22647-3.
- Freund, C. (2010): Die Instandhaltung im Wandel. In: Schenk, M. (Hrsg.): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-03948-5, S. 231–287.
- Gadatsch, A. (2019): Datenmodellierung: Einführung in die Entity-Relationship-Modellierung und das Relationenmodell. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-25729-3.
- Galar Pascual, D. (2015): Artificial Intelligence Tools: Decision Support Systems in Condition Monitoring and Diagnosis. 0. Aufl., CRC Press. ISBN 978-0-429-10232-5.
- Gutenberg, E. (1958): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler. ISBN 978-3-8349-9144-7.
- Haberfellner, R.; de Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S. (2019): Systems engineering: fundamentals and applications. New York, NY: Springer Science+Business Media. ISBN 978-3-030-13430-3.
- Hansen, H.R.; Mendling, J.; Neumann, G. (2019): Wirtschaftsinformatik. Walter de Gruyter GmbH & Co KG. ISBN 978-3-11-060873-1.
- Harland, T. (2019): Gestaltung des Digital Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau. Aachen: Apprimus Verlag. (Schriftenreihe Rationalisierung). ISBN 978-3-86359-694-1.

- Hars, A. (1994): Referenzdatenmodelle. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-322-90398-3.
- Heinen, E. (1990): Industriebetriebslehre: Entscheidungen im Industriebetrieb. 8., durchges. u. verb. Aufl., Nachdr, Wiesbaden: Gabler. ISBN 978-3-409-33150-0.
- Hokanen, T. (2004): Modelling Industrial Maintenance Systems and the Effects of Automatic Condition Monitoring. Dissertation, Helsinki: Helsinki University of Technology.
- Horváth, P. (1980): Die Koordinationsaufgaben des Controllings. In: Jacob, H. (Hrsg.): Controlling und Finanzplanung als Führungsinstrumente. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-79271-4, S. 3–17.
- Hänsch, K.; Endig, M. (2010): Informationsmanagement in der Instandhaltung. In: Schenk, M. (Hrsg.): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-03948-5, S. 231–287.
- Hölbfer, S. (2014): Modell zur Auswahl von Instandhaltungsstrategien in anlageintensiven Industriebetrieben. Dissertation, Leoben: Montanuniversität.
- Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008a): PAS 55-1: Asset management - Part 1: Specification for the optimized management of physical assets. London: BSI. ISBN 978-0-580-50975-9.
- Institute of Asset Management; British Standards Institution (2008b): PAS 55-2: Asset management - Part 2: Guidelines for the application of PAS-1. London: BSI. ISBN 978-0-580-50975-9.
- International Standard (2014a): ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology, 2014.
- International Standard (2014b): ISO 55001: Asset management — Management systems — Requirements, 2014.
- International Standard (2014c): ISO 55002: Asset management - Overview, principles and terminology, 2014.
- Kaplan, M.A. (1972): Systemtheorie. Berlin: Colloquium Verlag Otto H. Hess.
- Karner, M.; Glawar, R.; Sihm, W.; Matyas, K. (2019): An industry-oriented approach for machine condition-based production scheduling. In: Procedia CIRP, Jg. 81, S. 938–943.
- Keller, G.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W. (1992): Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage "Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)". Institut für Wirtschaftsinformatik. (Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH), Universität des Saarlandes, Saarbrücken - Publikationen).
- Kelly, A. (2006a): Maintenance Systems and Documentation. 1st ed, Amsterdam ; Boston ; London: Butterworth-Heinemann.
- Kelly, A. (2006b): Managing Maintenance Resources. 1. ed., reprinted, Amsterdam: Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-7506-6993-1.

