

OTTO - VON - GUERICKE -  
UNIVERSITÄT  
MAGDEBURG

Annegret Brandau

Ganzheitliches Konzept  
zur Modellierung und Analyse  
von Zustandsdaten logistischer Objekte



Institut für  
Logistik und Materialflusstechnik



# **Ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte**

## **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieurin  
(Dr.-Ing.)**

von Dipl.-Math. Annegret Brandau  
geb. am 14. Juni 1982 in Hofgeismar

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

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk  
Prof. Prof. h. c. Dr.-Tech. habil. PhD. Béla Illés

Promotionskolloquium am 28. April 2015

## **Impressum**

Annegret Brandau

Ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte

Kontaktadresse:

Institut für Logistik und Materialflusstechnik

Fakultät für Maschinenbau

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg

[www.ilm.ovgu.de](http://www.ilm.ovgu.de)

Verlag:

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Universitätsplatz 2

39106 Magdeburg

<http://www.ovgu.de>

Herstellung:

docupoint GmbH

Otto-von-Guericke-Allee 14

39179 Barleben

Umschlagentwurf und -gestaltung:

Arnhild Gerecke

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

ISBN 978-3-944722-28-3

© Annegret Brandau, 2015

# Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk für die Betreuung meiner Arbeit, das entgegengebrachte Vertrauen und die langjährige Unterstützung und Förderung meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin.

Weiterhin bedanke ich mich recht herzlich bei Herrn Prof. Prof. h. c. Dr.-Tech. habil. PhD. Béla Illés für die Begutachtung meiner Arbeit. Herrn Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Ebenso möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Juri Tolujew dafür bedanken, dass er immer für Diskussionen Zeit gefunden hat und meine Arbeit mit seinen Ideen und Anregungen vorangebracht hat. Frau Dr.-Ing. Elke Glistau möchte ich für die vielen fachlichen und freundschaftlichen Gespräche danken.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Martin Bludowsky danke ich für die Erstellung des Simulationsmodells und Dipl.-Wirtsch.-Ing. Fabian Wewers für die Anregungen zur Anwendung von mehrdimensionalen Analysemethoden, während ihrer studentischen Tätigkeit am ILM und Fraunhofer IFF. Ich möchte mich außerdem bei Dr. Christine Knist, Dr. David Schwefel, Krister Johnson, M. A., Dipl.-Math. Marina Hohenadel und Dr. Stefan Hohenadel für das Korrekturlesen meiner Arbeit bedanken.

Ebenso möchte ich meinen Kollegen vom Lehrstuhl Logistische Systeme sowie allen Kolleginnen und Kollegen des ILM und Fraunhofer IFF für die vielen Gespräche und Diskussionen, die mich bei der Erarbeitung meiner Dissertation vorangebracht haben, einen großen und herzlichen Dank aussprechen.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei meinen Freunden und meiner Familie. Vielen Dank, dass ihr immer für mich da seid und mich bei der Fertigstellung meiner Arbeit unterstützt habt. Meiner Schwester Christine möchte ich dafür danken, dass sie immer für mich Zeit gefunden hat, mir zugehört hat und mich unterstützt hat, die Arbeit abzuschließen. Meinen beiden Brüdern, Robert und Friedrich, danke ich dafür, dass sie mir stets zur Seite stehen und ich immer auf sie zählen kann. Ganz besonders möchte ich meiner Mutter danken, ohne sie wäre mir dieser Weg nie möglich gewesen. Danke Mama, dass du immer an mich glaubst und für mich da bist. Ich danke außerdem meinem Freund David, auf dessen Unterstützung und Geduld ich immer zählen konnte. Danke, dass du mich motiviert hast, die Arbeit fertig zu stellen.

Magdeburg, Mai 2015

Annegret Brandau



# Kurzfassung

Die Integration der digitalen in die reale Welt hat Einzug in Logistik- und Produktionssysteme gefunden und wird als die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) bezeichnet. Das jährliche, weltweite Datenvolumen wird sich in den nächsten Jahren auf das Zehnfache erhöhen und nur beherrschbar sein, wenn Informationssysteme dieses zielführend verarbeiten können. Eine Vielzahl der physischen Objekte eines logistischen Systems ist schon heute mit Technologien ausgestattet, welche die aktuellen Zustände der Objekte permanent aufzeichnen und verarbeiten. Damit die Informationspotentiale der Zustandsdaten zur operativen Überwachung und Steuerung der Logistikprozesse vollständig ausgeschöpft werden können, müssen interdisziplinäre Modellierungs- und Analysekonzepte entwickelt werden, die sowohl die Sichtweise der Logistik als auch die der Informatik berücksichtigen.

Der Bereich des Knowledge Discovery in Databases beinhaltet verschiedene Verfahrensgruppen zur Analyse großer Datenmengen. Diese eignen sich zur Analyse logistischer Zustandsdaten, kommen jedoch noch nicht ausreichend zur Anwendung. In der Literatur existieren lediglich für spezifische Problemstellungen Ansätze zur Analyse logistischer Zustandsdaten mit Methoden des Data Mining. Nur wenige Konzepte beinhalten sowohl die Modellierung der Struktur der Zustandsdaten auf Basis des realen logistischen Systems als auch die Aufbereitung der Rohdaten aus den zur Überwachung der Objekte implementierten Technologien. Auch die konkrete Übertragung der Anforderungen des operativen Logistikmanagements in Verfahren zur Analyse der Zustandsdaten wird nur selten dargestellt.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte. In der ersten Phase des Konzepts wird eine systematische Vorgehensweise zur Entwicklung des konzeptionellen Modells des realen logistischen Systems sowie zur Ableitung der Struktur der Zustandsdaten entwickelt. Es werden Vorgaben zur Transformation der Rohdaten des realen Systems in die Struktur der Zustandsdaten abgeleitet. Die zweite Phase beinhaltet die Ermittlung und Spezifikation der Anforderungen des operativen Logistikmanagements an die Analyse der Zustandsdaten. Für jede Anforderung werden konkrete Analyseverfahren bestimmt, spezifiziert und validiert. Die letzte Phase des Konzepts dient zur Ermittlung noch unbekannter Anforderungen des operativen Logistikmanagements an die Datenanalysen. Es werden verschiedene Verfahrensgruppen auf die Zustandsdaten angewendet, um zu prüfen, ob deren Ergebnisse neue Informationen über das Verhalten der logistischen Objekte liefern. Das entwickelte Konzept trägt damit im hohen Maße zur ganzheitlichen und integrativen Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte für die operative Überwachung und Steuerung logistischer Prozesse bei.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>Formelzeichenliste</b>	<b>xix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Problemstellungen . . . . .	3
1.3 Zielstellung . . . . .	6
1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Abgrenzung der Problemstellungen in der Logistik</b>	<b>9</b>
2.1 Definition der Logistik . . . . .	9
2.2 Die 6+2 Richtigen der Logistik . . . . .	11
2.3 Einteilungsmöglichkeiten der Logistik . . . . .	14
2.4 Logistische Systeme . . . . .	15
2.5 Logistische Objekte . . . . .	20
2.6 Logistische Prozesse . . . . .	23
2.7 Logistikmanagement . . . . .	23
2.7.1 Operatives Logistikmanagement . . . . .	24

---

<b>3</b>	<b>Informationssysteme für das operative Logistikmanagement</b>	<b>37</b>
3.1	Zeichen, Daten, Informationen und Wissen . . . . .	37
3.2	Datenarten . . . . .	38
3.3	Informationssysteme . . . . .	39
3.4	Informationssysteme in der Logistik . . . . .	41
3.4.1	Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien . . . . .	44
3.4.2	Data-Warehouse-System . . . . .	45
3.4.3	Manufacturing Execution System . . . . .	47
3.4.4	Warehouse Management System . . . . .	47
3.4.5	Transport Management System . . . . .	48
3.4.6	Supply Chain Event Management System . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Abgrenzung der Problemstellungen in der Informatik</b>	<b>51</b>
4.1	Software Engineering . . . . .	51
4.2	Requirements Engineering . . . . .	54
4.2.1	Anforderungsarten und -artefakte . . . . .	56
4.2.2	Anforderungsermittlung . . . . .	58
4.2.3	Anforderungsanalyse . . . . .	61
4.2.4	Anforderungsspezifikation . . . . .	62
4.2.5	Anforderungvalidierung . . . . .	62
<b>5</b>	<b>Methoden zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte</b>	<b>65</b>
5.1	Datenmodell . . . . .	65
5.2	Entity-Relationship-Modell . . . . .	66
5.2.1	Charakteristiken von Attributen . . . . .	67
5.3	Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte . . . . .	68
5.4	Methoden zur Datenanalyse aus dem Bereich des Knowledge Discovery in Databases . . . . .	71
5.4.1	Knowledge Discovery in Databases und Data Mining KDD . . . . .	71
5.4.2	CRoss Industry Standard Process for Data Mining CRISP-DM . . . . .	72

---

5.4.3	Verfahrensgruppen und Aufgabenklassen . . . . .	73
5.5	Anwendung der Methoden des KDD zur Analyse von logistischen Zustands- und Ereignisdaten . . . . .	79
5.5.1	Zusammenfassung von Zustands- und Ereignisdaten zu Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen . . . . .	79
5.5.2	Klassifikation von Zustands- und Ereignisdaten, Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen . . . . .	86
5.5.3	Abhängigkeitsanalyse in Zustands- und Ereignisdaten . . . . .	89
5.5.4	Clustering von Zustands- und Ereignisdaten . . . . .	91
5.5.5	Systematisierung der vorgestellten Methoden . . . . .	93
<b>6</b>	<b>Ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte</b>	<b>95</b>
6.1	Voraussetzungen zur Anwendung des ganzheitlichen Konzepts . . . . .	95
6.2	Entwicklungsphasen des ganzheitlichen Konzepts . . . . .	96
6.2.1	Situationsanalyse . . . . .	97
6.2.2	Anforderungsbestimmung . . . . .	107
6.2.3	Datenanalyse . . . . .	112
6.3	Ergebnisse des ganzheitlichen Konzepts . . . . .	113
<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>115</b>
7.1	Anwendungsbeispiel Frachtflughafen . . . . .	115
7.1.1	Situationsanalyse des Frachtflughafens . . . . .	116
7.1.2	Anforderungsbestimmung am Frachtflughafen . . . . .	136
7.1.3	Datenanalyse des Frachtflughafens . . . . .	152
7.2	Anwendungsbeispiel Wäscherei . . . . .	161
7.2.1	Situationsanalyse der Wäscherei . . . . .	161
7.2.2	Anforderungsbestimmung in der Wäscherei . . . . .	176
7.2.3	Datenanalyse der Wäscherei . . . . .	182
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>183</b>

<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>187</b>
<b>A Anhang zu Kapitel 7.1</b>	<b>201</b>
A.1 Herleitung der idealen Wertebereiche der Attribute der verschachtelten Objektmengen . . .	201
A.2 Ausschnitt aus den Test-Zustandsdaten der ULD-Container . . . . .	204
A.3 Abweichungen in der Sollvorgabe II - ULD-Container . . . . .	205
A.4 Abhängigkeitsanalyse in den Zustandsdaten des Frachtflughafens . . . . .	207

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Ideale Darstellung eines Informationssystems zur operativen Überwachung eines logistischen Systems . . . . .	3
1.2	Vorgehensweise der Arbeit . . . . .	7
2.1	Wirkungspläne der Regelung und Steuerung (a) Steuerung eines offenen Wirkungswegs, (b) Regelkreis eines geschlossenen Wirkungswegs, (a) nach [REINHARDT und BONGARDS, 2011, S. X2], (b) nach [REINHARDT und BONGARDS, 2011, S. X2] und [LUNZE, 2013, S. 4] . . . . .	26
2.2	Regelkreis des operativen Logistikmanagements i. A. a. [ULRICH und KRIEG, 1973, S. 30], [DEMING, 2000, S. 88 f.], [WIENDAHL, 2011, S. 40] und [VDI4493, 2013, S. 8] . . . . .	27
2.3	Phasen des SCEM integriert in den Regelkreis des operativen Logistikmanagements . . . . .	35
3.1	Semiotische Betrachtungsebenen des Informationsbegriffs nach [PETERSOHN, 2005, S. 7] . . . . .	38
3.2	Bestandteile eines Informationssystems nach [VIEWEG et al., 2012, S. 74] und [WEBER, 2012, S. 4] . . . . .	40
3.3	Einordnung gängiger logistischer Informationssysteme für das taktische und operative Management i. A. a. [STRAUBE, 2004, S. 94], [STRAUBE et al., 2008, S. 21] und [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 11ff] . . . . .	43
3.4	Referenzarchitektur eines Data Warehouse Systems nach [KÖPPEN et al., 2014, S. 36] . . . . .	45
3.5	Übersicht über Transformationen nach [KÖPPEN et al., 2014, S. 28] . . . . .	46
3.6	Idealisierter Aufbau eines SCEM-Systems i. A. a. [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 191] . . . . .	49
4.1	Ein Spiralmodell des Requirements Engineering Prozesses i. a. A. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 28, S. 35] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 99] . . . . .	55
4.2	Vorgehen zur Anforderungserhebung nach [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 59] . . . . .	59
4.3	Auswahl an Ermittlungstechniken nach [PARTSCH, 2010, S. 40] . . . . .	60

5.1	Phasen des Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) nach [CHAPMAN et al., 2000, S. 10] . . . . .	72
5.2	Einteilung der Clustering-Verfahren i. A. a. [PETERSOHN, 2005, S. 26 ff.] . . . . .	76
5.3	Exemplarische Netzstruktur für die Materialflussobjekte Güter (1. Ebene) sowie Materialflussobjekte LKW (2. Ebene) i. A. a. [SCHENK et al., 2006, S. 33] . . . . .	82
5.4	Kategorien zur Einteilung von Ereignissen i. A. a. [HEUSLER et al., 2006, S. 21 f.], [BAADER und MONTANUS, 2008, S. 5], [BENSEL et al., 2008, S. 9-13] und [STÖLZLE und REICHE, 2012, S. 550 f.] . . . . .	88
6.1	Entwicklungsphasen des ganzheitlichen Konzepts zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte . . . . .	96
6.2	Aufgabenbereiche der Situationsanalyse . . . . .	97
6.3	Aufbereitung der Probleme nach der Zielstellung . . . . .	100
6.4	Auswahl an möglichen Stammdaten i. A. a. [GUDEHUS, 2010, S.445-450] . . . . .	102
6.5	Beispielhafte Sollvorgaben für Objekte eines logistischen Systems . . . . .	103
6.6	Methode zur Ableitung der Einträge der Zustandsdaten logistischer Objekte . . . . .	105
6.7	Aufgabenbereiche der Anforderungsbestimmung . . . . .	107
6.8	Vorgehensweise der groben Systematisierung der Anforderungen . . . . .	109
6.9	Aufgabenbereiche der Datenanalyse . . . . .	112
7.1	Probleme des operativen Logistikmanagements am Frachtflughafen . . . . .	118
7.2	Relationen zwischen den Objektmengen des Frachtflughafens . . . . .	119
7.3	Systemstruktur und Objektfluss des Frachtflughafens . . . . .	120
7.4	Prozesse der bewegten Objekttypen . . . . .	120
7.5	Übersicht über eine Auswahl an ULD-Containern . . . . .	122
7.6	Datenmodell der Stammdaten der Objektmengen des Frachtflughafens . . . . .	123
7.7	Sollvorgaben für die ULD-Container . . . . .	124
7.8	Sollvorgaben für Flugzeuge und Schlepper . . . . .	124
7.9	Orts- und qualitätsbezogene Überwachung der ULD-Container am Frachtflughafen . . . . .	126
7.10	Orts- und instandhaltungsbezogene Überwachung der Flugzeuge und Schlepper am Frachtflughafen . . . . .	127

---

7.11	Darstellung der Struktur der Zustandsdaten des Frachtflughafens . . . . .	129
7.12	Ursache-Wirkungs-Diagramm für das Ereignis Kühlung defekt . . . . .	139
7.13	Ursache-Wirkungs-Diagramm für das Ereignis Erschütterung . . . . .	140
7.14	Entscheidungsbäume für den Soll-Ist-Vergleich der Sollvorgaben I und II . . . . .	144
7.15	Flussdiagramm der Abfrage nach Ursachen einer Erschütterung . . . . .	146
7.16	Zeitlicher Verlauf des Lagerbestands am Frachtflughafen . . . . .	149
7.17	Durchlaufdiagramm des Lagers am Frachtflughafen . . . . .	149
7.18	Leistung und Standzeiten der Schlepper im betrachteten Zeitraum . . . . .	150
7.19	Relative Auslastung der Schlepper am Frachtflughafen . . . . .	151
7.20	Durchlaufzeiten der ULD-Container am Frachtflughafen . . . . .	151
7.21	Eigenschaften der Cluster (für $k = 2, \dots, 6$ ) als Flussdiagramm . . . . .	160
7.22	Probleme des operativen Betriebs in einer Wäscherei . . . . .	163
7.23	Relationen zwischen Objektmengen der Wäscherei . . . . .	165
7.24	Systemstruktur und Objektfluss der Wäscherei . . . . .	166
7.25	Prozesse der bewegten Objektmengen der Wäscherei . . . . .	166
7.26	Sollvorgabe für die Wäschestücke . . . . .	168
7.27	Identifikationstechnologien der Wäscherei . . . . .	169
7.28	Struktur der Zustandsdaten der Objektmengen der Wäscherei . . . . .	171
7.29	Anzahl Waschzyklen ausgewählter Wäschestücke im betrachteten Zeitraum . . . . .	180
7.30	Boxplot-Diagramm der Durchlaufzeiten einer Wäschesorte im betrachteten Zeitraum . . . . .	181
A.1	Ursache-Wirkungs-Diagramm für eine nicht pünktliche Bereitstellung eines ULD-Containers	206



# Tabellenverzeichnis

2.1	Beschreibung der Logistikleistung mit den 6+2 Richtigen der Logistik i. A. a. [ILLÉS et al., 2007, S. 3] und [SCHENK et al., 2010, S. 226] . . . . .	13
2.2	Einteilungsmöglichkeiten der Logistik i. A. a. [ZIEMS, 2004, S. 44 f.], [ILLÉS et al., 2007, S. 2], [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.] . . . . .	16
2.3	Charakteristiken von Systemen i. A. a. [LUCKE, 2012, S. 38], [BARFUS, 2010, S. 16], [REGGELIN, 2011, S. 8] . . . . .	19
2.4	Beispiel einer Unterteilung von logistischen Objekten in Objekttypen und -mengen i. A. a. [ILLÉS et al., 2007, S. 4 f.], [SCHENK et al., 2007a, S. 223 f.] und [GUDEHUS, 2010, S. 410 ff.]	22
2.5	Einteilung der physischen Objekttypen i. A. a. [SCHENK et al., 2006, S. 30 f.], [TOLUJEW et al., 2007, S. 218 f.] und [SCHENK et al., 2007a, 223 f.] . . . . .	23
2.6	Aufgaben und Merkmale der Organisationsebenen des Logistikmanagements nach [GUDEHUS, 2010, S. 49] . . . . .	25
2.7	Auswahl typischer Attribute logistischer Objekte . . . . .	29
2.8	Beispiel für Störgrößen i. A. a. [SCHENK et al., 2007b, S. 5] . . . . .	30
3.1	Datenarten i. A. a. [MERTENS et al., 2012, S. 38] und [WEBER, 2012, S. 14 ff.] . . . . .	39
3.2	Morphologischer Kasten für Informationssysteme i. A. a. [MERTENS und MEIER, 2009, S. 3] und [MERTENS et al., 2012, S. 60] . . . . .	42
5.1	Zusammenhang zwischen Skalentypen, deren Eigenschaften und zulässigen Relationen sowie Beispielen i. A. a. [PETERSOHN, 2005, S. 67] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 33-37] .	68
5.2	Auswahl von Verfahren der Abhängigkeitsanalyse i. A. a. [FAYYAD et al., 1996b, S. 15 f.], [HIPPEL, 2004, S. 64 ff.], [PETERSOHN, 2005, S. 28 ff.], [BEEKMANN und CHAMONI, 2006, S. 266], [DONG und PEI, 2007, S. 15-20] und [CRAMER und KAMPS, 2014, S. 91-117] . . . . .	77

5.3	Zusammenhang zwischen Aufgabenklassen und Verfahrensgruppen i. A. a. [BERTHOLD et al., 2010, S. 12] . . . . .	79
5.4	Systematisierung der vorgestellten Verfahren nach Verfahrensgruppen, Eingabedaten und Ausgabedaten . . . . .	94
6.1	Zieldefinition mit Hilfe der 6+2 Richtigen der Logistik . . . . .	99
6.2	Analysetabelle für Abweichungen einer Sollvorgabe . . . . .	110
7.1	Zielstellung des Frachtflughafens . . . . .	117
7.2	Physische Objekttypen und -mengen des Frachtflughafens . . . . .	118
7.3	Identifikationsnummern der Objektmengen des Frachtflughafens . . . . .	121
7.4	Ableitung von Attributwerten der Objekte aus den Rohdaten Entladung und Beladung . .	132
7.5	Wertebereiche der Attribute der Test-Zustandsdaten für das Flughafenbeispiel . . . . .	135
7.6	Grobe Systematisierung der drei Anforderungen des Frachtflughafens . . . . .	138
7.7	Analysetabelle zu Abweichungen von der Soll-Vorgabe I . . . . .	141
7.8	Ursachenanalyse nach den sechs Fragestellungen für die Abweichung Erschütterung . .	142
7.9	Auswahl der Zustandsdaten der Klasse „Abweichung: Kühlung defekt“ für die Abweichung von der Soll-Vorgabe I im Attribut Kühlung . . . . .	145
7.10	Zustände der Klasse „Abweichung: mindestens einmal erschüttert“ für die Abweichung von der Soll-Vorgabe I im Attribut Erschütterung . . . . .	147
7.11	Auszug aus der Menge der Transaktionen des Attributs Ort der ULD-Container . . . . .	153
7.12	Large itemsets und Assoziationsregeln der Transaktionen zum Attribut Ort der ULD-Container . . . . .	154
7.13	Ausschnitt aus den Transaktionen, die die Orte enthalten, an denen eine Erschütterung eingetreten ist . . . . .	156
7.14	Large itemsets und Assoziationsregeln der Transaktionen, die die Orte enthalten, an denen eine Erschütterung eingetreten ist . . . . .	157
7.15	Zentroide der Cluster der Zustandsdaten für verschiedene Clusteranzahlen $k = 2, \dots, 6$ .	158
7.16	Zieldefinition einer Wäscherei nach den 6+2 Richtigen der Logistik . . . . .	162
7.17	Objekttypen und -mengen der Wäscherei . . . . .	164
7.18	Stammdaten der Objektmengen des Wäschereikreislaufs . . . . .	167

---

7.19	Ideale Wertebereiche der Attribute der Zustandsdaten der Objektmengen der Wäscherei . . . . .	172
7.20	Reale Wertebereiche der Attribute der Zustandsdaten der Objektmengen der Wäscherei . . . . .	174
7.21	Grobe Systematisierung der drei Anforderungen der Wäscherei . . . . .	178
A.1	Ausschnitt aus den Test-Zustandsdaten der ULD-Container . . . . .	204
A.2	Analysetabelle zu Abweichungen von der Soll-Vorgabe II . . . . .	206
A.3	Large itemsets der Zustandsdaten der ULD-Container . . . . .	207
A.4	Assoziationsregeln auf den large itemsets der Zustandsdaten der ULD-Container . . . . .	207
A.5	Large itemsets und Assoziationsregeln der Zustandsdaten der ULD-Container mit einer Erschütterung oder defekten Kühlung . . . . .	208



# Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced planning and scheduling
Auto-ID	Automatische Identifizierung
BVL	Bundesvereinigung Logistik
CART	Classification-And-Regression-Tree-Algorithmus
CLS	Concept-Learning-System
CPS	Cyber-Physical-System
CRC	Class-Responsibility-Collaboration
CRISP-DM	CRoss Industry Standard Process for Data Mining
CSCMP	Council of Supply Chain Management Professionals
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWS	Data-Warehouse-System
EAN	European Article Number
ERM	Entity-Relationship-Modell
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FP-growth	Frequent Pattern growth
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GTIN	Global Trade Item Number
IBM	International Business Machines Corporation
ID3	Iterative-Dichotomizing-3 <sup>rd</sup> -Algorithmus
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
KAOS	Knowledge Acquisition in automated specification
KDD	Knowledge Discovery in Databases
LVS	Lagerverwaltungssystem
MES	Manufacturing Execution System
NCR	National Cash Register Corporation
PZN	Pharma Zentral Nummer
QR	Quick response

RFID	Radio-frequency identification
SCEM	Supply Chain Event Management
SQL	Structured Query Language
TMS	Transport Management System
TUL	Transport, Umschlag, Lagerung
ULD	Unit Load Device
UNCED	Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen
UML	Unified Modeling Language
UWB	Ultra-wideband
WE	Wareneingang
WA	Warenausgang
W-LAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse Management System

# Formelzeichenliste

$A$	Attribut
$A(ID, t)$	Wert des Attributs $A$ für das Objekt $ID$ zum Zeitpunkt $t$
$AB$	Abgang eines verschachtelten Objekts
$AL$	Auslastung eines Betriebsmittels
$B$	Bestand eines verschachtelten Objekts
$B_0$	Anfangsbestand eines verschachtelten Objekts
$com$	Strukturkomponente
$d(t)$	Störgröße zum Zeitpunkt $t$
$E_A(ID, t)$	Ereignis eines Objekts $ID$ für das Attribut $A$ zum Zeitpunkt $t$
$e_A$	Ereignisfunktion zu einem Attribut $A$
$e(t)$	Regelabweichung zum Zeitpunkt $t$
$G$	Graph einer Funktion
$ID$	Identifikationsnummer eines Objektes
$L$	Leistung eines Betriebsmittels
$L_{max}$	Maximale Leistung eines Betriebsmittels
$mfo$	Materialflussobjekt
$MFO$	Menge der Materialflussobjekte
$O$	Entitätstyp bzw. Objektmenge
$o$	Objekt einer Objektmenge $O$
$R$	Relation auf Entitätstypen
$T$	Zeitintervall in Datums- und Uhrzeitdarstellung
$t$	Zeitpunkt
$t - 1$	Zeitpunkt des letzten Ereignisses vor Eintreffen des neuen Ereignisses zum Zeitpunkt $t$
$tt$	Zeitpunkt eines kompletten Ereignisses
$t(mfo, com, ev)$	Zeitpunkt, zu dem das Materialflussobjekt $mfo$ an der Strukturkomponente $com$ eingetroffen ist (d. h. $ev = in$ ) bzw. diese verlassen hat (d. h. $ev = out$ )

---

$t(mfo, com_1, com_2)$	Zeitpunkt, zu dem das Materialflussobjekt $mfo$ von der Strukturkomponente $com_1$ zur Strukturkomponente $com_2$ übergegangen ist
$\tau d$	Verweildauer eines Objekts in einer Strukturkomponente
$\tau i$	Zeitintervall zwischen zwei aufeinander folgenden Materialflussobjekten im Eingang einer Strukturkomponente
$\tau o$	Zeitintervall zwischen zwei aufeinander folgenden Materialflussobjekten im Ausgang einer Strukturkomponente
$\tau t$	Zeitintervall zwischen zwei aufeinander folgenden Materialflussobjekten in einer bestimmten Verbindung zwischen zwei Strukturkomponenten
$\tau D$	Lebensdauer eines Materialflussobjekts
$u(t)$	Stellgröße/Eingangsgröße zum Zeitpunkt $t$
$W$	Wertebereich eines Attributs $A$
$w(t)$	Führungsgröße zum Zeitpunkt $t$
$X_{ZU}$	Zugangsmenge eines verschachtelten Objekts
$y(t)$	Regelgröße/Ausgangsgröße zum Zeitpunkt $t$
$Z(ID, t)$	Zustand eines Objekts mit der Identifikationsnummer $ID$ zum Zeitpunkt $t$
$z$	Zustandsfunktion
$ZU$	Zugang eines verschachtelten Objekts

# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Motivation

Im Jahr 2013 wurden weltweit rund 4,4 Billionen Gigabyte Daten erzeugt und kopiert, von denen etwa zwei Drittel durch Konsumenten sowie Mitarbeiter in Unternehmen entstanden sind.<sup>1</sup> In der Studie wurde zudem ermittelt, dass sich das jährlich erzeugte Datenvolumen des digitalen Universums in den nächsten Jahren um das Zehnfache erhöhen und in 2020 44 Billionen Gigabyte Daten betragen wird. In 80 % der Fälle liegt die Verantwortung für diese Daten bei Unternehmen, welche somit daraus bisher unbekannte Informationen über Kunden, Produkte und Prozesse identifizieren können. Jedoch waren nur 22 % der Daten in 2013 für Analysen überhaupt geeignet, denn für diese lag ein Datenmodell (Metadaten) vor. Es wird geschätzt, dass von den für Analysen geeigneten Daten nur rund 5% wirklich neue Informationen liefern und ein noch geringerer Anteil wurde überhaupt für Analysen genutzt. In 2020 soll der Anteil der Daten mit vorliegenden Metadaten bei 35 % liegen, was die Möglichkeiten von Datenanalysen erhöhen wird. Der immense Anstieg des Datenvolumens wird durch die vermehrte Nutzung von eingebetteten Systemen in der Industrie begründet. Von den rund 187 Milliarden physischen Objekten weltweit waren 2013 7 % mit eingebetteten Systemen ausgestattet und konnten somit Daten erzeugen und kopieren. In 2020 wird die Anzahl an physischen Objekten um ca. 13 % auf 212 Milliarden Objekte ansteigen. Auf Grund dieser Entwicklungen werden dann rund 15 % der physischen Objekte mit Systemen zur Identifizierung, Lokalisierung, Zustandsüberwachung und Kommunikation ausgestattet sein, vgl. [TURNER et al., 2014, S. 1-4].

Der Anstieg des Datenvolumens und auch der Anstieg der physischen Objekte, die Daten erzeugen und kopieren, wird durch die Verschmelzung der realen (Physical System) mit der digitalen Welt (Cyber System) zu einem Cyber-Physical-System (CPS) speziell in der Industrie begründet. Diese Verschmelzung beider Welten wird als Industrie 4.0 verstanden, was „die technische Integration von CPS in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen

---

<sup>1</sup>Dies hat eine Studie der *International Data Corporation Analyze the Future* unterstützt durch die *EMC Corporation* im April 2014 ergeben, vgl. [TURNER et al., 2014].

- einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation“ [KAGERMANN et al., 2013, S. 18] darstellt. Diese Entwicklung bedeutet, dass Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel intelligenter werden und Produkte sich jederzeit eindeutig identifizieren und lokalisieren lassen. Außerdem wird es möglich sein, jederzeit deren Zustände und Lebensläufe abzurufen, vgl. [KAGERMANN et al., 2013, S. 5]. In vielen Unternehmen sind bereits automatische Identifizierungs- (Auto-ID-), Lokalisierungs- und Sensortechnologien zur Überwachung logistischer Objekte implementiert, vgl. [BRETZKE und KLETT, 2004, S. 145-146] und [WILDEMANN, 2008, S. 20]. Jedoch besteht noch ein immenses Verbesserungs- und Entwicklungspotential, bis die Ideen von Industrie 4.0 vollständig umgesetzt sind. Im Zuge dieser Entwicklung wird allerdings deutlich, dass das Datenaufkommen unaufhörlich ansteigen wird.

Die durch die intelligenten Objekte generierten Daten bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten für Analysen zur Generierung von Informationen über das reale System. Jedoch wird dieses Potential noch nicht ausreichend ausgeschöpft, denn nur knapp 7% der Daten über Objekte und Prozesse eines Unternehmens werden zur Analyse von komplexen Zusammenhängen genutzt, vgl. [BERNARD, 2011, S. 608]. Die aus den Datenanalysen gewonnenen Informationen können zur Optimierung der Prozesse sowie für eine zielgerichtete Entscheidungsfindung bei Störungen verwendet werden.

Die wichtigsten Aufgaben des operativen Logistikmanagements sind das Auslösen von Prozessen, das Steuern von Einzelvorgängen sowie das Regeln und Überwachen von Prozessen, um sicherzustellen, dass Aufträge nach geplanten Vorgaben durchgeführt werden. Zur Erfüllung dieser Aufgaben muss der operative Logistikmanager<sup>2</sup> auf gesicherte und aktuelle Informationen zurückgreifen können, um bei Störungen in sehr kurzer Zeit (Sekunden bis Minuten) Maßnahmen zur Schadensminimierung einleiten zu können, vgl. [GUDEHUS, 2010, S.49]. Genau hier kann die steigende Anzahl an Daten über die Objekte des betrachteten logistischen Systems von großem Nutzen sein. Werden von einer Vielzahl von Objekten des logistischen Systems Zustands- und Ereignisdaten mit Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien gesammelt, können diese mit einem Informationssystem so aufbereitet und analysiert werden, dass der operative Logistiker ausreichende Informationen über das logistische System erhält. Die Informationen können anschließend dazu genutzt werden, zielgerichtete und schnelle Entscheidungen bei Störungen im logistischen System zu treffen. Der Zusammenhang zwischen den logistischen Objekten, die mit Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien überwacht werden, dem Informationssystem mit dem Anwendungssystem, das die Rohdaten aufbereitet und analysiert, sowie dem Endnutzer des Anwendungssystems, dem operativen Logistiker, ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Das Anwendungssystem analysiert nach den Anforderungen des operativen Logistikmanagers die Rohdaten, sodass die gewünschten Informationen zur Entscheidungsfindung in einem Leitstand dargestellt werden können. Wenn Störungen im logistischen System auftreten, werden diese zusammen mit den notwendigen Informationen über den Zustand des Systems an den operativen Logistikmanager gemeldet, sodass dieser die Stellgrößen des Systems zielführend anpassen kann.

---

<sup>2</sup>Anm.: Im Folgenden auch operativer Logistiker genannt. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der Arbeit nur die männliche Form verwendet. Gemeint ist stets sowohl die weibliche als auch die männliche Form.

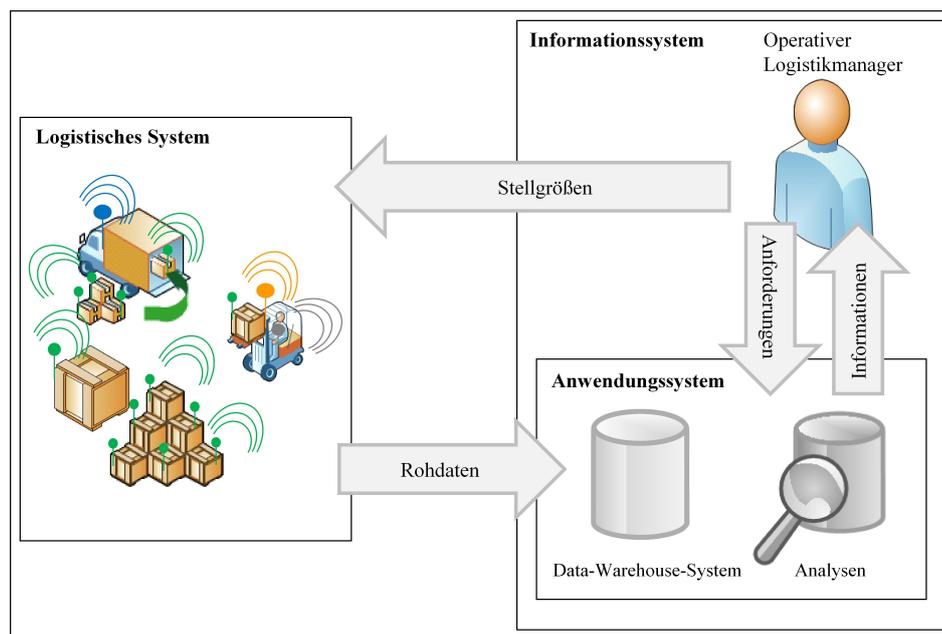


Abbildung 1.1: Ideale Darstellung eines Informationssystems zur operativen Überwachung eines logistischen Systems

## 1.2 Problemstellungen

Bei der Entwicklung, Implementierung und dem Einsatz von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien zusammen mit Informationssystemen zur Überwachung logistischer Prozesse ergeben sich verschiedene Problemstellungen. Der operative Logistiker muss in kurzer Zeit auf Störungen im logistischen System reagieren und hat aus diesem Grund spezifische Anforderungen an das Anwendungssystem, das die Rohdaten zu Informationen aufbereitet. Jedoch erfüllen Anwendungssysteme häufig nicht diese Anforderungen und werden daher vom operativen Logistiker nur unzureichend genutzt. Gründe dafür liegen zum einen darin, dass bei der vorherigen Entwicklung des Anwendungssystems die Anforderungen des Logistikers vom Softwareentwickler nicht richtig verstanden und umgesetzt wurden. Da der Softwareentwickler sich häufig nicht im Anwendungsbereich der Logistik auskennt, kann es zu Kommunikationsschwierigkeiten bei der Anforderungserhebung zwischen dem operativen Logistiker und Softwareentwickler kommen, vgl. [PARTSCH, 2010, S. 8 f.]. Zum anderen haben viele Unternehmen Standardsoftwarelösungen im Einsatz, die nicht immer die spezifischen Problemstellungen einzelner operativer Logistiker abbilden und für den Endnutzer wichtige Informationen aggregieren und vereinfachen. Das kann zu Fehlinterpretationen und somit auch zu falschen Entscheidungen bei Störungen führen. Außerdem sind in Unternehmen auf Grund historischer Entwicklungen verschiedene Anwendungssysteme im Einsatz, die unterschiedliche Rohdaten nach verschiedenen Zielstellungen aufbereiten. Hier muss der operative Logistiker eigenständig Informationen bündeln und interpretieren. Dabei werden nicht alle Analysepotentiale der Rohdaten ausgeschöpft und die Anforderungen des operativen Logistikers an die notwendigen Informationen zur Entscheidungsfindung nicht erfüllt.

Bei der Implementierung von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien stellt sich häufig die Frage, welche Zustände welcher Objekte zu welcher Zeit überwacht werden sollen. Die Technologie in diesem Bereich ist sehr weit entwickelt und bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Generierung von Daten über die logistischen Objekte. Jedoch ist die Implementierung mit einem Investitionsaufwand verbunden, weswegen natürlich nur die Technologien installiert werden sollten, die auch benötigt werden. Es sollte außerdem analysiert werden, welche Daten überhaupt schon zur Verfügung stehen. Denn häufig wurden in Unternehmen nach und nach Technologien zur Überwachung von Zuständen logistischer Objekte implementiert, die aber nicht in einem gemeinsamen Anwendungssystem verarbeitet werden. Um Redundanzen ausschließen zu können, ist es notwendig, vorab zu analysieren, welche Rohdaten wo gesammelt werden müssen, und diese Analyse dann mit den vorhandenen Rohdaten zu vergleichen.

In der Literatur und speziell im Bereich des Knowledge Discovery in Databases<sup>3</sup> existiert eine Vielzahl an Methoden zur Analyse von großen Datenmengen. Diese Verfahren können in Anwendungssysteme implementiert werden und Informationen zum Verhalten der Objekte sowie des gesamten logistischen Systems liefern. Jedoch sind diese noch nicht ausreichend in Informationssystemen für das operative Logistikmanagement implementiert und werden nur selten zur Analyse von logistischen Zustandsdaten genutzt. Gründe dafür liegen darin, dass die Anpassungen der Verfahren an die heterogenen Produktions- und Logistikbereiche sehr aufwendig sind und eine Interpretierbarkeit der Ergebnisse nicht immer möglich ist, vgl. [BERNARD, 2011, S. 608] und [WINDT et al., 2011, S. 223]. Für kontinuierliche Produktionsprozesse wurde ein Data-Mining-Werkzeug, Prodami-Suite, zur Entscheidungsunterstützung vom *Fraunhofer IOSB*, *Fraunhofer IPK* und *Fraunhofer ITWM* entwickelt, vgl. [BERNARD, 2011]. Dieses Werkzeug dient zur Analyse und Optimierung kontinuierlicher komplexer Produktions- und Fertigungsprozesse und verwendet dabei Methoden des Knowledge Discovery in Databases. Jedoch ist dieses Werkzeug für logistische Anwendungsfelder nur bedingt einsatzfähig, da diese häufig aus ereignisgesteuerten Prozessen bestehen und somit diskontinuierliche Daten aufweisen. Zur Analyse von diskreten Daten, die Zustände und Ereignisse logistischer Objekte beschreiben, gibt es eine Vielzahl an Ansätzen aus dem Bereich des Supply Chain Event Managements. Diese befassen sich aber überwiegend mit Managementkonzepten zum Umgang mit Störereignissen und liefern außer einem Soll-Ist-Vergleich keine konkreten Analysemethoden zur Identifizierung von Informationen aus den Daten. Einige Veröffentlichungen beschäftigen sich mit Methoden zur Analyse von Bewegungsdaten von Personen und Objekten. In [ASHBROOK und STARNER, 2003] wird z. B. eine Vorgehensweise zur Anwendung des k-Means Clustering vorgestellt, mit der aus Bewegungsdaten Profile und Vorhersagen für typische Routen ermittelt werden. In [KANG et al., 2004] werden aus Bewegungsdaten einzelne spezifische Orte von Objekten mittels zeitbasiertem Clustering ermittelt. Es gibt noch eine Vielzahl weiterer Einzellösungen, die verschiedene Methoden des Data Mining zur Analyse von Bewegungsdaten verwenden und spezifische Fragestellungen beantworten. Häufig sind diese aber nicht direkt auf Fragestellungen eines operativen Logistiklers ausgerichtet und beziehen zur Analyse nur ein Attribut, den Ort, mit ein. In [WINDT et al., 2011] wird eine Vorgehensweise vorgestellt, mit der aus Prozessdaten Ursachen für Störungen mittels k-Means-Clustering

---

<sup>3</sup>Wissensentdeckung in Datenbanken

ermittelt werden können. Die Anpassung der Methoden auf den Anwendungsfall war aber sehr aufwendig. Weitere Nachteile der Anwendung von Clusteranalysen für logistische Problemstellungen sind die Notwendigkeit von Prozessverständnis zur Interpretation der Ergebnisse, die Abhängigkeit der Ergebnisse von Merkmalen und der Clusterinterpretation sowie Probleme im Umgang mit nominalen Daten, vgl. [WINDT et al., 2011, S. 247]. Es wurden aber auch klare Vorteile, wie die Möglichkeit zur Untersuchung von Objekten mit einer Vielzahl von Merkmalen sowie die Ermittlung von komplexen Wirkzusammenhängen genannt, vgl. [WINDT et al., 2011, S. 247]. Einen Ansatz zur Aufbereitung von Radio-frequency identification (RFID) Rohdaten zu relevanten Informationen ist in [MELSKI und SCHUMANN, 2008] und [MELSKI, 2009] zu finden. Darin wird beschrieben, welche RFID-Technologie an welchen Messpunkten im Prozess welche Rohdaten aufnehmen und wie diese Rohdaten für Bereiche der Logistik genutzt werden können. Der Fokus liegt aber verstärkt auf der Verarbeitung und Verwaltung der RFID-Daten aus Sicht der Informatik und weniger auf den Analysen der Daten zur Erfüllung spezifischer Anforderungen des operativen Logistikmanagements. In [SCHENK et al., 2006], [TOLUJEW und REGGELIN, 2006], [SCHENK et al., 2007a], [TOLUJEW et al., 2007] und [BRANDAU und TOLUJEVS, 2013] wird ein allgemeines Konzept zum Umgang mit Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte dargestellt, das sowohl die Datenmodellierung, -aufnahme, -analyse als auch -darstellung betrachtet. Der Fokus des Modellierungs- und Analysekonzepts liegt auf Problemstellungen des operativen Logistikmanagements und bietet eine allgemeine Betrachtungsweise. Damit unterscheidet sich dieses von den vorgestellten Einzellösungen und bietet Potential zur Weiterentwicklung.