- Kelly, A. (2007): Strategic Maintenance Planning. 1st ed, Amsterdam ; Boston ; London: Butterworth-Heinemann.
- Kinz, A. (2017): Ausgestaltung einer dynamischen, lern- und wertschöpfungsorientierten Instandhaltung. Dissertation, Leoben: Montanuniversität.
- Koontz, H.; Cyril, O. (1955): Principles of management: an analysis of managerial functions. New York Toronto London: McGraw-Hill Book Company, INC.
- Koukias, A.; Nadoveza, D.; Kiritsis, D. (2013): Semantic Data Model for Operation and Maintenance of the Engineering Asset. In: Emmanouilidis, C.; Taisch, M.; Kiritsis, D. (Hrsg.): Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-40360-6, S. 49–55.
- Krcmar, H. (2015): Informationsmanagement. 6., überarbeitete Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Gabler. ISBN 978-3-662-45862-4.
- Kritzinger, W.; Karner, M.; Traar, G.; Henjes, J.; Sihn, W. (2018): Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. In: IFAC-PapersOnLine, Jg. 51, Nr. 11, S. 1016–1022.
- Kurzrock, R. (1972): Systemtheorie. Berlin: Colloquium Verlag Otto H. Hess.
- Kühnast, R. (2018): IT-Struktur. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Benchmark - Instandhaltung: eine Studie zum Reifegrad von Instandhaltungsorganisationen der DACH-Region. Köln: TÜV Media GmbH. ISBN 978-3-7406-0360-1 (Praxiswissen Instandhaltung)., S. 77–86.
- Labib, A.W. (2004): A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. In: Journal of Quality in Maintenance Engineering, Jg. 10, Nr. 3, S. 191–202.
- Laguna, M.; Marklund, J. (2019): Business process modeling, simulation and design. Third Edition, Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-138-06173-6.
- Laudon, K.C.; Laudon, J.P.; Schoder, D. (2010): Wirtschaftsinformatik: eine Einführung. Pearson Deutschland GmbH. ISBN 978-3-8273-7348-9.
- Leidinger, B. (2017): Wertorientierte Instandhaltung: Kosten senken, Verfügbarkeit erhalten. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiesbaden, Germany: Springer Gabler. ISBN 978-3-658-17854-3.
- Matyas, K. (1999): Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern. Auflage: o. A., München: Fachbuchverlag Leipzig. ISBN 978-3-446-21070-7.
- Mertens, P.; Bodendorf, F.; König, W.; Schumann, M.; Hess, T.; Buxmann, P. (2017): Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 12. Aufl. 2017, Berlin: Springer Gabler. ISBN 978-3-662-53361-1.
- Mertens, P.; Bodendorf, F.; König, W.; Schumann, M.; Picot, A. (2000): Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 6. Auflage 2000, Berlin: Springer Gabler. ISBN 978-3-662-53361-1.

- Mexis, N.D. (1992): Erfolgreiches Rationalisieren in der Konsumgüter-, Verpackungs- und Verfahrensindustrie. Heidelberg: Verlag für Fachliteratur GmbH. ISBN 3-920993-01-2.
- Männel, W. (1992): Anlagenausfallkosten. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Instandhaltungsmanagement. 2. Aufl., Köln: Verl. TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-822-5 (Handbuch Instandhaltung), S. 731–740.
- Nakajima, S. (1988): Introduction to TPM - Total Productive Maintenance. Portland: Productivity Press.
- Nemeth, T.; Ansari, F.; Sihm, W.; Haslhofer, B.; Schindler, A. (2018): PriMa-X: A reference model for realizing prescriptive maintenance and assessing its maturity enhanced by machine learning. In: Procedia CIRP, Jg. 72, S. 1039–1044.
- Oktavia, T.; Wongso, A. (2015): ASSET MANAGEMENT SYSTEM FOR COMPUTER LABORATORY. In: . Vol., S. 6.
- Patel, A.R. (2012): Data modeling techniques for data warehouse. In: International Journal of Multidisciplinary Research, Jg. 2, Nr. 2, S. 240–246.
- Pawellek, G. (2016): Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik: Vorgehensweisen, Methoden, Tools. 2. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg. (VDI-Buch). ISBN 978-3-662-48666-5.
- Proksch, R. (1999): Auftragsplanung und -steuerung der Instandhaltung in dezentralen Produktionsstrukturen. In: Instandhaltungsmanagement in neuen Organisationsformen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. .
- Reidt, A. (2019): Referenzarchitektur eines integrierten Informationssystems zur Unterstützung der Instandhaltung. Dissertation, München: Technische Universität München.
- Ropohl, G. (2009): Allgemeine Technologie - Eine Systemtheorie der Technik. 3. überarbeitete Auflage, Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Rumpe, B. (2016): Modeling with UML. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-319-33932-0.
- Scheer, A.-W. (1999a): ARIS - Business Process Modeling. 3. Auflage, Saarbrücken: Springer-Verlag. ISBN 3-540-65835-1.
- Scheer, A.-W. (1999b): ARIS - House of Business Engineering: Konzept zur Beschreibung und Ausführung von Referenzmodellen. In: Becker, J. (Hrsg.): Referenzmodellierung: State-of-the-Art und Entwicklungsperspektiven. Heidelberg: Physica-Verl. ISBN 978-3-7908-1149-0, S. 2–21.
- Scheer, A.-W. (2000): ARIS- business process modeling. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-65835-1.
- Schreyögg, G.; Koch, J. (2007): Grundlagen des Managements: Basiswissen für Studium und Praxis. 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler. (Gabler Lehrbuch). ISBN 978-3-8349-0376-1.
- Schröder, W. (2010): Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement: Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung. Springer-Verlag. ISBN 978-3-8349-8481-4.

- Schütte, R. (1998): Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Wiesbaden: Gabler Verlag. ISBN 978-3-409-12843-8.
- Schönsleben, P. (2001): Integrales Informationsmanagement. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-62590-9.
- Seidlmeier, H. (2004): Process Modeling with ARIS: A Practical Introduction. Springer Science & Business Media. ISBN 978-3-528-05877-7.
- Sherwin, D. (2000): A review of overall models for maintenance management. In: Journal of Quality in Maintenance Engineering, Jg. 6, Nr. 3, S. 138–164.
- Sihn, W. (1992): Ein Informationssystem für Instandhaltungsleitstellen. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-540-55853-8.
- Sihn, W.; Matyas, K. (2011): Lean Maintenance Standardisierung und Optimierung von Instandhaltungsprozessen. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Maintenance Null-Verschwendung durch schlanke Strukturen und wertsteigernde Managementkonzepte. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-8249-1456-2 (Instandhaltungsforum; 25), S. 59–78.
- Sihn, W.; Nemeth, T.; Geißler, P. (2016): Smart Factory bedarf Smart Maintenance. In: Biedermann, H. (Hrsg.): Lean Smart Maintenance - Controlling. Köln: TÜV Media. ISBN 978-3-7406-0096-9 (Instandhaltungsforum; 30), S. 9–18.
- Song, I.-Y.; Evans, M.; Park, E.K. (1995): A Comparative Analysis of Entity-Relationship Diagrams. In: Journal of Computer and Software Engineering, Jg. 3, Nr. 4, S. 427–459.
- Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie. Berlin, Paderborn: Springer Verlag.
- Staud, J.L. (2005): Datenmodellierung und Datenbankentwurf: ein Vergleich aktueller Methoden. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-20577-7.
- Stender, S. (1992): Ablauforganisation für den Instandhaltungsbereich. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Instandhaltungsmanagement. Köln: Verl. TÜV Rheinland. ISBN 978-3-88585-822-5, S. 353–375.
- Stewart, G. (1997): Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross-industry framework for integrated supply-chain management. In: Logistics Information Management, Jg. 10, Nr. 2, S. 62–67 MCB UP Ltd.
- Strahinger, S. (1998): Ein sprachbasierter Metamodellbegriff und seine Verallgemeinerung durch das Konzept des Metaisierungsprinzips. In: CEUR Workshop Proceedings zur Modellierung '98. Münster. .
- The Global Forum on Maintenance and Asset Management (GFAMM) (2014): The Asset Management Landscape. ISBN 978-0-9871799-2-0.
- Thommen, J.-P.; Achleitner, A.-K.; Gilbert, D.U.; Hachmeister, D.; Kaiser, G. (2017): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Hauptband: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht. 8., vollständig überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Springer Gabler. (Lehrbuch). ISBN 978-3-658-07767-9.
- Tsang, A.H.C. (2002): Strategic dimensions of maintenance management. In: Journal of Quality in Maintenance Engineering, Jg. 8, Nr. 1, S. 7–39.