Damit ein Informationssystem für das operative Logistikmanagement vom Endnutzer, dem operativen Logistiker, genutzt wird, muss es die gewünschten Anforderungen an die Informationsgenerierung erfüllen. Dabei müssen aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Methoden zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten die Passenden ausgewählt werden, damit die vom operativen Logistiker gewünschten Informationen als Analyseergebnisse abgeleitet werden können. Außerdem sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Zustands- und Ereignisdaten weitere Potentiale zur Identifikation von Informationen bieten, die über die Anforderungen des Logistikers hinausgehen und ausgeschöpft werden sollten. Eine Implementierung von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien in einem logistischen System sollte nicht darauf ausgerichtet sein, so viele Daten wie möglich über die Objekte zu sammeln. Es sollten nur immer die Rohdaten erzeugt werden, die auch zur Informationsgewinnung genutzt werden können. Eine Recherche zum Stand des Wissens hat ergeben, dass es kein Konzept für die Anforderungsbestimmung bei der Softwareentwicklung für das operative Logistikmanagement gibt, das die Anforderungen des Logistikers direkt in Datenanalysemethoden übersetzt und zusätzlich Potentiale für weitere Datenanalysen aufzeigt. Außerdem beschreibt kein Konzept die direkte Ableitung von notwendigen Rohdaten für die Analysen, sodass fehlende oder nicht relevante Daten identifiziert werden können.

### 1.3 Zielstellung

Die Zielstellung der Arbeit ist die Entwicklung eines ganzheitlichen Konzepts zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte, das bei der Anforderungsbestimmung für die Entwicklung eines Informationssystems für das operative Logistikmanagement als Werkzeug verwendet werden kann. Das Konzept soll ein Entwicklungsleitfaden für den operativen Logistikmanager und Softwareentwickler in der Phase des Requirements Engineering darstellen und folgende Anforderungen erfüllen:

- Das Konzept soll die Zusammenarbeit zwischen dem operativen Logistikmanager und Softwareentwickler während der Phase der Anforderungserhebung durch den Aufbau eines gegenseitigen System- und Datenverständnisses unterstützen.
- Das Konzept soll die Ermittlung der Relevanz der Rohdaten beinhalten, sodass noch zu implementierende oder nicht notwendige Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien im realen System identifiziert werden können.
- Das Konzept soll eine Vorgehensweise zur konzeptionellen Aufbereitung des logistischen Systems sowie zur Entwicklung des Datenmodells für die Zustands- und Ereignisdaten beinhalten.
- Mit dem Konzept sollen die Anforderungen des operativen Logistikers an die Datenanalysen ermittelt und konkrete Spezifikationen für die zu verwendenden Analysemethoden bestimmt werden.
- Das Konzept soll dabei unterstützen weitere Analysepotentiale der Zustandsdaten auszuschöpfen, um unbekannte Informationen über das Verhalten der logistischen Objekte zu ermitteln.

### 1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Die Vorgehensweise der Dissertation und der Aufbau der Arbeit ist in Abbildung 1.2 dargestellt. Im Kapitel 1, der Einleitung, werden die Motivation, Problemstellungen und Zielstellungen der Dissertation beschrieben. Die Abgrenzung der Themenstellung in der Logistik ist in Kapitel 2 dargestellt. Darin werden die 6+2 Richtigen der Logistik, logistische Systeme, Objekte und Prozesse definiert sowie die Aufgaben des operativen Logistikmanagements beschrieben. Im dritten Kapitel werden Informationssysteme des operativen Logistikmanagements systematisch aufbereitet. Die Abgrenzung der Themenstellung im Bereich des Software Engineering und Requirements Engineering wird in Kapitel 4 dargestellt. Das fünfte Kapitel behandelt die Methoden zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten. Diesbezüglich wird der Begriff Datenmodell eingeführt, das Entity-Relationship-Modell (ERM) beschrieben sowie Zustands- und Ereignisdaten definiert. Darauf aufbauend werden Methoden des Knowledge Discovery in Databases erläutert und eine Auswahl an Methoden, die in der Logistik Anwendung finden, vorgestellt. Abschließend werden die vorgestellten Methoden nach den Ausprägungen Eingabe, Methode und Ausgabe systematisch aufbereitet. Das entwickelte ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse

Einleitung	
<p><b>Kapitel 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivation</li> <li>• Problemstellungen</li> <li>• Zielstellung</li> <li>• Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit</li> </ul>	
Abgrenzung des Themenbereichs	
<p><b>LOGISTIK</b></p> <p><b>Kapitel 2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6+2 Richtige der Logistik,</li> <li>• Logistische Systeme, Objekte &amp; Prozesse</li> <li>• Operatives Logistikmanagement</li> </ul> <p><b>Kapitel 3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationssysteme für das operative Logistikmanagement</li> </ul>	<p><b>INFORMATIK</b></p> <p><b>Kapitel 4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software Engineering</li> <li>• Requirements Engineering</li> </ul>
Methoden zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte	
<p><b>INFORMATIK</b></p> <p><b>Kapitel 5.1, 5.2:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenmodell</li> <li>• Entity-Relationship-Modell</li> <li>• Attribute</li> <li>• Wertebereiche</li> </ul>	<p><b>LOGISTIK &amp; INFORMATIK</b></p> <p><b>Kapitel 5.3:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte</li> </ul>
<p><b>INFORMATIK</b></p> <p><b>Kapitel 5.4:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Methoden des Knowledge Discovery in Database (KDD)</li> </ul>	<p><b>LOGISTIK &amp; INFORMATIK</b></p> <p><b>Kapitel 5.5:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendung der Methoden des KDD zur Analyse von logistischen Zustands- und Ereignisdaten,</li> <li>• Systematisierung der vorgestellten Methoden nach Eingabe, Methode und Ausgabe</li> </ul>
Ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte	
<p><b>Kapitel 6:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Situationsanalyse</li> <li>• Anforderungsbestimmung</li> <li>• Datenanalyse</li> </ul>	
Anwendungsbeispiele	
<p><b>Kapitel 7:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Validierung des Konzepts             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frachtflughafen</li> <li>• Wäscherei</li> </ul> </li> </ul>	
Zusammenfassung und Ausblick Kapitel 8	

Abbildung 1.2: Vorgehensweise der Arbeit

von Zustandsdaten logistischer Objekte wird in Kapitel 6 beschrieben, dabei wird auf die drei Entwicklungsphasen Situationsanalyse, Anforderungsbestimmung und Datenanalyse detaillierter eingegangen. Das siebte Kapitel beinhaltet die Validierung des Konzepts durch zwei Beispiele. Die Zusammenfassung der Arbeit sowie einen Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf ist in Kapitel 8 dargestellt.

## **Kapitel 2**

# **Abgrenzung der Problemstellungen in der Logistik**

In diesem Kapitel werden die Problemstellungen der Arbeit in die Logistik eingeordnet. Dazu werden im ersten Abschnitt der Begriff Logistik definiert, die Zielstellung der Logistik mittels den 6+2 Richtigen beschrieben und Einteilungsmöglichkeiten aufgezeigt. Es wird jeweils dargestellt, welcher Bereich der Logistik in dieser Arbeit bearbeitet wird. Im zweiten Abschnitt des Kapitels wird der Begriff System eingeführt und auf Logistiksysteme übertragen. Da in dieser Arbeit das logistische Objekt im Vordergrund steht, werden verschiedene Definitionen genannt und eine neue, für diese Arbeit relevante, Definition abgeleitet. Auch die logistischen Prozesse werden in diesem Abschnitt beschrieben. Abschließend werden die Aufgaben des Logistikmanagements erläutert und die des operativen detaillierter beschrieben. Es wird auf das Supply Chain Event Management eingegangen und ein Regelkreis für die Aufgaben des operativen Logistikmanagements entwickelt.

### **2.1 Definition der Logistik**

Die Geschichte der Logistik reicht bis in die vorchristliche Zeit zurück, in der wichtige Transportwege entscheidende Ansiedlungspunkte für Jäger und Sammler waren. Seit dem römischen Reich hat sich der Begriff Logistik als fester Bestandteil im Militärwesen etabliert, vgl. [KAPOUN, 1981, S. 124] und [JÜNEMANN et al., 1989, S. 3 f.]. Um 1955 wurden Logistikkonzepte aus dem Militär in die Wirtschaft übertragen und erste Forschungsarbeiten dazu veröffentlicht, vgl. [MORGENSTERN, 1955], [JÜNEMANN et al., 1989, S. 8] und [STABENAU, 2008, S. 25]. Seit 1970 hat sich die Logistik zu einer eigenen Wissenschaft entwickelt und ist ein fester Bestandteil in der interdisziplinären Forschung zusammen mit den Ingenieurwissenschaften, der Informatik und den Wirtschaftswissenschaften, vgl. [JÜNEMANN et al., 1989, S. 8 ff.] und [PFOHL, 2010, S. 12 f.].

Das Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) definiert Logistik folgend:

„Logistics: The process of planning, implementing, and controlling procedures for the efficient and effective transportation and storage of goods including services, and related information from the point of origin to the point of consumption for the purpose of conforming to customer requirements. This definition includes inbound, outbound, internal, and external movements“ [VITASEK, 2010, S. 114].

Diese entspricht der Definition von ILLÉS, GLISTAU und MACHADO, die Logistik verstehen als:

„die Planung, Durchführung und Steuerung der Bewegung und Platzierung von Menschen und/oder Gütern und der unterstützenden Tätigkeiten, die sich auf diese Bewegung und Platzierung beziehen, innerhalb eines Systems, welches auf die Erreichung bestimmter Ziele ausgerichtet ist“ [ILLÉS et al., 2007, S. 1].

Die Arbeitsgruppe des wissenschaftlichen Beirats der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. hat 2010 ein „Positionspapier zum Grundverständnis der Logistik als wissenschaftliche Disziplin“ veröffentlicht, in dem unter Logistik folgendes verstanden wird:

„Logistik ist eine anwendungsorientierte Wissenschaftsdisziplin. Sie analysiert und modelliert arbeitsteilige Wirtschaftssysteme als Flüsse von Objekten (v. a. Güter und Personen) in Netzwerken durch Zeit und Raum und liefert Handlungsempfehlungen zu ihrer Gestaltung und Implementierung. Die primären wissenschaftlichen Fragestellungen der Logistik beziehen sich somit auf die Konfiguration, Organisation, Steuerung oder Regelung dieser Netzwerke und Flüsse mit dem Anspruch, dadurch Fortschritte in der ausgewogenen Erfüllung ökonomischer, ökologischer und sozialer Zielsetzungen zu ermöglichen“ [DELFMANN et al., 2010, S. 2].

Zusammenfassend sind als Aufgaben der Logistik zu nennen:

- die Planung bzw. Konfiguration,
- die Organisation bzw. Durchführung und
- die Regelung und Steuerung.

Als Betrachtungsgegenstand der Logistik gelten Systeme wie Netzwerke und Flüsse, die sowohl Güter und Informationen als auch Personen von ihrer Quelle bzw. dem Entstehungsort bis zur Senke bzw. dem Verbrauchs- oder auch Zielort beschreiben. Dabei sollen sowohl ökonomische und ökologische als auch soziale Zielstellungen unter Beachtung der Kundenanforderungen effizient und effektiv erfüllt werden.

Die Logistik wird durch folgende drei Merkmale gekennzeichnet, vgl. [FLEISCHMANN, 2008, S. 3]:

1. „jedes logistische System benötigt ein Informations- und Kommunikationssystem (IK-System)“ [FLEISCHMANN, 2008, S. 3],
2. die Logistik hat eine ganzheitliche Sichtweise auf alle Prozesse und
3. befasst sich „mit physischen Systemen und Prozessen, deren Gestaltung und Steuerung sowohl technische als auch ökonomische Aufgaben umfasst, sowie mit den oben erwähnten IK-Systemen“ [FLEISCHMANN, 2008, S. 3 f.].

Diese Arbeit ordnet sich in der Definition der Logistik in die Durchführung der Systeme zur Erfüllung der Kundenanforderungen ein und leistet einen Beitrag zur Gestaltung des Informationssystems. Zum besseren Verständnis der Problem- und Zielstellung der Logistik werden im folgenden Unterkapitel die Richtigen der Logistik genauer betrachtet.

## 2.2 Die 6+2 Richtigen der Logistik

Als Grundaufgabe der Logistik werden häufig die Richtigen der Logistik genannt. Diese orientieren sich an den W-Fragen: wer bzw. was, wann, wo, wie, warum, wieviele, wie lange, usw. und zielen darauf, die Antworten auf diese Fragen zu erfüllen.

Die Fragen wer bzw. was, wie viele, wann und wo sind vier der am häufigsten und wichtigsten genannten Richtigen der Logistik. Denn schon in [CAMPBELL et al., 1957, S. 101] wurde aus Sicht des Militärs die Aufgabe der Logistik definiert, als die Bereitstellung der richtigen Anzahl an Männern und Material zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort. Bis heute sind diese vier Richtigen in einer Vielzahl von Definitionen zu finden, vgl. [PLOWMAN, 1964, S. 3], [GUDEHUS, 1975, S. 1379], [JÜNEMANN et al., 1989, S.18], [STABENAU, 1996, S. 18], [ZIEMS, 2004, S. 30], [ILLÉS et al., 2007, S. 4], [JETZKE, 2007, S. 11], [PFOHL, 2010, S. 12 f.] und [SCHENK et al., 2010, S. 226].

In [GUDEHUS, 1975, S. 1379] und [PFOHL, 2010, S. 12 f.] werden die beiden W-Fragen wer und wie viele, bei denen es um das richtige Objekt und die richtige Anzahl geht, um die richtige Zusammensetzung bzw. Sorte ergänzt. Die Zusammensetzung aus richtiger Menge und richtiger Sorte wird auch als das richtige Produkt bezeichnet, vgl. [PFOHL, 2010, S. 12 f.].

Durch die Übertragung der Logistikkonzepte um 1960 vom Militär auf die Wirtschaft spielte nicht mehr nur die Zielstellung das richtige Objekt in der richtigen Anzahl am richtigen Ort zur richtigen Zeit eine große Rolle, sondern auch das ökonomische Prinzip, vgl. [PIEKENBROCK, 2009, S. 506], d. h. mit dem geringstmöglichen Mitteleinsatz (Minimumprinzip) den größtmöglichen Erfolg (Maximumprinzip) zu erzielen. Aus diesem Grund wurden in [PLOWMAN, 1964, S. 8] zusätzlich die Kosten für den Aufwand, den Zustand des Objekts und ergänzend zum Ort auch den richtigen Kunden mit in die Definition der Richtigen der Logistik einbezogen.

Diese Richtigen entsprechen der bekannten Definition von PLOWMAN und lautet:

Logistik heißt, die „Verfügbarkeit des richtigen Gutes, in der richtigen Menge, im richtigen Zustand, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, für den richtigen Kunden, zu den richtigen Kosten zu sichern“ [BVL, 2013], vgl. auch [PLOWMAN, 1964, S. 3 ff.].

Die Erweiterung der Richtigen um das ökonomische Prinzip wurde auch in anderen Veröffentlichungen übernommen, wie z. B. in [JÜNEMANN et al., 1989, S. 18], [STABENAU, 1996, S. 18], [ZIEMS, 2004, S. 30], [JETZKE, 2007, S. 11], [ILLÉS et al., 2007, S. 4], [PFOHL, 2010, S. 12 f.] und [SCHENK et al., 2010, S. 226]. In einigen Veröffentlichungen wird das Minimumprinzip explizit genannt, in denen nicht von den richtigen Kosten sondern von den minimalen Kosten gesprochen wird, vgl. [PFOHL, 2010, S. 12 f.] und [ZIEMS, 2004, S. 30].

Seit dem 1992 verabschiedeten Aktionsprogramm Agenda 21 auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen (UNCED), vgl. [BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1992], hat sich bis heute für Unternehmen ein Wandel im Umgang mit Ressourcen vollzogen. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den Richtigen der Logistik wider. In [ZIEMS, 2004, S. 30] wurden die sechs Richtigen: Objekt, Qualität, Menge, Ort, Zeit und Kosten, durch das siebte Richtige ökologisch richtig ergänzt, vgl. auch [ILLÉS et al., 2007, S. 4] und [SCHENK et al., 2010, S. 226].

In der Logistik verläuft parallel zum Güterfluss der Informationsfluss, um den reibungslosen Ablauf zu unterstützen, vgl. [GUDEHUS, 2010, S. 24]. Die Objekte bringen Informationen mit, die zum Teil in Papierform, z. B. als Lieferschein, in codierter Form, z. B. als Bar- oder Quick response (QR) Code, oder auch in digitaler Form, z. B. als RFID-Chip, an den Objekten angebracht sind. Durch die rasante Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik wurden auch die Informationen, die das Objekt mitbringt, immer wichtiger. Aus diesem Grund hat JETZKE die Richtigen der Logistik um die richtigen Daten und das richtige Wissen ergänzt:

„Logistik ist das Streben nach den acht Richtigen r: Die richtige Ware in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität, zum richtigen Zeitpunkt, zu den richtigen Kosten, am richtigen Ort, mit den richtigen Daten und dem richtigem Wissen.“ [JETZKE, 2007, S. 11]

In [HAUSLADEN, 2011, S. 4] wurde diese Tatsache nicht durch Daten und Wissen ergänzt sondern durch die richtigen Informationen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Richtigen der Logistik sich an den aktuellen Trends der Logistik orientieren und durch diese erweitert werden, somit sind für die Zukunft weitere Richtige denkbar. Aus der obigen Recherche lassen sich acht Richtige der Logistik ableiten, die im Folgenden noch einmal kurz erläutert werden.

In [ILLÉS et al., 2007, S. 3] und [SCHENK et al., 2010, S. 226] werden 6+1 Richtige der Logistik mit entsprechenden Fragestellungen und Anforderungen genannt. Diese entsprechen den oben ermittelten Richtigen, abgeleitet aus dem Militär bzw. der Raum-Zeit-Bewegung, dem ökonomischen Prinzip und

Tabelle 2.1: Beschreibung der Logistikleistung mit den 6+2 Richtigen der Logistik i. A. a. [ILLÉS et al., 2007, S. 3] und [SCHENK et al., 2010, S. 226]

<b>Die 6 + 2 Richtigen</b>		<b>Frage</b>	<b>Erfordert. . .</b>
1	Das richtige Objekt	Was	die Identifikation und die Bewertung von Logistikattributen.
2	In der richtigen Anzahl	Wie viel	das Zählen, das Wiegen, . . .
3	Am richtigen Ort	Wo, Wohin	die Lokalisierung vor Ort.
4	Zur richtigen Zeit	Wann, Wie oft, Wie lange	die Zeitaufnahme, die Kalkulation des Durchlaufs und die Berücksichtigung von Toleranzen.
<b>Prozessaspekte</b>			
5	Zu den richtigen Kosten	Wie (niedrige Kosten)	die Bewertung des logistischen Prozesses in Bezug auf Effektivität und Effizienz.
6	Mit der richtigen Qualität	Wie + (qualitätsgerecht)	die Bewertung der Sicherheitsaspekte in Bezug auf das Objekt.
+1	Ökologisch richtig	Wie ++ (umweltgerecht)	die Bewertung der ökologischen Aspekte.
+1	Mit den richtigen Informationen	Wie + + + (richtige Information)	die Bewertung der Vollständigkeit und Richtigkeit der Information.

dem gestiegenen Umweltbewusstsein. In Tabelle 2.1 werden diese 6+1 Richtigen mit Fragestellungen und Anforderungen übersichtlich dargestellt.