- Ulrich, H. (1984): Management. Bern: Haupt. ISBN 978-3-258-03446-1.
- Ulrich, H. (2001): Systemorientiertes Management. Bern: Haupt. ISBN 978-3-258-06359-1.
- Wimmer, A.; Kühnast, R.; Bernerstätter, R. (2018): Predictive Maintenance in österreichischen Unternehmen - Österreich Studie 2018, ÖVIA & IPN, 2018.
- Wireman, T. (2004): Benchmarking best practices in maintenance management. New York: Industrial Press. ISBN 978-0-8311-3168-5.
- Wittmann, W. (1959): Unternehmung und Unvollkommene Information. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. ISBN 978-3-322-98247-6.
- Wohlfeld, D.; Weiss, V.; Becker, B. (2017): Digital Shadow – From production to product. In: Bargende, M.; Reuss, H.-C.; Wiedemann, J. (Hrsg.): 17. Internationales Stuttgarter Symposium. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN 978-3-658-16987-9, S. 783–794.
- Wolf, J. (2011): Organisation, Management, Unternehmensführung: Theorien, Praxisbeispiele und Kritik. 4., vollst. überarb. und erw. Aufl, Wiesbaden: Gabler. (Gabler-Lehrbuch). ISBN 978-3-8349-2628-9.
- Wöhe, G.; Döring, U.; Brösel, G. (2016): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 26. Aufl., München: Franz Vahlen GmbH. ISBN 978-3-8006-5000-2.
- Zimmermann, D. (1972): Produktionsfaktor Information. Neuwien, Berlin: Luchterhand.

# Anhang

ZIELEBENE 1	ZIELEBENE 2	ZIELEBENE 3	ZIELEBENE 4	ZIELEBENE 5
ZIELE AUS FUNKTIONSMODELL			Ressourcenverbrauch identifizieren	Z3_5_1_Materialplankosten bestimmen
		Direkte Instandhaltungskosten optimieren	Ressourcenplanung für IH-Strategie durchführen	Z3_5_1_Betriebsmittelplankosten bestimmen
			Z3_1_Ressourcenplanung miteinbeziehen	Z3_5_1_Fremddienstleistungsplankosten bestimmen
			Instandhaltungskosten identifizieren	Z3_5_1_Personalplankosten bestimmen
		Z3_1_Budgetplanung miteinbeziehen		Z7_2_Verbräuche erfassen
	Instandhaltungskosten optimieren	Z3_6_Optimalen Strategiemix definieren		Z7_2_Kosten erfassen und überwachen
		Z3_7_IH-Strategie im Budget halten	Ausfallkosten bestimmen	Z3_2_Ausfallkosten in hinreichender Genauigkeit bestimmen
				Z3_3_Unternehmensspezifische Kriterien auswählen und gewichten
			Anlagenkritikalität bestimmen	Z3_3_Anlagen mit hohem Risiko identifizieren
				Z3_4_Schwerpunktanlagen bestimmen
		Indirekte Instandhaltungskosten optimieren		Z5_3_Folgewirkungen erkennen
				Z5_3_Kriterienauswahl und -gewichtung kontinuierlich verbessern
			Wiederkehrende Fehler minimieren	Z5_1_Schaden klassifizieren
Gewinnmaximierung			Z6_1_2_Qualifiziertes Personal für die Instandhaltungsaufträge auswählen	Z5_1_Schaden dokumentieren
			Z6_1_3_Keine Wartezeiten für Material und Ersatzteile	Z5_2_Ursachen ermitteln
		Ausfallzeit optimieren / verfügbare Zeit optimieren	Z6_1_3_Material und Ersatzteile bereitstellen	Z5_2_Einflussparameter ermitteln
			Z6_1_3_Bestand wiederauffüllen	Z5_2_Ursachencodes ermitteln
			Z6_1_4_Verfügbarkeit für Betriebsmittel gegeben	Z5_3_Folgewirkungen erkennen
			Z6_2_1_Arbeitsablaufplan erstellen	Z5_4_Maßnahmenplan erstellen
			Z6_2_2_Bedarfsermittlung Material abschließen	Z4_2_1 Störungen nach unternehmensspezifischen Dimensionen analysieren
			Z6_2_2_Bedarfsermittlung Ersatzteile abschließen	Z4_2_2_Ressourcengroßplanung für reaktive Instandhaltung erstellen – Kapazitäten einplanen
		Z3_6_Optimalen Strategiemix definieren	Z6_2_2_Bedarfsermittlung Mitarbeiterstunden abschließen	
	Anlagenverfügbarkeit optimieren (Produktionskapazität / -output optimieren)	Z7_2_Zustandsänderungen der Aufträge erfassen	Z6_2_3_Reihenfolge IH-Tätigkeiten festlegen	
			Z6_2_3_Terminplanung abschließen	
			Z6_2_3_Produktionsplanung koordinieren	Z8_3_Störung ressourceneffizient beheben
				Z8_3_Schaden klassifizieren
			Korrektive Instandhaltung durchführen und optimieren	Z8_3_Reparatordauer minimieren
				Z8_3_Minimale Wegzeit
		Zuverlässigkeit optimieren / Ausfallwahrscheinlichkeit optimieren	Z6_1_2_Qualifiziertes Personal für die Instandhaltungsaufträge auswählen	Z4_1_1_Wartungsplan nach Herstellerangaben erstellen
			Z8_1_Abnutzungsvorrat wiederherstellen	Z4_1_2_Wartungsplan mit Erfahrungswissen optimieren
				Z4_1_3_Einflussfaktoren identifizieren
			Präventive Instandhaltung durchführen und optimieren	Z4_1_3_Prognosemodell erstellen
				Z4_1_3_Kosten/Nutzen abschätzen