Die 6+1 Richtigen aus Tabelle 2.1 wurden ergänzt um ein achttes Richtiges, der Information. Hierbei ist anzumerken, dass wie oben gezeigt, in [JETZKE, 2007, S. 11] und [HAUSLADEN, 2011, S. 4] sowohl von richtigen Daten, richtigen Informationen als auch von richtigem Wissen gesprochen wird. Daten bestehen aus Zeichen, die nach definierten Syntaxregeln gebildet wurden. Wird den Daten eine Semantik zugeordnet, werden diese zu Informationen und lösen beim Empfänger zielgerichtete und zweckbezogene Handlungen aus. Werden Informationen verknüpft und Zusammenhänge zwischen Informationen gebildet, wird von Wissen gesprochen, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 6 f.] und [BODENDORF, 2006, S. 1]. In Kapitel 3.1 wird auf diesen Zusammenhang noch einmal genauer eingegangen. Es stellt sich nun die Frage, was bringen die logistischen Objekte mit, was ist ein Lieferschein oder eine Identifikationsnummer? Grundlegend sind es Daten, die aus Zeichen bestehen und nach einer Syntaxregel gebildet werden. Ist aber dem Empfänger verständlich was diese Daten bedeuten und lösen diese bei ihm zielgerichtete und zweckbezogene Handlungen aus, wird von Informationen gesprochen. Um aber Wissen mit zu bringen, müssen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge oder auch andere Kenntnisse zu einem bestimmten Sachverhalt der Objekte mitgebracht werden. Dies setzt eine Analyse und Auswertung der Informationen auf spezielle Zusammenhänge voraus, welche meist nicht direkt am Objekt gespeichert werden, vgl. auch [SCHENK et al., 2012, S. 99]. Aus diesen Gründen wird in dieser Arbeit von richtigen Informationen gesprochen und nicht von Daten und Wissen.

## 2.3 Einteilungsmöglichkeiten der Logistik

Die Anwendungsbereiche der Logistik sind umfangreich und können unterschiedlich systematisiert werden, vgl. [ZIEMS, 2004, S. 44 ff.], [ILLÉS et al., 2007, S. 2], [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.]. Im Folgenden werden einige Ansätze vorgestellt und beschrieben. Im Anschluss daran werden die für diese Arbeit relevanten Anwendungsbereiche in tabellarischer Form dargestellt.

**Einteilung nach dem Raum (abstrakt)** Die Einteilung der Logistik nach dem Raum aus abstrakter Sichtweise ist die Einteilung als Mikro-, Meta- und Makrologistik, vgl. [ZIEMS, 2004, S. 44 ff.], [ILLÉS et al., 2007, S. 2], [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.]. Dabei ist ein mikrologistisches System ein einzelwirtschaftliches und intraorganisatorisches System, wie z. B. eine Fertigungslinie oder Abteilung innerhalb eines Unternehmens. Unter einem metalogistischen System wird ein System verstanden, das interorganisatorisch ist, in dem mehrere Teilsysteme enthalten sind, die miteinander Objekte austauschen, wie z. B. ein Unternehmen zusammen mit seinen Lieferanten. Ein gesamtwirtschaftliches System, wie z. B. ein Güterverkehrssystem in einer Volkswirtschaft, wird als makrologistisches System bezeichnet, vgl. [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.].

**Einteilung nach dem Raum (geografisch)** Eine andere Einteilung kann die Abgrenzung nach dem geografischen Betrachtungsraum sein: globale, regionale oder lokale Logistik, vgl. [ILLÉS et al., 2007, S. 2]. Hierbei überschneiden sich die Grenzen zwischen den einzelnen Bereichen, denn als lokale Logistik kann sowohl ein Unternehmen betrachtet werden als auch eine ganze Stadt (Citylogistik).

**Einteilung nach der Zeit** In der Einteilung nach der Zeit liegt der Fokus auf den Aufgaben im Bezug zur Zeit. Dabei wird zwischen den drei Phasen Analyse, Planung & Gestaltung, Realisierung, Überwachung, Steuerung & Regelung sowie Abrechnung & abschließende Aufgaben unterschieden, vgl. [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.].

**Einteilung nach der Funktion** Eine weitere Einteilung zielt auf die einzelnen Funktionsbereiche der Logistik ab und teilt diese in Beschaffungs-, Produktions-, Lager-, Verpackungs-, Distributions-, Transport-, Umschlag- und Entsorgungslogistik ein, vgl. [ZIEMS, 2004, S. 44 ff.], [ILLÉS et al., 2007, S. 2], [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.].

**Einteilung nach der Institution** Die Einteilung nach den Institutionen kann nach der volkswirtschaftlichen entwicklungstheoretischen Gliederung erfolgen: primärer, sekundärer und tertiärer Sektor, vgl. [PIEKENBROCK, 2009, S. 391]. Dabei sind Anwendungsfelder aus dem primären Sektor z. B. die Holz- und Biomasselogistik. Aus dem sekundären Sektor, dem industriellen Sektor, entsprechen dies den Anwendungsfällen der Unternehmens-, Werks-, Chemie- oder auch Baulogistik. Der tertiäre Sektor enthält

die Bereiche Handels-, Verkehrs-, Krankenhaus-, Militär-, Hafen-, Veranstaltungs- oder auch Kontraktlogistik. Es ist anzumerken, dass dies nur Aufzählungen möglicher Anwendungsgebiete aus [ZIEMS, 2004, S. 44 f.], [ILLÉS et al., 2007, S. 2], [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.] darstellen, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Diese Arbeit bezieht sich auf Problemstellungen aus der Mikro- und Metalogistik. Dies kann sowohl ein Distributionszentrum eines einzelnen Unternehmens, aber auch ein Frachtflughafen, der Güter unterschiedlicher Unternehmen umschlägt, sein. Der geografische Raum ist der lokale Bereich, wie ein Flughafen als Umschlagknoten, oder ein regionaler Bereich, wie ein Verteilzentrum eines Paketdienstes zusammen mit Fuhrpark und regionalen Kunden. Bezogen auf die Zeit, existiert ein System, das überwacht, gesteuert und geregelt wird. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt in der Bereitstellung der Informationen und in der Steuerung und Regelung. Als Institutionen sind die Anwendungsfälle meist Dienstleistungen, die aus dem tertiären Sektor angeboten werden und deshalb der Verkehrs-, Hafen- und Kontraktlogistik entsprechen. Die Funktionen, die das System abdeckt sind Transport, Umschlag, Lagerung und Verpackung als Distributionslogistik. In Tabelle 2.2 sind die Einteilungsmöglichkeiten tabellarisch aufgezeigt; die für diese Arbeit relevanten Anwendungsfelder sind in kursiver Schrift dargestellt.

## 2.4 Logistische Systeme

Durch die zunehmende Anzahl an Einflussfaktoren auf die logistische Leistungsfähigkeit steigt die Komplexität und Kompliziertheit von Logistiksystemen, vgl. [STABENAU, 2008, S. 29]. Aus diesem Grund ist für die Konzeption der Logistik die systemtheoretische Betrachtungsweise von entscheidender Bedeutung, vgl. [PFOHL, 1972, S. 21], [STABENAU, 2008, S. 29] und [LUCKE, 2012, S. 37]. Die systemtheoretischen Modelle unterstützen bei der Erfassung, Analyse, Gestaltung und Veränderung komplexer und komplizierter Sachverhalte und bieten die Grundlage zur Analyse von Wirkungszusammenhängen und Auswirkungen von Veränderungen, vgl. [LUCKE, 2012, S. 37]. Aus diesem Grund wird die Logistik auch „als Systemtheorie, die alle Prozesse umfasst, die der Raumüberwindung und Zeitüberbrückung beliebiger Objekte dienen“ [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 23] gesehen, vgl. auch [KÖCKMANN, 1988, S. 18].

**Systeme** Zur Regelung und Steuerung technischer, biologischer und ökonomischer Systeme wird in [DIN19226, 1994, S. 3] ein System definiert als,

„eine in einem betrachteten Zusammenhang gegebene Anordnung von Gebilden, die miteinander in Beziehung stehen. Diese Anordnung wird aufgrund bestimmter Vorgaben gegenüber ihrer Umgebung abgegrenzt.“ [DIN19226, 1994, S. 3].

In der Literatur finden sich eine Vielzahl weiterer Definitionen, von denen hier im Folgenden einige genannt werden. Diese Definitionen sind auf Logistiksysteme anwendbar und nennen wichtige Bestandteile und Charakteristiken von Systemen, auf die im Anschluss genauer eingegangen wird.

Tabelle 2.2: Einteilungsmöglichkeiten der Logistik i. A. a. [ZIEMS, 2004, S. 44 f.], [ILLÉS et al., 2007, S. 2], [PFOHL, 2010, S. 15] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 25 ff.]

<b>Aspekte</b>		<b>Anwendungsfelder</b>
Raum (abstrakt)		<i>Mikrologistik</i> <i>Metalogistik</i> Makrologistik
Raum (geografisch)		Globale Logistik <i>Regionale Logistik</i> <i>Lokale Logistik</i>
Zeit		Analyse, Planung, Gestaltung Realisierung, <i>Überwachung, Steuerung, Regelung</i> Abschließende Aufgaben, Abrechnung
Funktion		Beschaffungslogistik Produktionslogistik <i>Lagerlogistik</i> <i>Verpackungslogistik</i> <i>Distributionslogistik</i> <i>Transportlogistik</i> Entsorgungslogistik ...
Institution	primärer Sektor	Holzlogistik Biomasselogistik ...
	Sekundärer Sektor	Industrielogistik Unternehmenslogistik Werkslogistik Chemielogistik Baulogistik ...
	Tertiärer Sektor	Handelslogistik <i>Verkehrslogistik</i> Krankenhauslogistik Militärlogistik <i>Hafenlogistik</i> Veranstaltungslogistik <i>Kontraktlogistik</i> ...
In <i>kursiver Schrift</i> sind die Anwendungsfelder dargestellt, die für diese Arbeit relevant sind.		

„Ein System ist eine abgegrenzte Anordnung von Komponenten, die miteinander in Beziehung stehen“ [VDI3633, 2000, S. 3].

„Man versteht allgemein unter einem System eine Menge von miteinander in Beziehung stehenden Elementen“ [PFOHL, 1972, S. 20].

„Ein System ist eine Menge miteinander in Beziehung stehender Objekte, die interagieren, um einen bestimmten Zweck, den Systemzweck zu erfüllen und gegenüber der Umwelt abgegrenzt sind“ [JETZKE, 2007, S. 42].

„Ein System besteht aus einer Menge von Elementen und von Relationen zwischen diesen Elementen. Es wird als zusammenhängendes Ganzes betrachtet, ist ein abgegrenzter Teil der objektiven Wirklichkeit, ist relativ und kann entsprechend der bestehenden Systemhierarchie seinerseits wieder ein Teilsystem einer umfassenden Ganzheit sein“ [LUCKE, 2012, S. 37].

**Systemzweck** In [DIN19226, 1994, S. 3] wird in der Definition für System der Zusammenhang, in dem das System betrachtet wird, explizit herausgestellt. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der Problemstellung und impliziert den Systemzweck, vgl. auch [JETZKE, 2007, S. 42]. Hierbei stellt sich die Frage aus welchem Grund und mit welchem Ziel das System definiert und analysiert wird, also welchen Zweck das System für den Betrachter hat. Weiterhin kann unter Systemzweck auch die Funktion des Systems verstanden werden. Dabei stellt sich die Frage welche Funktion das System ausübt. Dient es zur örtlichen und zeitlichen Veränderung, zur Form- oder zur Strukturänderung, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38]?

**Systemelemente und Subsysteme** Ein wichtiger Bestandteil von Systemen sind die Komponenten, die entweder Elemente oder Subsysteme darstellen. Dabei werden häufig für den Begriff des Systemelements auch andere verwendet, wie Gebilde (vgl. [DIN19226, 1994, S. 3]) oder auch Objekte (vgl. [JETZKE, 2007, S. 42]). Systemelemente sind die kleinsten Elemente und Subsysteme, Komponenten, die bei höherer Auflösung Systemelemente oder Subsysteme enthalten, vgl. [JETZKE, 2007, S. 42], [LUCKE, 2012, S. 37], [DIN19226, 1994, S. 3] und [VDI3633, 2000, S. 3]. Damit ist bei der Beschreibung eines Systems die Wahl der Elemente und Subsysteme davon abhängig wie detailliert ein System betrachtet werden soll. Die Erklärung der Systemelemente und Subsysteme sind hinreichend aber nicht notwendig zur Erklärung der Systemgesamtheit, vgl. [LUCKE, 2012, S. 37].

**Systemrelationen** Die Komponenten eines Systems stehen in Beziehung zueinander. Diese Beziehungen werden als Relationen bezeichnet, vgl. [LUCKE, 2012, S. 37], [DIN19226, 1994, S. 3] und [VDI3633, 2000, S. 3].

**Systemstruktur** Die Struktur eines Systems wird dargestellt durch die Systemelemente und Relationen und wird bestimmt durch deren Menge, Art und Anordnung sowie der Menge und Art von Relationen, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38].

**Systemgrenzen** Ein System ist durch festgelegte Grenzen von seiner Umgebung abgegrenzt. Der Austausch mit der Systemumgebung findet über die Systemein- und -ausgangsgrößen (Input- und Outputströmen) wie Materie, Energie und Informationen statt, vgl. [DIN19226, 1994, S. 3] und [VDI3633, 2000, S. 3]. Die Abgrenzung des Systems von seiner Umwelt ist relevant für die Definition der Subsysteme, Systemelemente und -relationen, da nur die Elemente und Subsysteme zum System gehören, die eine funktionale Teilnahme an der Erreichung des Ziels besitzen, vgl. [LUCKE, 2012, S. 37].

**Systembeziehungen** Die Verbindungen zwischen dem System und anderen Systemen aus der Systemumgebung werden Systembeziehungen genannt, vgl. [LUCKE, 2012, S. 37].

**Eingangs- und Ausgangsgrößen, Systeminput und -output** Ein Systeminput und -output besteht aus Eingangs- bzw. Ausgangsgrößen. Dabei ist eine Eingangsgröße, eine Größe, „die auf das betrachtete System einwirkt, ohne selbst von ihm beeinflusst zu werden“ [DIN19226, 1994, S. 3]. Eine Ausgangsgröße „ist eine erfassbare Größe des Systems, die nur von ihm und seinen Eingangsgrößen beeinflusst wird“ [DIN19226, 1994, S. 3].

**Charakteristiken von Systemen** Systeme können nach unterschiedlichen Merkmalen charakterisiert werden. Es existieren eine Reihe unterschiedlicher Ansätze von denen im Folgenden einige, speziell für Logistiksysteme relevante Charakteristiken beschrieben werden. Die hier genannten Charakteristiken wurden aus [LUCKE, 2012, S. 38], [BARFUS, 2010, S. 16] und [REGGELIN, 2011, S. 8] zusammengetragen und in Tabelle 2.3 aufgelistet. Zu Beginn der Beschreibung und Analyse eines Systems ist es wichtig zu definieren aus welchem Forschungsgebiet dieses stammt. Es kann zwischen biologisch, biomedizinisch, ökologisch, ökonomisch, politisch, sozial, sozio-ökonomisch, sozio-technisch und technisch unterschieden werden, vgl. [BARFUS, 2010, S. 16]. Beschreibt das System etwas physisches wird von einem gegenständlichen Abstraktionsgrad gesprochen. Bei einer abstrakten oder auch konzeptuellen Beschreibung wird von einem formalen Abstraktionsgrad gesprochen, vgl. [BARFUS, 2010, S. 16]. Die Art der Entstehung eines Systems kann entweder natürlich oder künstlich sein, vgl. [REGGELIN, 2011, S. 8]. Werden Systeme nach ihrer Funktion, also dem Systemzweck, unterschieden, gilt die Einteilung nach der örtlichen und zeitlichen Veränderung, Formveränderung oder Strukturänderung, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38]. In Bezug auf die Systemumgebung kann zwischen geschlossenen und offenen Systemen unterschieden werden, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38] und [REGGELIN, 2011, S. 8]. Wird danach unterschieden, welche Art von Beziehungen und Relationen im System vorhanden sind, kann nach stofflich, energetisch und informationell unterschieden werden, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38]. Systeme können auch über deren Verhalten

Tabelle 2.3: Charakteristiken von Systemen i. A. a. [LUCKE, 2012, S. 38], [BARFUS, 2010, S. 16], [REGGELIN, 2011, S. 8]

Merkmal	Merkmalsausprägung				
	Forschungsgebiete	biologisch	biomedizinisch	ökologisch	ökonomisch
	sozial	sozio- ökonomisch	<i>sozio- technisch</i>	technisch	...
Abstraktionsgrad	<i>gegenständlich</i>		formal		
Entstehungsart	natürlich		<i>künstlich</i>		
Zweck des Systems	<i>Örtliche und zeitliche Veränderung</i>		Form- veränderung	Strukturänderung	
Umweltbeziehung	<i>offen</i>		geschlossen		
Art der Verknüpfungen	<i>stofflich</i>	<i>energetisch</i>		<i>informationell</i>	
Zeitabhängigkeit	statisch		<i>dynamisch</i>		
Komplexität	<i>einfach</i>	<i>komplex</i>		<i>äußerst komplex</i>	
Grad der Bestimmtheit	determiniert		<i>probabilistisch</i>		
Stabilität	<i>stabil</i>		instabil		
Regelung	<i>geregelt/gesteuert</i>		selbstregulierend/selbststeuernd		
In <i>kursiver Schrift</i> sind die Charakteristiken dargestellt, die für die hier behandelten logistischen Systeme gelten.					

bezüglich der Zeit charakterisiert werden. Es wird von dynamischen Systemen gesprochen, wenn die Zustände sich über der Zeit verändern, ansonsten werden Systeme als statisch bezeichnet, vgl. [PAGE, 1991, S. 3]. Bei der Betrachtung der Systemstruktur kann ein System nach dem Grad der Komplexität, also einfach, komplex (aber vollständig exakt beschreibbar) oder äußerst komplex (nicht vollständig exakt beschreibbar) unterschieden werden, vgl. [BARFUS, 2010, S. 16]. Eine Charakterisierung nach dem Verhalten des Systems ist zum einen die Unterscheidung in deterministische oder probabilistische Systeme, in der der Fokus auf der Bestimmtheit des Verhaltens liegt, vgl. [BARFUS, 2010, S. 16] und [REGGELIN, 2011, S. 8]. Eine andere Einteilung stellt die, nach der Stabilität der Systeme dar, in der wird zwischen stabil und instabil unterschieden, vgl. [BARFUS, 2010, S. 16]. Als letzte Charakterisierung ist hier die Einteilung in Bezug auf die Regelung und Steuerung von Systemen genannt, in der zwischen geregelt bzw. gesteuert und selbstregulierend bzw. selbststeuernd unterschieden wird, vgl. [BARFUS, 2010, S. 16]. Somit können logistische Systeme beschrieben und charakterisiert werden. Logistische Systeme werden unterschiedlich definiert, wovon einige im Folgenden genannt werden:

Logistische Systeme sind „arbeitsteilige Wirtschaftssysteme als Flüsse von Objekten (v. a. Güter und Personen) in Netzwerken durch Zeit und Raum“ [DELFMANN et al., 2010, S. 2].

„Ein logistisches System dient der Durchführung meist einer Vielzahl von logistischen Prozessen. Es hat die Struktur eines Netzwerks, das aus Knoten, z. B. den Lagerorten, und Verbindungslinien zwischen den Knoten, z. B. den Transportwegen, besteht. Die Prozesse im logistischen System bilden einen Fluss im Netzwerk“ [FLEISCHMANN, 2008, S. 3].

„Logistiksysteme sind spezielle Leistungssysteme. Leistungssysteme, die außer den operativen Logistikfunktionen weitere Leistungen erbringen, wie Entwicklungs-, Beschaffungs-, Produktions- und Serviceleistungen, sind Gegenstand der Logistik im weiteren Sinne“ [GÜDEHUS, 2010, S. 4].

Zusammenfassend ist zu sagen, dass auch in dieser Arbeit Logistiksysteme als Leistungssysteme verstanden werden, in denen logistische Objekte durch das System fließen und eine Vielzahl von logistischen Prozessen absolvieren. Außerdem lassen sich logistische Systeme auch in die allgemeinen Charakteristiken von Systemen aus Tabelle 2.3 einordnen; die Charakteristiken logistischer Systeme sind kursiv gekennzeichnet. Logistische Systeme sind, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38], [BARFUS, 2010, S. 16], [REGGELIN, 2011, S. 8] und [ILLÉS et al., 2007, S. 3]: soziotechnisch, gegenständlich, künstlich, örtlich und zeitlich veränderbar, offen, stofflich, energetisch und informationell, dynamisch, einfach bis äußerst komplex, probabilistisch, stabil, geregelt und gesteuert.

## 2.5 Logistische Objekte

Logistische Objekte werden in der Literatur definiert als Entitäten, die durch das logistische System fließen, vgl. [KLAUS et al., 2012, S. 449]. Diese können „Sachgüter insbesondere Materialien und Produkte im Industriebetrieb, Personen oder Informationen“ [FLEISCHMANN, 2008, S. 3] sein. Aus Sicht der Systemtheorie entsprechen somit die logistischen Objekte dem Systeminput und -output. Logistische Systeme können aber auch aus der Perspektive der objektorientierten Modellierung heraus betrachtet werden. In der der Begriff des Objekts weiter gefasst ist. Im Entity-Relationship-Modell nach [CHEN, 1976, S. 10] ist eine Entität des Systems, ein Objekt, das eindeutig identifiziert werden kann. Dies lässt eine umfassende Definition zu, bei der nicht nur der Systeminput und -output mit einbezogen wird, sondern auch die Systemelemente und Subsysteme. Dieser Zusammenhang wird im Forschungsgebiet der Selbststeuerung logistischer Objekte aufgegriffen. In [WINDT, 2006, S. 281] werden unter logistischen Objekten alle materiellen Gegenstände (Betriebsmittel, Arbeitssysteme und Maschinen) und alle immateriellen Gegenstände (Aufträge) einer vernetzten Logistikstruktur verstanden. Eine analoge Definition wird in [SCHOLZ-REITER et al., 2008, S. 128] gewählt. Hier wird zusätzlich eine spezielle Bedingung gefordert, die voraussetzt, dass die logistischen Objekte mit der notwendigen Informations- und Kommunikationstechnologie ausgestattet sind, „sodass diese in die Lage versetzt werden, selbstständige Entscheidungen aufgrund von lokalen Informationen zu treffen“ [SCHOLZ-REITER et al., 2008, S. 128].

Diese Arbeit behandelt die Überwachung und Verfolgung logistischer Objekte mittels Zustandsdaten.

Aktuelle Zustandsdaten können nur durch Informations- und Kommunikationstechnologien generiert werden. Deswegen ist die oben genannte Bedingung hier relevant. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist, dass nur die Objekte betrachtet werden, die helfen das primäre Ziel des Systems zu erreichen, vgl. [WIESER und LAUTERBACH, 2001, S. 66]. Deswegen wird in dieser Arbeit unter einem logistischen Objekt folgendes verstanden:

Ein logistisches Objekt ist eine eindeutig identifizierbare Entität, die entweder durch das logistische System fließt (Systeminput/-output) oder aber als Systemelement oder Subsystem an der Erzeugung der Logistikleistung beteiligt ist. Durch Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien muss es möglich sein, die Zustände des logistischen Objekts verfolgen zu können.

In einem realen logistischen System befinden sich somit eine Vielzahl unterschiedlicher Objekte, denn z. B. ist jedes einzelne Logistikgut ein Objekt und auch jedes zugehöriges Lade- und Transportmittel. Um diese Vielfalt zu sortieren und etwas einzuschränken, können Unterteilungen nach deren Eigenschaften vorgenommen werden. In dieser Arbeit wird eine Unterteilung in Objektmengen und -typen vorgenommen. Eine Objektmenge ist eine Menge von einzelnen Objekten, die gleiche Eigenschaften aufweisen. Zum Beispiel enthält die Objektmenge Container alle einzelnen Container, die im System enthalten sind. Die Objektmengen können wiederum zu einer größeren Gruppe der Typen zusammengefasst werden, z. B. gehört die Objektmenge Container zum Objekttyp Ladeeinheit. Dieser Zusammenhang ist mit Beispielen in Tabelle 2.4 dargestellt. Die Tabelle gibt nur eine Auswahl an Objekttypen und -mengen der Logistik wieder und ist nicht vollständig. Zu den Objekttypen und -mengen können je nach Detaillierungsgrad Untertypen und -mengen gebildet werden. Die einzelnen Objekttypen lassen sich wiederum auf Grund ihrer Eigenschaften in unterschiedliche Klassen unterteilen. Dabei wird zwischen physischen und abstrakten Objekttypen unterschieden. Physische Objekttypen sind materiell und abstrakte immateriell. Weiterhin lassen sich die physischen Objekttypen klassifizieren in bewegte und stationäre. Bewegte Objekttypen fließen durch das System und stationäre besitzen einen zeitlich konstanten Ort. Eine andere Eigenschaft, die die physischen Objekttypen besitzen, ist, dass diese andere physische Objekttypen enthalten können. In diesem Fall wird von verschachtelten Objekttypen gesprochen, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 30 f.], [TOLUJEW et al., 2007, S. 218 f.] und [SCHENK et al., 2007a, 223 f.]. Die Klassifizierung der physischen Objekttypen ist in Tabelle 2.5 dargestellt. Die abstrakten Objekttypen sind Informationen die aus Daten gewonnen werden können. Diese können Geschäftsobjekte sein, die durch den Menschen definiert wurden, wie z. B. die Objektmengen Auftrag, Vertrag und Rechnung. Der Objekttyp Objektinformation hingegen enthält Informationen über die physischen Objekttypen und wird somit nicht nur durch den Menschen erzeugt, sondern kann auch automatisch generiert werden, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 30 f.], [TOLUJEW et al., 2007, S. 218 f.] und [SCHENK et al., 2007a, 223 f.].

Tabelle 2.4: Beispiel einer Unterteilung von logistischen Objekten in Objekttypen und -mengen i. A. a. [ILLÉS et al., 2007, S. 4 f.], [SCHENK et al., 2007a, S. 223 f.] und [GUDEHUS, 2010, S. 410 ff.]

<b>Objekttyp</b>	<b>Objektmengen</b>	<b>Objekte</b>
<b>Gut</b>	Ware	Ware1, Ware2, ...
	Teile	Teil1, Teil2, ...
	Menschen	PersonA, PersonB, ...
	Tiere	Tier1, Tier2, ...
<b>Verpackungseinheit</b>	Kiste	Kiste1, Kiste2, ...
	Dose	Dose1, Dose2, ...
	Flasche	Flasche1, Flasche2, ...
	Fass	Fass1, Fass2, ...
	Beutel	Beutel1, Beutel2, ...
<b>Ladeinheit</b>	Paket	Paket1, Paket2, ...
	Palette	Palette1, Palette2, ...
	Gitterbox	Box1, Box2, ...
	Container	Container1, Container2, ...
<b>Transportmittel</b>	LKW	LKW1, LKW2, ...
	Schiff	Ship1, Ship2, ...
	Bahnwaggon	Wag1, Wag2, ...
	Flugzeug	FLZ1, FLZ2, ...
<b>Transportkanal</b>	Straße	A1, A2, ...
	Wasserstraße	EL, EHK, ...
	Bahnstrecke	MD-B, MD-HOG, ...
	Flugstrecke	LEJ-STN, BER-LTN, ...
<b>Lager</b>	Hochregallager	HRL1, HRL2, ...
	Puffer	Puffer1, Puffer2, ...
	Lagerhaus	LagerA, LagerB, ...
	Lagerplatz	Platz1, Platz2, ...
<b>Umschlagpunkt</b>	Rampe	Rampe1, Rampe2, ...
	Schiff-Terminal	TerminalA, TerminalB, ...
	Bahn-Terminal	Terminal1, Terminal2, ...
	Stand	Stand1, Stand2, ...
<b>Standplatz</b>	Pool	Pool1, Pool2, ...
	Werkstatt	W1, W2, ...
	Tankstelle	Tankstelle1, Tankstelle2, ...
<b>Geschäftsobjekt</b>	Auftrag	A1, A2, ...
	Vertrag	V1, V2, ...
	Rechnung	R1, R2, ...
<b>Objektinformation</b>	Lieferschein	L1, L2, ...
	Stückliste	SL1, SL2, ...
	Adressfeld	AdressA, AdressB, ...

Tabelle 2.5: Einteilung der physischen Objekttypen i. A. a. [SCHENK et al., 2006, S. 30 f.], [TOLUJEW et al., 2007, S. 218 f.] und [SCHENK et al., 2007a, 223 f.]

	<b>Nicht verschachtelt</b>	<b>Verschachtelt</b>
<b>Bewegt</b>	Gut	Verpackungseinheit Ladeeinheit Transportmittel
<b>Stationär</b>		Transportkanal Lager Umschlagpunkt Standplatz

## 2.6 Logistische Prozesse

Der Begriff Prozess ist in den Ingenieurwissenschaften und der Logistik wohldefiniert und sehr gut bekannt. Eine Definition von Prozess ist folgende:

„Ein Prozeß ist eine Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder auch Information umgeformt, transportiert oder auch gespeichert wird“ [DIN19226, 1994, S. 3].

Wird ein Prozess auf ein logistisches Objekt angewendet, verändert sich der Anfangszustand des Objekts in einen Endzustand, vgl. [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 23]. Typische logistische Prozesse sind Transport, Lagerung, Umschlag, Kommissionierung und zur Steuerung notwendige Informations- und Kommunikationsprozesse, vgl. [FLEISCHMANN, 2008, S. 6]. Transport, Umschlag und Lagerung werden als TUL-Prozesse bezeichnet und sind Stoffbereitstellungsprozesse. Dabei dienen Transport und Umschlag zur Ortsveränderung und Lagerung zum Aufbewahren (Änderung der Zeitkoordinate), vgl. [GROSSMANN, 1990, S. 11]. Die TUL-Prozesse sind keine Stoffwandlungsprozesse sondern ändern nur die Struktur und Form des Objekts falls eine fehlerhafte Durchführung stattgefunden hat. Der Prozess der Kommissionierung ist eine Zusatzfunktion zu den TUL-Prozessen und beinhaltet das Sammeln, Verteilen, Sortimentieren und Sortieren von Gütern, vgl. [GROSSMANN, 1990, S. 12] und [FLEISCHMANN, 2008, S. 7]. Alle vier Prozesse werden auf die physischen Objekttypen angewendet. Die Prozesse auf den abstrakten Objekttypen sind die Informations- und Kommunikationsprozesse, bei denen der Fokus darauf liegt, die richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereit zu stellen, vgl. [FLEISCHMANN, 2008, S. 7].

## 2.7 Logistikmanagement

Ein Logistiksystem ist ein Leistungssystem, welches materielle und immaterielle Leistungen erzeugt, vgl. [GUDEHUS, 2010, S. 4] und Kapitel 2.4. Die Aufgaben der Logistik sind diese Leistungen aufzubauen,

zu betreiben und zu optimieren, vgl. [GUDEHUS, 2010, S. 4]. Diese Aufgaben entsprechen genau denen aus Kapitel 2.1 Planung bzw. Konfiguration, Organisation bzw. Durchführung und Regelung und Steuerung der logistischen Leistungserstellung. Daher wird unter Logistikmanagement „die effektive und effiziente Führung der Logistik-Aktivitäten, um die Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen“ [SCHÖNSLEBEN, 2011, S. 7] verstanden und ist außerdem die „ganzheitliche, marktorientierte Organisation und Gestaltung aller logistischen Systeme sowie die Planung, Abwicklung, Steuerung und Kontrolle der darin ablaufenden logistischen Prozesse“ [SCHUH et al., 2013, S. 11].

Die Funktionen des Logistikmanagements sind in hierarchischen Organisationsebenen unterteilt, vgl. [GUDEHUS, 2010, S.48 f.]. Diese lassen sich je nach Aufgaben und Merkmalen von einander abgrenzen, siehe Tabelle 2.6. Es wird in drei Ebenen: administrative/strategische, dispositive/taktische und operative Ebene unterschieden. Dabei liegen die Unterschiede sowohl in den Aufgaben als auch in den Vorgaben, der Sicherheit der Informationen, den jeweiligen Strategien und den Entscheidungs-, Bearbeitungs- und Reaktionszeiten. Die strategische Ebene ist den anderen beiden Ebenen übergeordnet und erhält die Aufträge direkt von der Unternehmensleitung. Sie unterliegt den Vorgaben des Marktes und muss mit unsicheren Informationen Prognosen erstellen mit denen Planungs- und Nutzungsstrategien für das Unternehmen erarbeitet werden. Die Entscheidungszeiten auf der strategischen Ebene können Stunden aber auch Wochen umfassen. Die dispositive Ebene liegt zwischen der strategischen und operativen und hat eine mittlere Bearbeitungszeit von einigen Minuten bis Stunden. In dieser Ebene werden mit Hilfe von relativ gesicherten Daten die externen Aufträge der Kunden disponiert und verwaltet, sowie die Produktion geplant und Ressourcen je nach Auftrag verteilt. Die operative Ebene bezieht sich direkt auf den Betrieb des logistischen Systems. Es werden die internen Aufträge ausgeführt und überwacht und somit die einzelnen Prozesse ausgelöst, gesteuert, geregelt und überwacht. Diese Ebene muss sicherstellen, dass die internen Aufträge des Unternehmens planmäßig abgearbeitet werden. Hier sind Reaktionszeiten auf Probleme sehr kurz und bewegen sich im Sekunden- bis Minutenbereich [GUDEHUS, 2010, S.48 f.]. Im Folgenden werden die Aufgaben des operativen Logistikmanagements genauer betrachtet.

### 2.7.1 Operatives Logistikmanagement

Das operative Logistikmanagement erhält vom dispositiven Management die geplanten internen Aufträge zur Durchführung der Logistik- und Produktionsprozesse. Unter einem Auftrag wird folgendes verstanden:

Ein Auftrag ist „eine Einheit (z. B. Bestellung oder Sendung) für einen Empfänger (Adresse, in der Regel Kunde) mit einem definierten Liefertermin. Ein Auftrag gliedert sich in unterschiedliche Arbeitspakete. Ein Auftrag hat einen definierten Status, der je nach Bearbeitungsfortschritt wechselt (bekannt, disponiert/freigegeben etc.)“ [VDI4493, 2013, S. 3].

Die Kundenaufträge werden vom dispositiven Logistikmanagement in einzelne interne Aufträge unterteilt, die der operative Logistikmanager steuern muss, vgl. [VDI4493, 2013, S. 3]. Der Begriff Steuerung

Tabelle 2.6: Aufgaben und Merkmale der Organisationsebenen des Logistikmanagements nach [GÜDEHUS, 2010, S. 49]

<b>Administrative/Strategische Ebene</b>	
Aufgaben	Unternehmensplanung Strategieentwicklung Programmplanung Marketing Verkauf Einkauf Finanz- und Rechnungswesen Personalverwaltung Controlling der Gesamtprozesse
Merkmale	Aufträge der Unternehmensleitung Vorgaben des Marktes Arbeiten nach Planungs- und Nutzungsstrategien unsichere Informationen lange Entscheidungszeiten (Stunden bis Wochen)
<b>Dispositive/Taktische Ebene</b>	
Aufgaben	Auftragsdisposition Auftragsverwaltung Produktionsplanung Arbeitsvorbereitung Bestandsführung Nachschubdisposition Betriebsmitteldisposition Auftragsverfolgung Kontrolle der operativen Prozesse
Merkmale	Externe Aufträge Vorgaben der administrativen Ebene Arbeiten nach Dispositionsstrategien relativ gesicherte Informationen mittlere Bearbeitungszeiten (Minuten bis Stunden)
<b>Operative Ebene</b>	
Aufgaben	Auslösen der Prozesse Steuern der Einzelvorgänge Regeln der Prozesse Überwachung der Prozesse Sicherung der Durchführung
Merkmale	Interne Aufträge Vorgaben der dispositiven Ebene Ausführung nach Betriebsstrategien gesicherte Informationen kurze Reaktionszeiten (Sekunden bis Minuten)

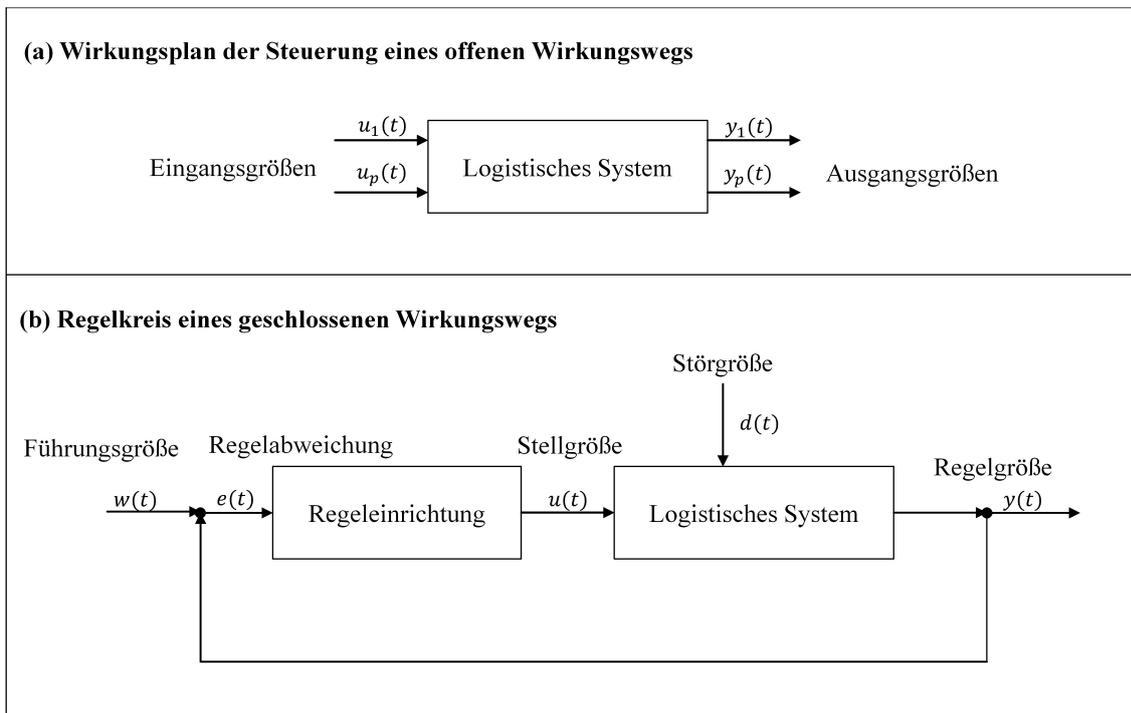


Abbildung 2.1: Wirkungspläne der Regelung und Steuerung (a) Steuerung eines offenen Wirkungswegs, (b) Regelkreis eines geschlossenen Wirkungswegs, (a) nach [REINHARDT UND BONGARDS, 2011, S. X2], (b) nach [REINHARDT UND BONGARDS, 2011, S. X2] und [LUNZE, 2013, S. 4]

ist in der Regelungstechnik definiert und bedeutet:

„Das Steuern, die Steuerung, ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen, andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen“ [DIN19226, 1994, S. 7].

Somit muss der operative Logistikmanager mittels minimalen Ressourceneinsatz (Eingangsgrößen) den Output (Ausgangsgröße) nach den Gesetzmäßigkeiten des jeweiligen Prozesses maximieren, vgl. [REINHARDT UND BONGARDS, 2011, S. X2] und [VDI4493, 2013, S. 8]. Dieser Zusammenhang ist nach [REINHARDT UND BONGARDS, 2011, S. X2] in Form eines Wirkungsplans in Abbildung 2.1 (a) dargestellt. Da bei der Steuerung jedoch nachträglich kein Abgleich der Outputgrößen mit den zuvor gesetzten Zielen des Systems stattfindet, muss der operative Logistikmanager zusätzlich das System regeln.

„Das Regeln, die Regelung, ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe, die Regelgröße erfaßt, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird“ [DIN19226, 1994, S. 7].