Abbildung 95: Vergleich des Zielmodells



**Tabelle 17: Modellierte Funktionen nach Regelkreis und Prozessdetailgrad**

Regelkreis	Grundprozesse	Hauptprozesse	Detailprozesse
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_1_Ableitung IH-Strategie aus Zielsystem	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_2_Bestimmung Ausfallkosten	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_3_Anlagenkritikalitätsbestimmung	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_4_Identifikation Schwerpunktanlagen	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_5_1_Kostenanalyse	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_5_2_Schwachstellenanalyse	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_6_Anpassung Strategiemix	
Strategisch	3_IH-Strategieplanung	3_7_Abgleich IH-Strategie mit Budget- und Ressourcenplanung	
Strategisch-Operativ	4_IH-Programmplanung	4_1_Planung Wartung	4_1_1_Herstellerangaben analysieren
Strategisch-Operativ	4_IH-Programmplanung	4_1_Planung Wartung	4_1_2_Erfahrungswerte einsetzen
Strategisch-Operativ	4_IH-Programmplanung	4_1_Planung Wartung	4_1_3_Wartungszeitpunkt prognostizieren
Strategisch-Operativ	4_IH-Programmplanung	4_2_Planung Entstörung	4_2_1_Störungen analysieren
Strategisch-Operativ	4_IH-Programmplanung	4_2_Planung Entstörung	4_2_2_Ressourcengrobplanung
Strategisch-Operativ	5_Schwachstellenanalyse	5_1_Schadensanalyse	
Strategisch-Operativ	5_Schwachstellenanalyse	5_2_Feststellung Ursachen für die Schäden	
Strategisch-Operativ	5_Schwachstellenanalyse	5_3_Ermittlung Folgewirkungen	
Strategisch-Operativ	5_Schwachstellenanalyse	5_4_Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten zur Beseitigung der Schwachstellen	
Operativ	6_IH-Durchführungsplanung	6_1_Bereitstellungsplanung	6_1_1_Personalidentifizierung und -zuweisung
Operativ	6_IH-Durchführungsplanung	6_1_Bereitstellungsplanung	6_1_2_Beschaffung Material und Ersatzteile
Operativ	6_IH-Durchführungsplanung	6_1_Bereitstellungsplanung	6_1_3_Sicherstellung Verfügbarkeit Werkzeuge, Transport-, Hebe- und Stützeinrichtungen
Operativ	6_IH-Durchführungsplanung	6_2_Ablaufplanung	6_2_1_Bearbeitungsplanung