Bei einem Regelkreis, siehe Abbildung 2.1 (b) werden Störgrößen des Systems miteinbezogen. Störgrößen beeinflussen die Gesetzmäßigkeiten des Systems so, dass die gesteuerten Ausgangsgrößen von den gewünschten Zielvorgaben abweichen. Daher wird bei der Regelung die Ausgangsgröße, in diesem Fall

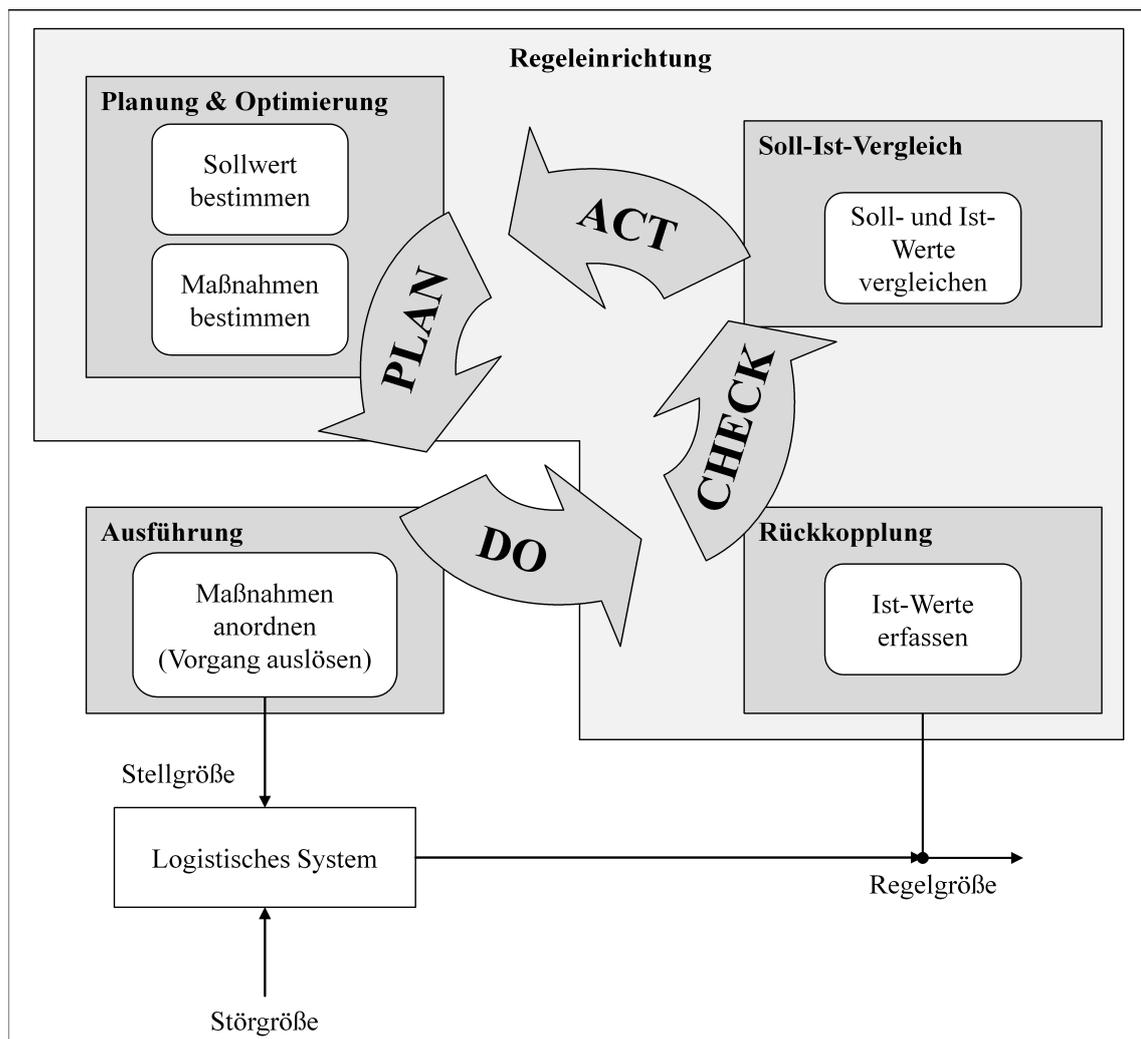


Abbildung 2.2: Regelkreis des operativen Logistikmanagements i. A. a. [ULRICH und KRIEG, 1973, S. 30], [DEMING, 2000, S. 88 f.], [WIENDAHL, 2011, S. 40] und [VDI4493, 2013, S. 8]

dann die Regelgröße, an den operativen Logistikmanager gemeldet und mit den Führungsgrößen, den Sollvorgaben, verglichen. Bei Abweichungen kann der operative Logistikmanager über eine Stellgröße das System regeln. Für die Bereitstellung der Informationen über mögliche Abweichungen werden in Unternehmen Logistikleitstände verwendet, vgl. [VDI4493, 2013, S. 2]. Regelgrößen sind z. B. Bestände, Durchlaufzeiten und Liefertermine, vgl. [KLAUS et al., 2012, S. 433].

Damit lassen sich die Aufgaben des operativen Logistikmanagements in einem Regelkreis darstellen. In Abbildung 2.2 ist ein schematisches Modell nach [ULRICH und KRIEG, 1973, S. 30], [DEMING, 2000, S. 88 f.], [WIENDAHL, 2011, S. 40] und [VDI4493, 2013, S. 8] abgebildet. Ausgangspunkt ist das logistische System, dessen Ausgangsgrößen bzw. Regelgrößen durch Störgrößen von den zuvor definierten Zielgrößen abweichen. Die hier dargestellte Regeleinrichtung entspricht einem typischen Logistikleitstand mit den drei Funktionen: Rückkopplung, Soll-Ist-Vergleich und Planung und Optimierung. Diese drei Funktionen zusammen mit der Aufgabe des Logistikmanagers entsprechen dem Plan-Do-Check-Act-Zyklus

nach [DEMING, 2000, S. 88 f.]. Unter der Phase Act wird die Verbesserung der Qualität der Ausgangsgrößen verstanden, vgl. [DEMING, 2000, S. 88 f.] und [WIENDAHL, 2011, S. 42]. Die Aufgaben innerhalb der Funktionen werden nacheinander ausgeführt und durch die Meldung der Ist-Werte der Regelgröße ausgelöst. Weicht der Ist-Wert vom Soll-Wert ab, muss der Soll-Wert erneut überprüft und zielgerichtete Maßnahmen bestimmt werden. Diese werden durch den Logistikmanager ausgelöst und auf das logistische System angewendet, vgl. [ULRICH und KRIEG, 1973, S. 30] und [WIENDAHL, 2011, S. 42]. Im Folgenden werden die einzelnen Größen und Funktionen des Regelkreises für das in dieser Arbeit relevante logistische System erläutert. Dabei werden Konzepte und Ansätze aus dem Gebiet des Supply Chain Event Management (SCEM) verwendet, da diese die Aufgaben eines operativen Logistikmanagements in einem Unternehmen sehr gut abbilden.

**Stellgrößen - Ressourceneinsatz** Stellgrößen eines logistischen Regelkreises sind Größen, die ein operativer Logistiker selbst verändern kann, um Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Werten so gering wie möglich zu halten, vgl. Abbildung 2.2. Der Handlungsspielraum eines operativen Logistikers liegt darin, den Ablaufplan für den Einsatz und die Höhe der Kapazitäten der Ressourcen im begrenzten Umfang kurzfristig zu verändern, vgl. [WRIGGERS, 2008, S. 363]. Unter Ressourcen im Unternehmen werden zum einen materielle Ressourcen verstanden, wie Energie, Finanzen, Rohstoffe, Produktionsmittel und Mitarbeiter und zum anderen immaterielle Ressourcen, wie Zeit, Information und Wissen, vgl. [SCHENK et al., 2014, S. 45].

**Regelgrößen - Zustände und Ereignisse** Regelgrößen im Regelkreis des operativen Logistikmanagements sind Zustände und Ereignisse der am Prozess beteiligten logistischen Objekte, vgl. [VDI4493, 2013, S. 13]. Der Zustand eines logistischen Objekts lässt sich durch notwendige Merkmale beschreiben [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 24] und wird durch einen mehrdimensionalen Vektor beschrieben [TOLUJEW et al., 2007, S. 218]. Der Zustandsvektor beinhaltet als erste Komponente die eindeutige Identifikationsnummer des Objekts und als zweite einen Zeitstempel, da Objekte im System Prozesse durchlaufen und deren Zustände zeitlich nicht konstant sind. Alle weiteren Komponenten beinhalten Attribute der Objekte, die deren räumlichen, sachlichen und qualitätsbezogenen Eigenschaften abbilden, vgl. [BRETZKE, 2002, S. 29] und [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 187]. Der Zustand  $Z(ID, t)$  eines Objekts zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  wird somit wie folgt dargestellt, vgl. auch [BRANDAU und TOLUJEW, 2011, S. 49] und [KRAMPE und LUCKE, 2012, S. 24]:

$$Z(ID, t) := (ID, t, A_1(ID, t), \dots, A_n(ID, t)), \quad (2.1)$$

wobei  $ID$  die Identifikationsnummer des Objekts und  $A_i(ID, t)$ , für  $1 \leq i \leq n, n \in \mathbb{N}$ , der Wert des Attributs  $A_i$  ist.

Der Begriff Ereignis ist in der Literatur unterschiedlich definiert. Im Supply Chain Event Management (SCEM) impliziert der Begriff häufig eine Wertung. Allgemein und auch für diese Arbeit wird unter

Tabelle 2.7: Auswahl typischer Attribute logistischer Objekte

Kriterium	Beispiele für Attribute
Lokalisierung	Ort
Qualitätskriterien	Temperatur, Luftfeuchte, Erschütterung
Prozesskriterien	Status
Verschachtelte Objekte	Inhalt
Instandhaltungskriterien	Tankfüllstand, Abnutzung
Kriterien zu Informationen	Anwesenheit des Lieferscheins, Produktinformationen, Adressaufkleber
Kostenkriterien	Prozesskosten
Ressourcenverbrauch	CO <sub>2</sub> -Verbrauch, Stromverbrauch

einem Ereignis eine Zustandsänderung verstanden. Ein Ereignis stellt somit eine „Änderung mindestens eines Attributes eines Objektes“ [TOLUJEW et al., 2007, S. 218] dar, wobei hier mit Attribut der Wert des Attributs gemeint ist. Ein Ereignis  $E_A(ID, t)$  zu einem Attribut  $A$  wird auch als Vektor dargestellt, vgl. [BRANDAU und TOLUJEW, 2011, S. 49]:

$$E_A(ID, t) := (ID, t, A(ID, t - 1), A(ID, t)), \quad (2.2)$$

wobei  $t$  den Zeitpunkt beschreibt, an dem das Ereignis eingetreten ist und  $t - 1$  den Zeitpunkt der letzten Änderung des Attributwerts  $A$ . Zustände und Ereignisse eines logistischen Objekts des Systems werden entweder kontinuierlich oder nach bestimmten Prozessschritten durch Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien aufgenommen und in Zustands- und Ereignisprotokollen in einem Data-Warehouse-System gespeichert.

Die Attribute der Zustandsdaten sind Merkmale der betrachteten Objekte. In Tabelle 2.7 ist eine Auswahl an möglichen Attributen für logistische Objekte abgebildet. Es können eine Vielzahl von Attributen definiert werden, es ist aber wichtig zu prüfen, welche benötigt werden. Bei bewegten Objekten ist es z. B. notwendig den Ort zu kennen. Das Logistikprodukt muss in einigen Systemen speziellen Qualitätskriterien genügen. Dies kann eine vordefinierte Temperatur oder Luftfeuchte sein oder auch die Unversehrtheit bei zerbrechlichen Gütern. Da logistische Objekte Prozesse durchlaufen, muss deren Prozessstatus aufgenommen werden. Bei verschachtelten Objekten, die andere Objekte beinhalten können, ist das Attribut Inhalt relevant. Bei Objekten, die an den Prozessen beteiligt sind (wie Transporteinheiten) sind wichtige Attribute Instandhaltungsattribute, wie z. B. Tankfüllstand, Batteriestand oder auch eine Abnutzungsrate. Außerdem können weitere Kriterien wichtig sein, wie z. B. ob das Objekt spezielle Informationen enthalten muss (Lieferschein, Adressaufkleber). Auch Kriterien wie Kosten oder Ressourcenverbrauch können Regelgrößen sein, vgl. [NISSEN, 2002, S. 478]. Erkennbar ist, dass die Auswahl der Attribute sich an den 6+2 Richtigen der Logistik, vgl. auch [BENSEL et al., 2008, S. 11], an den Einteilungen der logistischen Objekte und an den logistischen Prozessen orientiert.

Tabelle 2.8: Beispiel für Störgrößen i. A. a. [SCHENK et al., 2007b, S. 5]

<b>6+2 Richtigen der Logistik</b>	<b>Beispiele für Störgrößen</b>
Richtige Objekt	Kurzfristige Änderung der Kundenbestellung
Richtige Anzahl	Produktionsausfälle, Fehlmengen bei der Rohstofflieferung, kurzfristige Änderung der Kundenbestellmenge
Richtiger Ort	Lieferung erfolgt an falschen Ort
Richtige Zeit	Maschinenausfälle, Stau, Zollprobleme, Bauarbeiten, Ungünstige Wetterverhältnisse
Richtige Kosten	Erhöhung der Rohstoffpreise, Erhöhung der Kosten für bestimmte Transportmittel
Richtige Qualität	Lieferung schlechter Qualität, Qualitätsverschlechterung während des Transports
Ökologisch richtig	Defekte Maschinen
Richtige Informationen	Fehlerhafter Bestell- oder Lieferschein, Fehlerhafte Produktdaten, Fehlerhafte Handlungsvorschriften

**Führungsgrößen - Sollvorgaben** Führungsgrößen sind vordefinierte Sollvorgaben für Regelgrößen, vgl. [REINHARDT und BONGARDS, 2011, S. X2]. Da im hier definierten Regelkreis des operativen Logistikmanagements Regelgrößen Zustände und Ereignisse der betrachteten logistischen Objekte des logistischen Systems sind, sind die Führungsgrößen vordefinierte Soll-Zustände und -Ereignisse. Während der Planung eines logistischen Systems werden für die logistischen Objekte Vorgaben in Bezug auf Anzahl, Ort, Zeit, Kosten, Qualität, Ökologie und Informationen (6+2 Richtigen der Logistik) definiert. Diese Sollvorgaben müssen bei der Ausführung des logistischen Systems eingehalten werden, da sonst das Gesamtziel des logistischen Systems nicht vollständig erreicht werden kann. Die Soll-Zustände und -Ereignisse bestehen aus vordefinierten Werten oder Toleranzintervallen für die Attribute.

**Störgrößen - Ursachen von Störungen** Die Begriffe Störungen und Störgrößen werden je nach Betrachtungsweise und Fachrichtung unterschiedlich definiert, eine Übersicht ist in [HEIL, 1995, S. 29] zu finden. Nach Definition von REFA ist eine Störgröße eines Systems eine „Ursache einer wesentlichen Soll-Ist-Abweichung“ [REFA, 1977, S. 186]. Störgrößen führen zu Störungen, die Zustandsänderungen (Ereignisse) sind, „unerwartet eintreten und eine Unterbrechung oder zumindest Verzögerung der Aufgabendurchführung zur Folge haben“ [REFA, 1977, S. 186]. Für FISCHÄDER und SCHNEIDER sind logistische Störungen „zeitlich befristete und zufällige Einwirkungen auf den Prozess der Leistungserbringung“ [FISCHÄDER und SCHNEIDER, 2004, S. 91] und an Störgrößen gekoppelt. Somit führen Störgrößen zu unerwarteten Zustandsänderungen, die Abweichungen von Sollvorgaben induzieren, vgl. [FISCHÄDER und SCHNEIDER, 2004, S. 91]. Eine Störung ist nur von bestimmter Dauer, die durch Maßnahmen ggf. reduziert werden kann, vgl. [FISCHÄDER und SCHNEIDER, 2004, S. 91]. Es gibt eine Vielzahl an möglichen Störgrößen für logistische Systeme, die unterschiedlich systematisiert werden können. In Tabelle 2.8 sind Beispiele für Störgrößen sortiert nach den 6+2 Richtigen der Logistik i. A. a. [SCHENK et al., 2007b,

S. 5] dargestellt. Weiterhin können Störgrößen auch danach systematisiert werden, ob diese im System (intern) oder durch äußere Einflüsse (extern) entstanden sind. Weitere Einteilungen von Störgrößen sind in [HEIL, 1995, S. 85] zu finden.

**Regeleinrichtung - Funktionen des Supply Chain Event Management** Die allgemeine Regeleinrichtung eines logistischen Systems, der Logistikeitstand, besteht wie in Abbildung 2.2 aus den drei Phasen der Rückkopplung, dem Soll-Ist-Vergleich und der Planung und Optimierung. Dies entspricht auch den Konzepten der Regelung von Wertschöpfungsketten zwischen Unternehmen (Supply Chains). Da in dieser Arbeit Zustands- und Ereignisdaten der relevanten logistischen Objekte des Systems die Regelgrößen sind, werden im Folgenden die Konzepte des Supply Chain Event Managements erläutert und auf die in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsfälle übertragen.

Der Logistikeitstand als Regeleinrichtung ist das Verbindungsglied zwischen der Planung und der Ausführung logistischer Prozesse. Diesen Anspruch hat auch das Supply Chain Event Management (SCEM) mit Fokus auf logistische Prozesse zwischen Unternehmen und deren Lieferanten und Kunden. SCEM verbindet die Planung mit der Ausführung, verkürzt die Reaktionszeit auf Abweichungen und bewertet die Supply Chain Performance, vgl. [WIESER und LAUTERBACH, 2001, S. 65], [BRETZKE, 2002, S. 28], [MORS, 2002, S. 26 ff.], [NISSEN, 2002, S. 477], [HEUSLER et al., 2006, S. 19] und [BENSEL et al., 2008, S. 3]. Der Begriff des SCEM existiert seit fast zwanzig Jahren und eine der ersten Definitionen ist die folgende:

„Supply Chain Event Management (SCEM) processes and systems alert companies to any unplanned changes in supply lines or other events so they can respond with alternatives. The set of integrated functionality crosses the five business processes of Monitor, Notify, Simulate, Control and Measure supply chain activities.“ [AMRRESEARCH]<sup>4</sup>

Damit dienen SCEM Systeme dazu Unternehmen zu warnen, wenn ungeplante Ereignisse oder auch Veränderungen in der Supply Chain auftreten, so dass diese dann mit entsprechenden Gegenmaßnahmen reagieren können. Als Funktionen beinhalten SCEM Systeme das Überwachen, Melden, Simulieren, Steuern und Messen.

Die obige Definition beschreibt SCEM ganz allgemein und benennt dabei SCEM als Prozess und System. SCEM kann auch aus drei Perspektiven beleuchtet werden. Diese sind zum einen SCEM als Managementkonzept und zum anderen als Softwarelösung oder auch Softwarekomponente, vgl. [OTTO, 2003, S. 1]. SCEM als Softwarelösung und -komponente wird in Kapitel 3.4.6 genauer beschrieben.

Das Ziel von SCEM ist die Identifizierung von Abweichungen und die Minimierung von negativen Einflüssen bevor diese die Kundenzufriedenheit und die Effizienz der Prozesse beeinträchtigen. Um dies zu erreichen, muss die Zeit, die zwischen dem Eintreffen des Ereignisses und dem Melden des Ereignisses an den verantwortlichen Entscheider und die Zeit zwischen dem Senden des Problems und der Generierung der erfolgreichen Reaktion verkürzt werden, damit diese nicht unnötig verbraucht wird,

<sup>4</sup>Zitiert nach [IJOUI et al., 2007, S. 9], da Primärquelle nicht mehr verfügbar.

vgl. [BRETZKE, 2002, S. 28] und [OTTO, 2003, S. 3]. Dazu muss für den Entscheider die Supply Chain transparent sein, was bedeutet, dass die richtigen Informationen zur richtigen Zeit (in Echtzeit) für den richtigen Adressaten verfügbar sind (Supply Chain Visibility), vgl. [BRETZKE, 2002, S. 29], [OTTO, 2003, S. 4] und [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 179]. Zur Sicherstellung der Transparenz zwischen allen beteiligten Akteuren der Supply Chain werden mobile Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien verwendet (Mobile SCEM, e-Enabled Supply Chain), vgl. [KURBEL und SCHREBER, 2005, S. 21] und [NEGRETTO, 2002].

Durch den Einsatz von SCEM wird die Transparenz und Kontrolle der komplexen Supply Chain erhöht und eine kontinuierliche Optimierung der Prozesse ermöglicht. Dies führt zur Verbesserung der Qualität der Produkte und der Reduzierung von Kosten, was die Kundenbindung verbessert und die Umsätze steigert, vgl. [NISSEN, 2002, S. 479] und [HEUSLER et al., 2006, S. 24].

Basierend auf dem allgemeinen Regelkreis eines operativen Logistikmanagers, vgl. Abbildung 2.2, werden die Funktionen des SCEM als Phasenmodell abgebildet. Es gibt verschiedene Phasenmodelle, die sich aber nur durch den Fokus der Betrachtung unterscheiden. Das von [BITTNER, 2000]<sup>5</sup> und [KNICKLE, 2001]<sup>6</sup> entwickelte Modell besteht aus den fünf Phasen Monitor, Notify, Simulate, Control und Measure. Die fünf Phasen enthalten folgende Aufgaben, vgl. [WIESER und LAUTERBACH, 2001, S. 66], [NISSEN, 2002, S. 478], [KARRER, 2003, S. 194], [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 183], [HEUSLER et al., 2006, S. 22], [BENSEL et al., 2008, S. 6 f.] und [HOFSTETTER und STÖLZLE, 2013, S. 249 ff.]:

1. **Monitor - Überwachen:** Es werden alle relevanten Supply Chain Prozesse, durch den Abgleich der Ist-Daten mit den Soll-Daten überwacht. Als Daten dienen Zustands- und Ereignisdaten der beteiligten Objekte aber auch aggregierte Zustandsdaten wie der Status über Bestände, Aufträge und Lieferungen.
2. **Notify - Melden:** Wenn in der Phase Monitor eine Planabweichung identifiziert wurde, wird diese an die entsprechende Entscheidungsinstanz gemeldet.
3. **Simulate - Simulieren:** Nach der Benachrichtigung der Entscheidungsinstanz müssen nun Handlungsalternativen und Maßnahmen bewertet und ausgewählt werden, die als Ziel die Minimierung der Plan-Ist-Abweichungen haben. Dieser Prozess wird durch Simulationsmodelle unterstützt, die aber keine langen Rechenlaufzeiten haben dürfen, da in dieser Phase schnell und zielorientiert reagiert werden muss.
4. **Control - Steuern:** Nach der Auswahl einer Maßnahme muss diese in das logistische System implementiert werden, dies geschieht über die entsprechende Stellgröße.
5. **Measure - Messen:** Währenddessen werden Key Performance Indicators generiert. Diese ermöglichen die Supply Chain Performance zu messen. Daher dient die Phase dazu Sollvorgaben und Zielgrößen anzupassen.

---

<sup>5</sup>Zitiert nach [WIESER und LAUTERBACH, 2001, S. 65], da Primärquelle nicht verfügbar.

<sup>6</sup>Zitiert nach [NISSEN, 2002, S. 480], da Primärquelle nicht verfügbar.

Die Phasen Monitor und Measure finden prozessbegleitend und kontinuierlich statt. Nur wenn Abweichungen auftreten, werden die Phasen 2-4 angestoßen. Supply Chain Planning Systems haben die Phasen Simulate und Control als Applikationen integriert. Das gleiche gilt für Data Warehouse Systems und der Phase Measure, vgl. [NISSEN, 2002, S. 478]. Die Datensammlung für die Phase Monitor erfolgt zum Teil manuell oder auch unterstützt durch Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien, [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 184].

Das hier erläuterte Phasenmodell des SCEM bezieht sich auf Probleme, die in einer Supply Chain auftreten können. Aber auch auf dem Gebiet des Managements von Katastrophen, mechanischen oder thermischen Ursprungs, in denen der Mensch im Fokus steht, muss schnell reagiert werden. In diesen Fällen ist es sehr wichtig, dass zwischen Eintreffen der Krise und Einsteuerung von Gegenmaßnahmen so wenig Zeit wie möglich vergeht. Die Funktionen eines Krisenreaktionssystems werden auch über ein Phasenmodell beschrieben, vgl. [YUFEI und DETLOR, 2005, S. 96]:

1. **Monitoring & Reporting - Überwachen & Erfassen:** Krisenanfällige Gebiete werden kontinuierlich überwacht und sobald eine Abweichung statt gefunden hat, wird diese an die Notfallzentrale gemeldet.
2. **Identification - Identifizieren:** Die Art der Krise und auch der Umfang muss schnell identifiziert und abgeschätzt werden.
3. **Notification - Melden:** Diese Informationen werden an die entsprechenden Notfallteams gemeldet.
4. **Organization - Organisieren:** Basierend auf diesen Informationen werden der Ressourceneinsatz und die Verteilung der Rollen vorgenommen.
5. **Operation - Durchführen:** Während des Notfalleinsatzes dient das Krisenreaktionssystem zur Informationsverbreitung und Kommunikation.
6. **Assessment & Investigation - Bewertung & Ursachenforschung:** Abschließend muss die Krise bewertet und deren Ursachen analysiert werden.

Auch hier laufen die Phasen nicht strikt sequentiell ab, sondern zum Teil parallel. In Anlehnung an das Krisenmanagementsystem haben [KURBEL und SCHREBER, 2005, S. 22] und [TEUTEBERG, 2007, S. 17] ein Phasenmodell für das SCEM abgeleitet. Bei diesem Phasenmodell wird die Phase Monitor unterteilt in zwei Phasen, da der Fokus auf der Identifizierung der Abweichungen liegt. Die Phasen und deren Aufgaben sind folgende, vgl. [KURBEL und SCHREBER, 2005, S. 22] und [TEUTEBERG, 2007, S. 17]:

1. **Monitoring & Reporting - Überwachen & Erfassen:** Das betrachtete logistische System wird kontinuierlich überwacht und die Zustands- und Ereignisdaten der Objekte erfasst.
2. **Identification - Identifizieren:** Zusätzlich zur Überwachung und Erfassung wird kontinuierlich geprüft, ob Störereignisse oder Instabilitäten auftreten.

3. **Notification - Melden:** Wurde eine Instabilität oder auch Abweichung identifiziert, wird diese an den Verantwortlichen gemeldet.
4. **Planing & Simulation - Planen & Simulieren:** Zur Vermeidung und Eliminierung der Störung oder Instabilität müssen Gegenmaßnahmen vom Verantwortlichen ausgewählt werden, die mittels Simulationsstudien bewertet werden.
5. **Execution & Coordination - Ausführen & Koordinieren:** Abschließend wird die Gegenmaßnahme ausgeführt und koordiniert.
6. **Measuring & Controlling - Messen & Bewerten:** Währenddessen werden weitere logistische Kennzahlen gemessen und die Ursachen der Störungen untersucht. Außerdem muss geprüft werden, ob die Störung mittel- oder langfristige Auswirkungen auf die Supply Chain hat.

Da das Phasenmodell in Anlehnung an das Krisenreaktionssystem detaillierter in der Beschreibung ist und die Phase der Identifizierung explizit beschreibt, wird in dieser Arbeit dieses Phasenmodell nach [KURBEL und SCHREBER, 2005, S. 22] und [TEUTEBERG, 2007, S. 17] verwendet. Die Phasen sind dem Regelkreis bzw. der Regeleinrichtung, vgl. Abbildung 2.2, des operativen Logistikmanagements sehr ähnlich. Die SCEM Phase Überwachen & Erfassen entspricht der Rückkopplungsfunktion des Regelkreises. Die Funktion Soll-Ist-Vergleich wird mit der Phase Identifizieren abgedeckt. Beim SCEM Phasenmodell folgt dann die Phase Melden, die aber nicht wie die vorherigen kontinuierlich abläuft, sondern durch eine Störung ausgelöst wird. Treten Störungen auf, müssen Maßnahmen und eventuell neue Soll-Werte bestimmt werden; dies wird über die Phasen Planen & Simulieren und Messen & Bewerten abgedeckt, wobei die zweite kontinuierlich abläuft. Die Ausführungsphasen sind beim Regelkreis und SCEM-Phasenmodell gleich. Der Zusammenhang zwischen dem Regelkreis und dem Phasenmodell ist in Abbildung 2.3 noch einmal verdeutlicht. Dieser erweiterte Regelkreis gilt nicht nur für unternehmensübergreifende Wertschöpfungsketten, sondern auch für die unternehmensinternen Aufgaben des operativen Logistikmanagements. Womit abschließend die Aufgaben des operativen Logistikmanagements vollständig beschrieben und systematisiert sind.

Wie zuvor schon erwähnt werden die Phasen Planen & Simulieren und Messen & Bewerten durch Planungswerkzeuge abgedeckt, vgl. [NISSEN, 2002, S. 478]. Das Überwachen & Erfassen wird durch Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien abgedeckt. Die Phase des Identifizieren ist in diesem Zusammenhang sehr wichtig, denn Störungen und Instabilitäten müssen zuerst erkannt werden, bevor sie gemeldet werden können. Deswegen liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Identifizierung der Störungen, bzw. auf einem Konzept, das die Aufbereitung der Daten speziell für diese Phase beschreibt und Empfehlungen gibt, welche Analysemethoden für die Daten verwendet werden können.

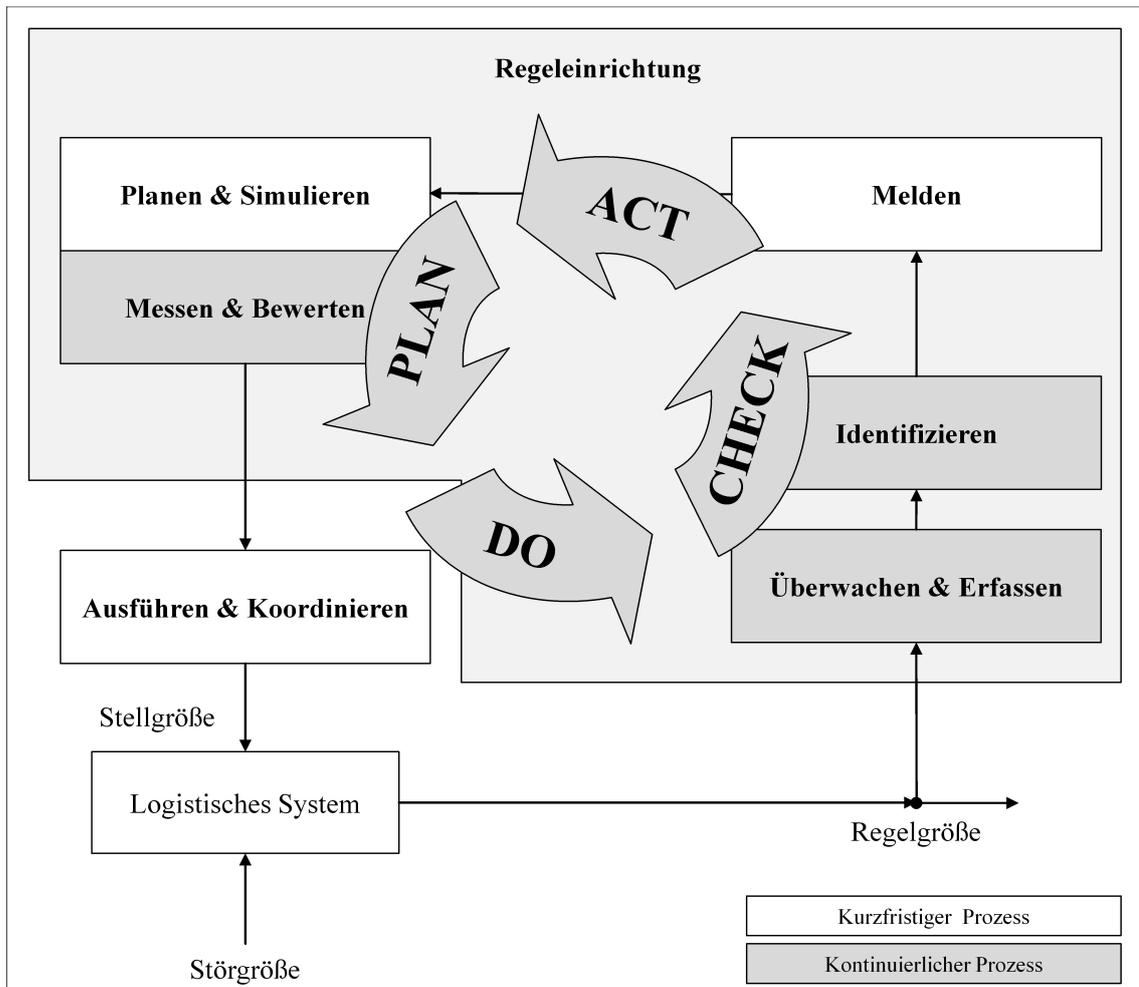


Abbildung 2.3: Phasen des SCQM integriert in den Regelkreis des operativen Logistikmanagements



## Kapitel 3

# Informationssysteme für das operative Logistikmanagement

Das operative Logistikmanagement wird in der Praxis durch Informationssysteme, die die notwendigen Informationen bereitstellen und verarbeiten, unterstützt. Daher werden in diesem Kapitel zuerst die Begriffe Wissen, Information und Daten voneinander abgegrenzt, um dann beschreiben zu können, wie ein Informationssystem definiert ist und welche Funktionen diese besitzen. Darauf aufbauend werden Informationssysteme in der Logistik systematisiert dargestellt und die für diese Arbeit relevanten Informationssysteme detaillierter beschrieben.

### 3.1 Zeichen, Daten, Informationen und Wissen

Wie in Kapitel 2.2 erwähnt, ist es wichtig die Begriffe Zeichen, Daten, Informationen und Wissen definitorisch abzugrenzen. Die Begriffe lassen sich in drei aufeinander aufbauenden Ebenen einbetten, der syntaktischen, der semantischen und der pragmatischen Ebene, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 4] und [BODENDORF, 2006, S. 1]. Die Anordnung der Ebenen und die Einordnung der Begriffe ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

Als Information wird eine „Nachricht, die beim Empfänger zielgerichtete und zweckbezogene Handlungen auslöst“ [PETERSOHN, 2005, S. 7] verstanden. Damit die Information auf den Empfänger wirken kann, muss diese erst dargestellt und vom Empfänger verstanden werden. In der syntaktischen Ebene wird die Information durch Zeichen, welche Elemente aus einer zuvor definierten endlichen Menge wie z. B. Buchstaben, Ziffern oder auch Sonderzeichen [FISCHER und HOFER, 2011, S. 1029], abgebildet, vgl. auch [PETERSOHN, 2005, S. 4 f.]. Dabei bilden Zeichen die „kleinste, einen Sinn ergebende und zu verarbeitende Informationseinheit im Computer“ [FISCHER und HOFER, 2011, S. 1029], vgl. auch [PETERSOHN, 2005, S. 4]. Werden auf der Menge der Zeichen Syntaxregeln definiert, welche die Realität widerspiegeln, werden aus den Zeichen Daten und der Übergang zur semantischen Ebene ist vollzogen. Dadurch

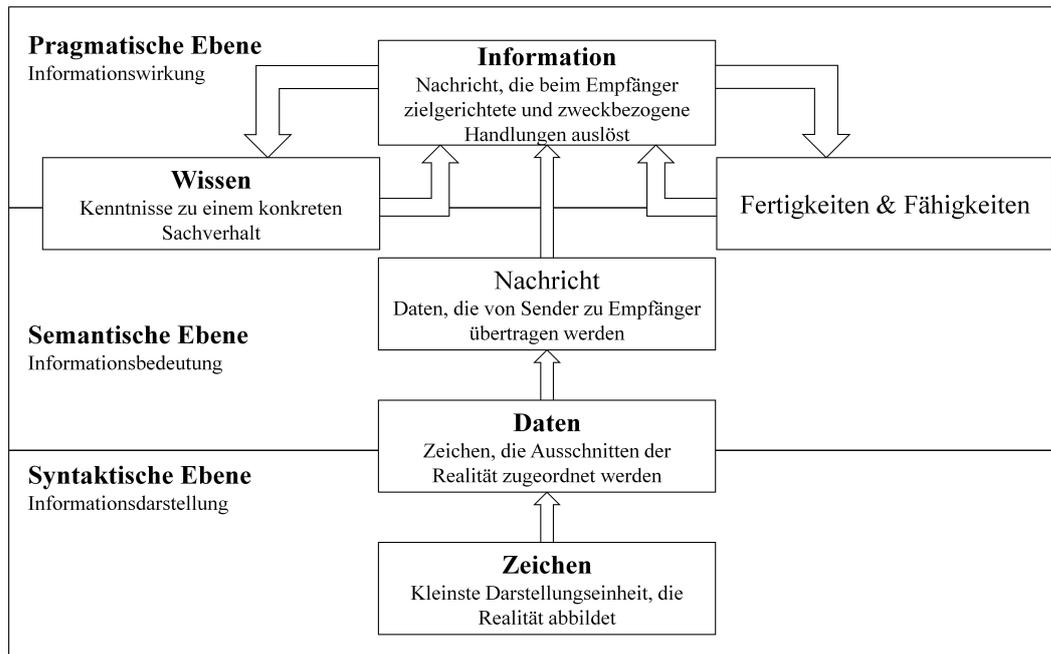


Abbildung 3.1: Semiotische Betrachtungsebenen des Informationsbegriffs nach [PETERSOHN, 2005, S. 7]

ist nicht mehr nur die Darstellungsform der Information gegeben, sondern auch deren Bedeutung. Um aber die Bedeutung der Information zu verstehen, müssen die Daten an einen Empfänger übertragen werden, weswegen dann von Nachrichten gesprochen wird. Damit eine Nachricht bei einem Empfänger auch als eine Information wirkt, muss der Empfänger Kenntnisse zu dem konkreten Sachverhalt haben oder auch bestimmte Fertigkeiten und Fähigkeiten besitzen. Die Verbindung zwischen Wissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten und Informationen ist ein Kreislauf, da neues Wissen und neue Fertigkeiten und Fähigkeiten durch Informationen gewonnen werden können, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 5 f.].

## 3.2 Datenarten

Die Definition von Daten umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Datenarten. Speziell bei der Entwicklung und Verwendung von Informationssystemen ist es notwendig zu definieren, welche Datenarten für ein System notwendig sind. Dazu gibt es verschiedene Merkmale, von denen hier einige auszugswise in Tabelle 3.1 genannt werden. Beginnend mit der Form der Daten, lassen sich diese nach der Art der Zeichen einteilen, numerisch, alphabetisch oder alphanumerisch, vgl. [MERTENS et al., 2012, S. 38]. Daten können auch nach dem Format eingeteilt werden, in formatierte (z. B. Tabellen) oder in unformatierte (z. B. freie Texte), vgl. [MERTENS et al., 2012, S. 38]. Im Sinne der betrieblichen Verarbeitung von Daten wird nach strukturierten und unstrukturierten Daten unterschieden. Strukturierte Daten sind Daten, für die eine explizite Struktur existiert, die vom Nutzer verwendet werden kann. Im Gegensatz dazu sind unstrukturierte Daten, Datensätze wie z. B. Rechnungen als gescannte Datei oder auch Textverarbeitungsdateien, vgl. [WEBER, 2012, S. 19]. In Bezug auf die Verarbeitung von Daten in Informationssystemen

Tabelle 3.1: Datenarten i. A. a. [MERTENS et al., 2012, S. 38] und [WEBER, 2012, S. 14 ff.]

<b>Merkmal</b>	<b>Datenarten</b>		
<b>Zeichenart</b>	Numerisch	Alphabetisch	Alphanumerisch
<b>Formatierung</b>	Formatiert	Unformatiert	
<b>Struktur</b>	Strukturiert	Unstrukturiert	
<b>Verarbeitungsprozess</b>	Eingabedaten	Ausgabedaten	
<b>Dauer</b>	Stammdaten	Bewegungsdaten	
<b>Zeitliche Relevanz</b>	Aktiv	Passiv	
<b>Zustandsübergänge</b>	Zustandsdaten	Ereignisdaten	

wird zwischen Eingabe- und Ausgabedaten unterschieden, vgl. [MERTENS et al., 2012, S. 38]. Dabei spielt die Komponente Zeit auch eine wichtige Rolle. Sind Daten für einen langen Zeitraum konstant wird von Stammdaten gesprochen, ändern sich diese jedoch über der Zeit, wird von Bewegungsdaten gesprochen, vgl. [WEBER, 2012, S. 15 f.]. Auch können Daten darin unterschieden werden, ob diese für den aktuellen Verarbeitungsprozess genutzt werden (aktive Daten) oder nicht relevant sind (passive Daten), vgl. [WEBER, 2012, S. 19]. Bilden Daten Zustände verschiedener Systeme, Objekte oder Prozesse ab, kann zwischen Zustands- und Ereignisdaten unterschieden werden. Dabei bilden Zustandsdaten den Zustand und Ereignisdaten Zustandsänderungen ab, vgl. [WEBER, 2012, S. 18] und Kapitel 2.7.1.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf Daten, die von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien erzeugt und in einem Informationssystem verarbeitet werden. Die Daten bilden den Zustand des betrachteten Systems und den der relevanten Objekte ab und können sowohl numerisch, alphabetisch als auch alphanumerisch sein. Da es unformatierte Daten (Primärdaten, Rohdaten) sind, müssen diese noch in ein spezielles Format transformiert werden. Es handelt sich um Eingabedaten, die sich über der Zeit ändern, also Bewegungsdaten. Die Daten beschreiben Zustände und Zustandsübergänge, weswegen es sich um Zustands- und Ereignisdaten handelt.

### 3.3 Informationssysteme

Informationssysteme dienen der Bereitstellung „der richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Menge am richtigen Ort und in der erforderlichen Qualität“ [PACHOW-FRAUENHOFER und NYHUIS, 2008, S. 303]. Diese Definition beruht auf der Lasswell Formel „WHO says WHAT in WHICH CHANNEL to WHOM with WHAT EFFECT“ [BRADDOCK, 1958, S. 88]. Dazu müssen die Systeme Informationen erfassen, verdichten, bereitstellen, verteilen, übermitteln, transportieren, speichern, interpretieren und transformieren, sowie vorhandene Informationen weiterverarbeiten, sodass neue generiert werden können, vgl. [VIEWEG et al., 2012, S. 75]. Aufgrund dieser Vielzahl von Aufgaben wird ein Informationssystem häufig mit einem Anwendungssystem gleichgesetzt. Anwendungssysteme bestehen aus einem Softwaresystem und einem Hardwaresystem. Dabei bildet das Hardwaresystem die technische Infrastruktur und das Rechnersystem. Das Softwaresystem hingegen stellt die Basissoftware und

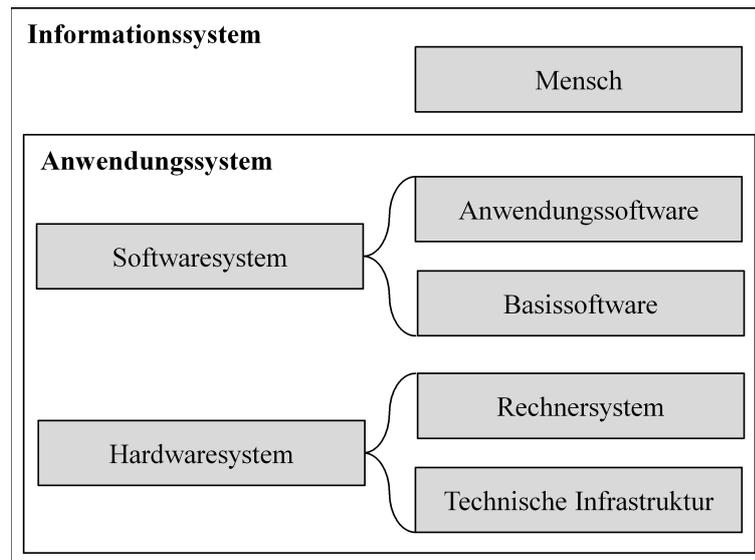


Abbildung 3.2: Bestandteile eines Informationssystems nach [VIEWEG et al., 2012, S. 74] und [WEBER, 2012, S. 4]

die notwendige Anwendungssoftware zur Verfügung. Erst wenn das Anwendungssystem auch von einem Menschen genutzt wird, wird von einem Informationssystem gesprochen, vgl. [VIEWEG et al., 2012, S. 74 f.] und [WEBER, 2012, S. 3 ff.]. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 3.2 noch einmal grafisch dargestellt.