Operativ	6_IH-Durchführungsplanung	6_2_Ablaufplanung	6_2_2_Mengenplanung
Operativ	6_IH-Durchführungsplanung	6_2_Ablaufplanung	6_2_3_Zeitplanung
Operativ	7_Auftragssteuerung	7_2_Auftragsüberwachung	
Operativ	8_Instandhaltungsdurchführung	8_1_Wartung	
Operativ	8_Instandhaltungsdurchführung	8_3_Instandsetzung	

**Tabelle 18: Entitäten und zugeordnete Attribute des Datenmodells**

<b>Entität</b>	<b>Attribut</b>
D1_Mitarbeiter	D1_MitarbeiterID
D1_Mitarbeiter	D1_Qualifizierung
D1_Mitarbeiter	D1_Schichtplan
D1_Mitarbeiter	D1_Stundensatz
D1_Mitarbeiter	D1_MitarbeiterKosten
D2_Anlage	D2_AnlageID
D2_Anlage	D2_Anforderungen
D2_Anlage	D2_IH-Vorgänge
D2_Anlage	D2_AnlagenKritikalität
D2_Anlage	D2_AnlagenPriorität
D2_Anlage	D2_Produktionsplan
D2_Anlage	D2_Budget
D2_Anlage	D2_Strategie
D2_Anlage	D2_Instandhaltungskosten
D2_Anlage	D2_ZustandAnlage
D2_Anlage	D2_WartungsintervallHersteller
D2_Anlage	D2_WartungsintervallErfahrung
D2_Anlage	D2_Ergebnis_PdM
D2_Anlage	D2_StrategieKosten
D2_Anlage	D2_TechnischeSpezifikation
D2_Anlage	D2_TopStörungen
D2_Anlage	D2_AusfallkostenStundensatz
D2_Anlage	D2_Einflussfaktoren

D3_Auftragswesen	D3_AuftragsID
D3_Auftragswesen	D3_Auftragsanforderungen
D3_Auftragswesen	D3_IH-Vorgänge
D3_Auftragswesen	D3_MaterialmengeSOLL
D3_Auftragswesen	D3_ErsatzteilmengeSOLL
D3_Auftragswesen	D3_MitarbeiterstundenSOLL
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsKritikalität
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsPriorisierung
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsZustand
D3_Auftragswesen	D3_MaterialmengeIST
D3_Auftragswesen	D3_ErsatzteilmengeIST
D3_Auftragswesen	D3_MitarbeiterstundenIST
D3_Auftragswesen	D3_ReparaturSTART
D3_Auftragswesen	D3_ReparaturENDE
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsKosten
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsStart
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsEnde
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsPlanStart
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsPlanEnde
D3_Auftragswesen	D3_AuftragsPlanKosten
D4_Materialwirtschaft	D4_MaterialID
D4_Materialwirtschaft	D4_MaterialBezeichnung
D4_Materialwirtschaft	D4_MaterialBestand
D4_Materialwirtschaft	D4_MaterialKosten
D4_Materialwirtschaft	D4_MaterialOrt
D4_Materialwirtschaft	D4_Material_Spez
D5_Ersatzteilmwirtschaft	D5_ErsatzteilID
D5_Ersatzteilmwirtschaft	D5_ErsatzteilBezeichnung
D5_Ersatzteilmwirtschaft	D5_ErsatzteilBestand
D5_Ersatzteilmwirtschaft	D5_ErsatzteilKosten
D5_Ersatzteilmwirtschaft	D5_ErsatzteilOrt
D5_Ersatzteilmwirtschaft	D5_Ersatzteil_Spez

D6_Werkzeuge	D6_WerkzeugID
D6_Werkzeuge	D6_WerkzeugBezeichnung
D6_Werkzeuge	D6_WerkzeugBestand
D6_Werkzeuge	D6_WerkzeugKosten
D6_Werkzeuge	D6_WerkzeugOrt
D7_Fuhrpark	D7_FahrzeugID
D7_Fuhrpark	D7_FahrzeugBezeichnung
D8_Ausrüstung	D8_AusrüstungsID
D8_Ausrüstung	D8_AusrüstungBezeichnung
D8_Ausrüstung	D8_AusrüstungsOrt
D9_Produktion	D9_ProduktionsauftragsID
D9_Produktion	D9_ProduktionsMerkmal
D9_Produktion	D9_WertMerkmal
D10_Schadenserfassung	D10_SchadensID
D10_Schadenserfassung	D10_SchadensCode
D10_Schadenserfassung	D10_UrsachenCode
D10_Schadenserfassung	D10_SchadensMerkmal
D11_Meldewesen	D11_MeldeID
D11_Meldewesen	D11_MeldeZeit
D12_Kritikalität	D12_KriteriumID
D12_Kritikalität	D12_KriteriumGruppe
D12_Kritikalität	D12_KriteriumArt
D12_Kritikalität	D12_KriteriumWert
D12_Kritikalität	D12_KriteriumSkala
D12_Kritikalität	D12_KriteriumDimension
D12_Kritikalität	D12_Gewichtung
D12_Kritikalität	D12_Wahrscheinlichkeit
D12_Kritikalität	D12_Konsequenz
D13_Ausfallkosten	D13_KostenID
D13_Ausfallkosten	D13_Ausschusskosten
D13_Ausfallkosten	D13_Nachbesserungskosten
D13_Ausfallkosten	D13_Wertminderungskosten

D13_Ausfallkosten	D13_Erlösminderungskosten
D13_Ausfallkosten	D13_Kosten durch verspäteten Zahlungseingang
D13_Ausfallkosten	D13_Konventionalstrafkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Schadensersatzforderungen
D13_Ausfallkosten	D13_Materialkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Beschaffungskosten
D13_Ausfallkosten	D13_Änderungs- und Anfahrtkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Personalkosten für fremderstellte Leistungen
D13_Ausfallkosten	D13_Lagerkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Energiekosten
D13_Ausfallkosten	D13_Personalkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Werkzeugkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Zinskosten
D13_Ausfallkosten	D13_Raumkosten
D13_Ausfallkosten	D13_Bereitschaftsbezogene Kosten
D13_Ausfallkosten	D13_Abschreibungen oder Miet-/Leasingkosten für Produktionssysteme
D14_Instandhaltungskosten	D14_KostenID
D14_Instandhaltungskosten	D14_KostenArt
D14_Instandhaltungskosten	D14_KostenWert
D15_Zielsystem	D15_ZielID
D15_Zielsystem	D15_ZielBezeichnung
D15_Zielsystem	D15_ZielDimension
D15_Zielsystem	D15_ZielSollWert
D15_Zielsystem	D15_ZiellstWert
D16_Kennzahlensystem	D16_KennzahlenID
D16_Kennzahlensystem	D16_KennzahlenBezeichnung
D16_Kennzahlensystem	D16_KennzahlenBestandteil
D16_Kennzahlensystem	D16_KennzahlenFormel
D16_Kennzahlensystem	D16_KennzahlenWert
D17_ConditionMonitoring	D17_CMSID

D17_ConditionMonitoring	D17_CMSArt
D17_ConditionMonitoring	D17_CMSWert
D17_ConditionMonitoring	D17_CMSKosten
D18_Prozessparameter	D18_ProzessparameterID
D18_Prozessparameter	D18_ProzessparameterBezeichnung
D18_Prozessparameter	D18_ProzessparameterDimension
D18_Prozessparameter	D18_ProzessparameterWert
D18_Prozessparameter	D18_ProzessparameterGrenzwert

**Tabelle 19: Ziele abgeleitet aus der Steuerungsperspektive**

3_Strategieplanung	Z3_1_Grobe Strategie festlegen
3_Strategieplanung	Z3_1_Budgetplanung miteinbeziehen
3_Strategieplanung	Z3_1_Ressourcenplanung miteinbeziehen
3_Strategieplanung	Z3_2_Ausfallkosten in hinreichender Genauigkeit bestimmen
3_Strategieplanung	Z3_3_Unternehmensspezifische Kriterien auswählen und gewichten
3_Strategieplanung	Z3_3_Anlagen mit hohem Risiko identifizieren
3_Strategieplanung	Z3_4_Schwerpunktanlagen bestimmen
3_Strategieplanung	Z3_5_1_Fremddienstleistungskosten bestimmen
3_Strategieplanung	Z3_5_1_Personalkosten bestimmen
3_Strategieplanung	Z3_5_1_Materialkosten bestimmen
3_Strategieplanung	Z3_5_1_Betriebsmittelkosten bestimmen
3_Strategieplanung	Z3_6_Optimalen Strategiemix definieren
3_Strategieplanung	Z3_7_Budgetplanung mit der Strategieplanung fein abstimmen
3_Strategieplanung	Z3_7_Ressourcenplanung mit der Strategieplanung fein abstimmen
4_Programmplanung	Z4_1_1_Wartungsplan nach Herstellerangaben erstellen
4_Programmplanung	Z4_1_2_Wartungsplan mit Erfahrungswissen optimieren
4_Programmplanung	Z4_1_3_Einflussfaktoren identifizieren
4_Programmplanung	Z4_1_3_Prognosemodell erstellen

4_Programmplanung	Z4_1_3_Kosten/Nutzen abschätzen
4_Programmplanung	Z4_2_1_Störungen nach unternehmensspezifischen Dimensionen analysieren
4_Programmplanung	Z4_2_2_Ressourcengrobplanung für reaktive Instandhaltung erstellen – Kapazitäten einplanen
5_Schwachstellenanalyse	Z5_1_Schaden klassifizieren
5_Schwachstellenanalyse	Z5_1_Schaden dokumentieren
5_Schwachstellenanalyse	Z5_2_Ursachen ermitteln
5_Schwachstellenanalyse	Z5_2_Ursachencodes ermitteln
5_Schwachstellenanalyse	Z5_3_Folgewirkungen erkennen
5_Schwachstellenanalyse	Z5_3_Kriterienauswahl und –gewichtung kontinuierlich verbessern
5_Schwachstellenanalyse	Z5_4_Maßnahmenplan erstellen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_1_1_Qualifiziertes Personal für die Instandhaltungsaufträge auswählen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_1_3_Wartezeiten auf Material und Ersatzteile minimieren
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_1_2_Material und Ersatzteile bereitstellen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_1_2_Bestand wiederauffüllen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_1_3_Verfügbarkeit für Betriebsmittel gegeben
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_1_Arbeitsablaufplan erstellen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_2_Bedarfsermittlung Material abschließen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_2_Bedarfsermittlung Ersatzteile abschließen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_2_Bedarfsermittlung Mitarbeiterstunden abschließen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_3_Reihenfolge IH-Tätigkeiten festlegen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_3_Terminplanung abschließen
6_IH-Durchführungsplanung	Z6_2_3_Produktionsplanung koordinieren
7_Auftragssteuerung	Z7_2_Zustandsänderungen der Aufträge erfassen
7_Auftragssteuerung	Z7_2_Verbräuche erfassen
7_Auftragssteuerung	Z7_2_Kosten erfassen und überwachen
8_IH-Durchführung	Z8_1_Abnutzungsvorrat wiederherstellen
8_IH-Durchführung	Z8_2_Zustand ermitteln
8_IH-Durchführung	Z8_3_Störung ressourceneffizient beheben

---

8_IH-Durchführung	Z8_3_Schaden klassifizieren
8_IH-Durchführung	Z8_3_Reparaturdauer minimieren
8_IH-Durchführung	Z8_3_Minimale Wegzeit