In Unternehmen werden Informationssysteme nicht nur von einem Mitarbeiter genutzt, sondern von mehreren gleichzeitig. Deswegen wird bei der Definition von Informationssystemen zusätzlich gefordert, dass diese in die Organisations-, Personal- und Technikstruktur eingebettet sind. Informationssysteme sind häufig speziell auf das Unternehmen zugeschnitten und damit nicht ohne weiteres auf andere Unternehmen übertragbar, vgl. [LAUDON et al., 2006, S. 31]. In der Praxis ist es nicht immer einfach eine genaue Abgrenzung zwischen Informations- und Anwendungssystem zu ziehen, vgl. [LAUDON et al., 2006, S. 32]. Deswegen wird im Folgenden nur noch von Informationssystemen gesprochen.

Für die Vielzahl an unterschiedlichen Informationssystemen gibt es keine einheitliche Systematisierung. Eine grobe Einteilung lässt sich nach den jeweiligen Funktionen vornehmen. Dabei wird zwischen operativen und analytischen Systemen, Dispositionssystemen, Planungs- und Kontrollsystemen unterschieden, vgl. [MERTENS, 2009, S. 1] und [WEBER, 2012, S. 7].

Operative Systeme (engl. Transactional Systems) unterstützen Mitarbeiter im Unternehmen bei den täglichen Aufgaben, vgl. [HANSEN und NEUMANN, 2009, S. 139] und [VIEWEG et al., 2012, S. 76]. In [MERTENS, 2009, S. 12] wird in diesem Zusammenhang von Administrationssystemen gesprochen, die dazu dienen die Massen an Unternehmensdaten zu verarbeiten und damit Prozesse im Unternehmen zu beschleunigen. Das bekannteste ist das Enterprise Resource Planning System (ERP), das neben der innerbetrieblichen Datenverarbeitung auch teilweise Analysen und Planungen übernimmt, die aber bei diesem System nicht im Mittelpunkt stehen, vgl. [WEBER, 2012, S. 10]. Ein ERP-System dient im Unternehmen zur Integration von Daten, Funktionen und Prozessen. Alle Daten des Systems werden in einer Datenbank

gespeichert und je nach Zugriffsrechten den Mitarbeitern zugänglich gemacht. Die Funktionen der einzelnen Abteilungen werden aufeinander abgestimmt und bei Abschluss einer Funktion wird das Ergebnis einer Folge-Funktion übergeben. In den Geschäftsprozessen sind die Funktionen in der entsprechenden Reihenfolge integriert und ermöglichen somit ein aufeinander abgestimmtes Arbeiten zwischen den einzelnen Abteilungen im Unternehmen, vgl. [WEBER, 2012, S. 10 f.].

Eine Weiterentwicklung der Administrationssysteme sind die analytischen Systeme, welche Daten aus verschiedenen operativen Systemen extrahieren und darauf vordefinierte Analysen durchführen, vgl. [WEBER, 2012, S. 75]. Dies können Dispositionssysteme sein, die entweder Daten für Dispositionsentscheidungen aufbereiten oder sogar selbst Entscheidungen treffen, vgl. [MERTENS, 2009, S. 22] und [HANSEN und NEUMANN, 2009, S. 140].

Dispositionssysteme können allerdings nur gut strukturierte Probleme in kurzer Zeit lösen, vgl. [MERTENS, 2009, S. 14]. Daher gibt es eine weitere Klasse von Informationssystemen, die Planungssysteme. Diese führen auf den Gegenwarts- und Vergangenheitsdaten lang-, mittel- oder kurzfristige Planungen durch, vgl. [WEBER, 2012, S. 118]. Planungssysteme dienen dem mittleren Management und der Unternehmensführung schlecht strukturierte Entscheidungsprobleme zu lösen. Eine Vollautomatisierung der Lösung der Planungsaufgabe ist wegen der hohen Komplexität ohne die Einbindung des Nutzers nicht möglich. Eine weitere Klasse von Systemen, die auf den operativen Systemen aufbauen, sind Kontrollsysteme. Diese überwachen die Unternehmensprozesse durch Soll-Ist-Vergleiche, vgl. [MERTENS, 2009, S. 14].

Informationssysteme können durch eine Vielzahl weiterer Merkmale systematisiert werden. In Tabelle 3.2 ist ein morphologischer Kasten für Informationssysteme nach [MERTENS und MEIER, 2009, S. 3] und [MERTENS et al., 2012, S. 60] dargestellt. Die hier dargestellten Merkmale beziehen sich zum einen auf den Adressaten, wie z. B. die Adressatenanzahl und -hierarchie. Weitere Merkmale kennzeichnen die Funktionen, dabei kann nach Berichtszweck, Abfragemodus, Entscheidungsmodell oder Simulationmöglichkeiten systematisiert werden. In Bezug auf Informationen können die Systeme eingeteilt werden nach Auslöser, Informationsherkunft, -art oder auch -distribution. Ein weiteres Merkmal für Informationssysteme kann die Einteilung nach deren Nutzen im Lösungsprozess sein.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept bietet Unterstützung bei der Entwicklung von analytischen Informationssystemen mit Kontrollfunktionen. Diese unterstützen den Endanwender bei der Überwachung des logistischen Systems durch Symptomerkennung und Diagnose. Anwender des Systems sind Einzelpersonen oder auch eine Gruppe von Mitarbeitern aus der unteren bzw. mittleren Führungsebene.

### **3.4 Informationssysteme in der Logistik**

In der Logistik sind zum Planen, Organisieren und Durchführen, zum Steuern und Regeln und zum Überwachen aller Prozesse sowohl für das strategische und taktische als auch operative Management eine Vielzahl an unterschiedlichen Informationssystemen im Einsatz, vgl. [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 7]. Da in dieser Arbeit das strategische Logistikmanagement nicht im Fokus steht, werden hier nur die

Tabelle 3.2: Morphologischer Kasten für Informationssysteme i. A. a. [MERTENS und MEIER, 2009, S. 3] und [MERTENS et al., 2012, S. 60]

<b>Merkmal</b>	<b>Ausprägungen</b>			
<b>Auslöser</b>	Signale/Ereignisse/Datenkonstellationen	Kalendertermine	Benutzerwunsch	Entscheidungsbedarf
<b>Berichtszweck</b>	Kontrolle/Dokumentation	Anstoß zur Entscheidung	Entscheidungsunterstützung	
<b>Adressatenzahl</b>	Einzelperson		Gruppen	
<b>Adressatenhierarchie</b>	Untere Führungsebene	Mittlere Führungsebene	Obere Führungsebene	Aufsichtsrat
<b>Rollen- und/oder Benutzermodell</b>	Nicht vorhanden		Vorhanden	
<b>Informationsherkunft</b>	Interne Quellen			
<b>Informationsart</b>	Quantitative Informationen			
<b>Präsentationsform</b>	Meldungen	Tabellen	Grafiken	Verbale Berichte
<b>Abfragemodus</b>	Standardabfragen	Standardabfragen mit Parametervariationen		Freie Abfragen
<b>Informationsdistribution</b>	Pull-Verfahren		Push-Verfahren	
<b>Dialogsteuerung</b>	Rein benutzer-gesteuert			
<b>Entscheidungsmodell</b>	Nicht vorhanden	Entscheidungsmodell mit statistischen Methoden	Entscheidungsmodell mit OR-Methoden	Entscheidungsmodell mit Methoden der künstlichen Intelligenz
<b>Simulation</b>	Nicht simulativ	Empfindlichkeitsanalysen		Zielrechnungen
<b>Phase im Lösungsprozess</b>	Symptomerkennung	Diagnose	Therapie	Prognose
				Kontrolle

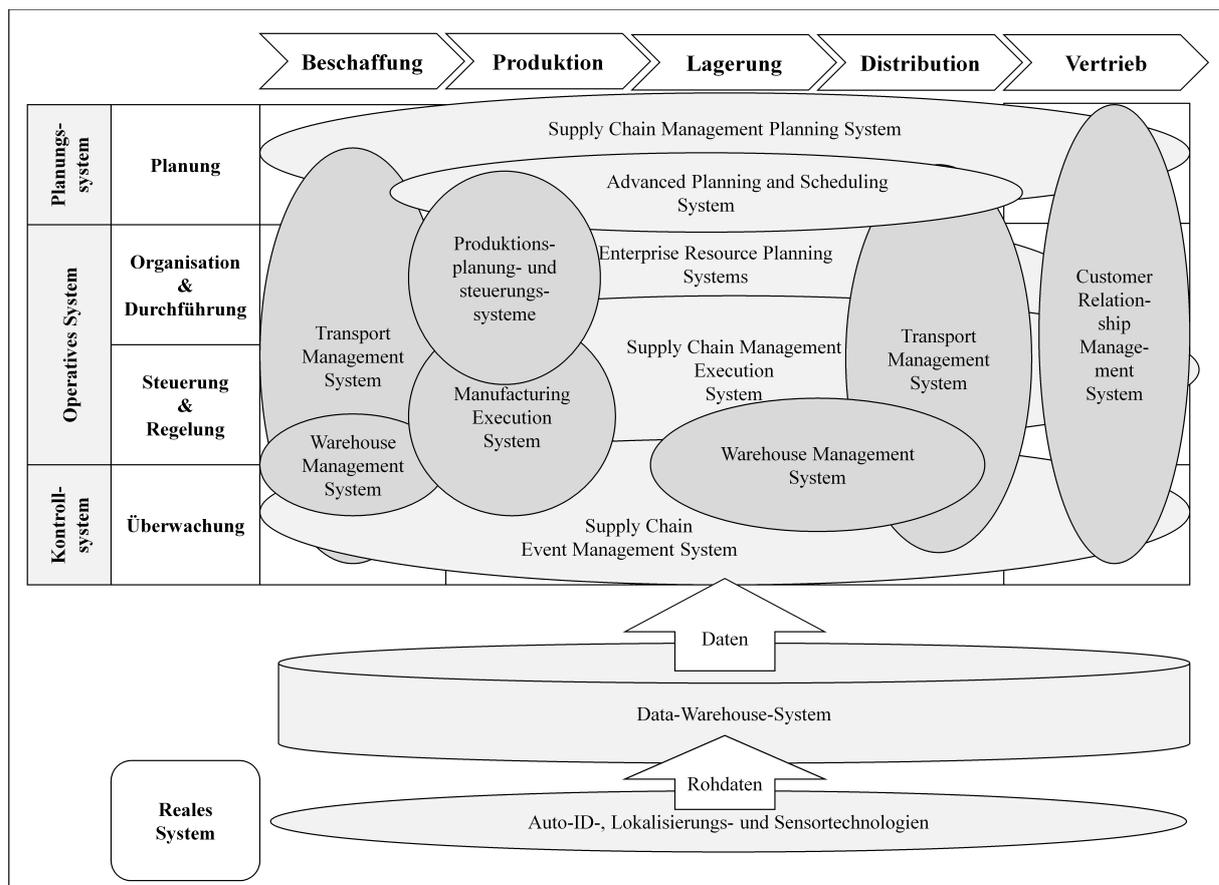


Abbildung 3.3: Einordnung gängiger logistischer Informationssysteme für das taktische und operative Management i. A. a. [STRAUBE, 2004, S. 94], [STRAUBE et al., 2008, S. 21] und [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 11ff]

Informationssysteme vorgestellt, die das taktische und operative Management unterstützen. In Abbildung 3.3 ist eine Auswahl an gängigen Informationssystemen nach deren Einsatz und Funktionen i. A. a. [STRAUBE, 2004, S. 94], [STRAUBE et al., 2008, S. 21] und [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 11 ff.] abgebildet. Zur Datensammlung sind in der Praxis entlang des Materialflusses unterschiedliche Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien implementiert. In großen Lieferketten werden diese Technologien zum Teil auch über das eigene Unternehmen hinaus verwendet. Die gesammelten Daten werden in einem Data-Warehouse-System gespeichert und je nach Bedarf den einzelnen Informationssystemen zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Informationssysteme sind je nach Funktion und Prozess im Unternehmen in Abbildung 3.3 dargestellt. Die Informationssysteme, die nur einem Prozess zugeordnet sind, sind dunkelgrau markiert. Zur Planung von Prozessen und Ressourcen werden Advanced Planning and Scheduling Systeme (APS-Systeme) verwendet, die auf strategischer Ebene prozessübergreifend z. B. zur Absatz- und Produktionsplanung und auf taktischer und operativer Ebene zur Feinplanung dienen, vgl. [HAUSLADEN, 2011, S. 82]. Da APS-Systeme auch Daten der Lieferanten eines Unternehmens mit einbeziehen, wurden Supply Chain Management Planning Systeme und Execution Systeme entwickelt. Diese Systeme unterstützen komplexe Wertschöpfungsketten bei der Planung und Steuerung und bieten

die Integration unterschiedlicher Partner an, vgl. [HAUSLADEN, 2011, S. 83]. Das Produktionsplanungs- und -steuerungssystem wird unternehmensintern verwendet, um eine Produktion auf Basis von vorgegebenen Leistungsvolumina, Kosten, Beständen und Prozess- und Durchlaufzeiten zu planen und steuern, vgl. [HAUSLADEN, 2011, S. 76]. Für den Vertrieb werden Customer Relationship Systeme verwendet, deren Fokus auf den Kundendaten liegt und die für Analysen der Kundenverhalten verwendet werden, vgl. [STRAUBE et al., 2008, S. 22]. Häufig sind diese Systeme auch in Supply Chain Management Systemen integriert, vgl. [HAUSLADEN, 2011, S. 83]. Da in dieser Arbeit der Fokus auf der Überwachung logistischer Prozesse liegt, werden die operativen Informationssysteme mit Kontrollfunktionen detaillierter betrachtet.

### 3.4.1 Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien

Zur Überwachung von logistischen Objekten, müssen deren aktuellen Zustände während der Prozessabläufe permanent erfasst und gespeichert werden. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Technologien, die einzelne logistische Objekte eindeutig identifizieren und lokalisieren können. Außerdem können unterschiedliche Eigenschaften der Objekte mittels Sensoren permanent überwacht werden. Die Zustandsdaten, die mit diesen Technologien gewonnen werden, liegen als Rohdatensatz vor und müssen für spätere Analysen noch aufbereitet werden.

Zur Identifikation eines logistischen Objekts muss dieses über ein oder mehrere Merkmale eindeutig identifiziert werden können. Diese Merkmale können natürlich oder künstlich sein. Natürliche Merkmale sind z. B. Fingerabdruck, Gesicht, Netzhaut, Iris oder Stimme. Diese sind jedoch häufig nur zur Identifizierung von Personen geeignet, denn nur bestimmte Objekte, wie z. B. Objekte aus Holz oder Papier, weisen eine individuelle Materialstruktur auf, über die das Objekt eindeutig identifiziert werden kann. Daher werden für Objekte künstliche Merkmale (z. B. Identifikationsnummern) definiert, die mit einer spezifischen Codierung versehen sind, z. B. European Article Number EAN 13 (bzw. Global Trade Item Number (GTIN)), EAN 8 oder Pharma Zentral Nummer PZN, vgl. [TEN HOMPEL et al., 2008, S. 10-13]. Die Technologien zur automatischen Identifizierung (Auto-ID) der Merkmale können je nach Funktionsweise klassifiziert werden. Optische Verfahren eignen sich zur Erkennung von natürlichen Merkmalen, wie z. B. Gesicht, Netzhaut und Iris. Wenn die Identifikationsnummern von Objekten als Barcode, QR-Code oder in Textform auf dem Objekt angebracht sind, können diese auch mit optischen Verfahren erkannt werden. Die Stimme als natürliches Identifikationsmerkmal wird mit akustischen Verfahren eindeutig identifiziert. Identifikationsnummern von Objekten können auch auf Chip-Karten gespeichert werden, zur Auslesung dieser Karten eignen sich galvanische Verfahren. Mit elektromagnetischen Verfahren können RFID-Transponder ausgelesen werden, auf denen Identifikationsnummern von Objekten gespeichert werden können, vgl. [SCHENK et al., 2012, S. 110-121].

Um ein Objekt im logistischen System orten zu können, werden Lokalisierungstechnologien eingesetzt. Diese können in satellitengestützte (Satellitennavigationssysteme) oder terrestrische Verfahren (stationäre Lesestationen) eingeteilt werden. Die Technologien unterscheiden sich dahingehend, ob diese lokal (Video- oder Wireless Local Area Network (W-LAN) Ortung) oder global (Global Navigation Satellit-

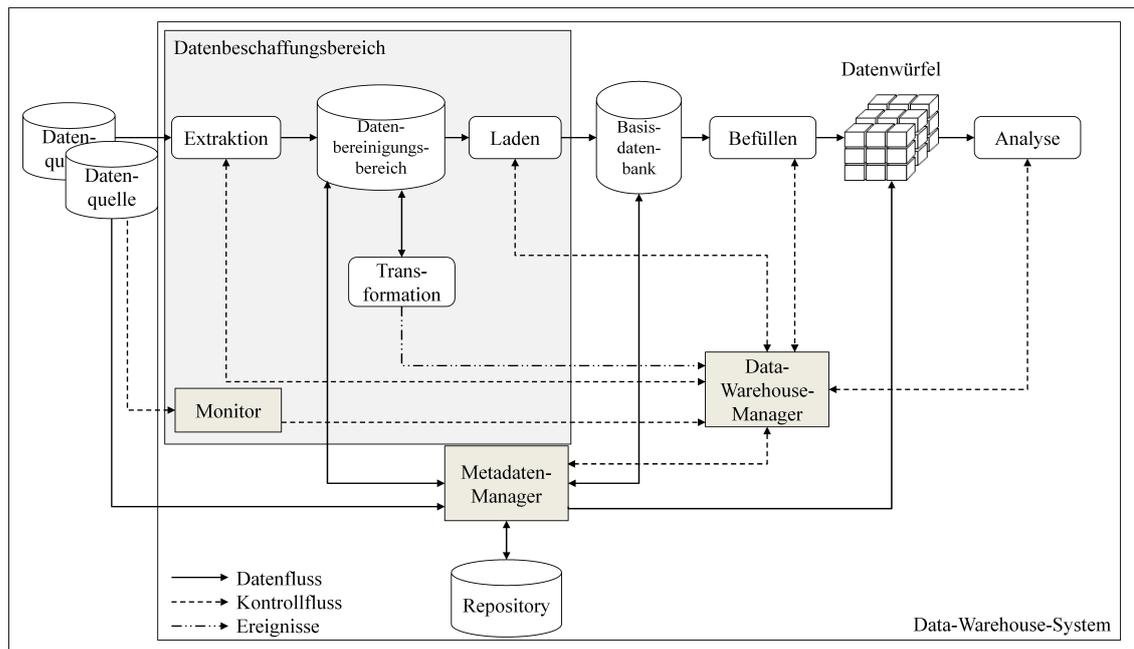


Abbildung 3.4: Referenzarchitektur eines Data Warehouse Systems nach [KÖPPEN et al., 2014, S. 36]

te System GNSS bzw. Global Positioning System GPS) eingesetzt werden. Der Einsatz der jeweiligen Technologie hängt davon ab, wie genau der Ort des Objekts bestimmt werden soll. Die Genauigkeit schwankt dabei zwischen unter 10 cm (Ultra-wideband Technology UWB) und mehr als 100 m (Global System for Mobile Communications GSM Zellenortung). Die Funktionsweise der Verfahren ist entweder bild- oder funkbasiert. Weiterhin ist zu unterscheiden, ob der Ort kontinuierlich oder diskret überwacht werden soll. Im diskreten Fall wird nur beim Eintreffen eines Objekts in einem bestimmten Bereich ein neuer Rohdatensatz über den Ort des Objekts aufgenommen, vgl. [SCHENK et al., 2012, S. 121-124]. Sensoren werden zur Überwachung unterschiedlicher Eigenschaften der logistischen Objekte verwendet. Dabei können geometrische Größen (Abstände, Drehbewegungen, Neigungen und einzelne Objekte) und mechanische Größen (Masse, Drehung, Druck und Drehmoment) erfasst werden. Außerdem gibt es Sensoren die zeitbasierte Größen, wie z. B. Geschwindigkeit und Beschleunigung, aufnehmen können. Andere Sensoren wiederum messen klimatische Größen, wie Temperatur, Feuchtigkeit und Luftdruck. Eine ausführliche Übersicht zu den verschiedenen Sensortechnologien ist in [HERING und SCHÖNFELDER, 2012] zu finden.

### 3.4.2 Data-Warehouse-System

Um Analysen auf Daten durchführen zu können, müssen diese gesammelt und in der richtigen Form vorrätig sein. Dazu werden Data-Warehouse-Systeme (DWS) verwendet, die aus einer Reihe unterschiedlicher Software-Komponenten bestehen, vgl. [KÖPPEN et al., 2014, S. 15]. In Abbildung 3.4 ist die Referenzarchitektur eines Data-Warehouse-Systems nach [KÖPPEN et al., 2014, S. 36] dargestellt. Ein Data-

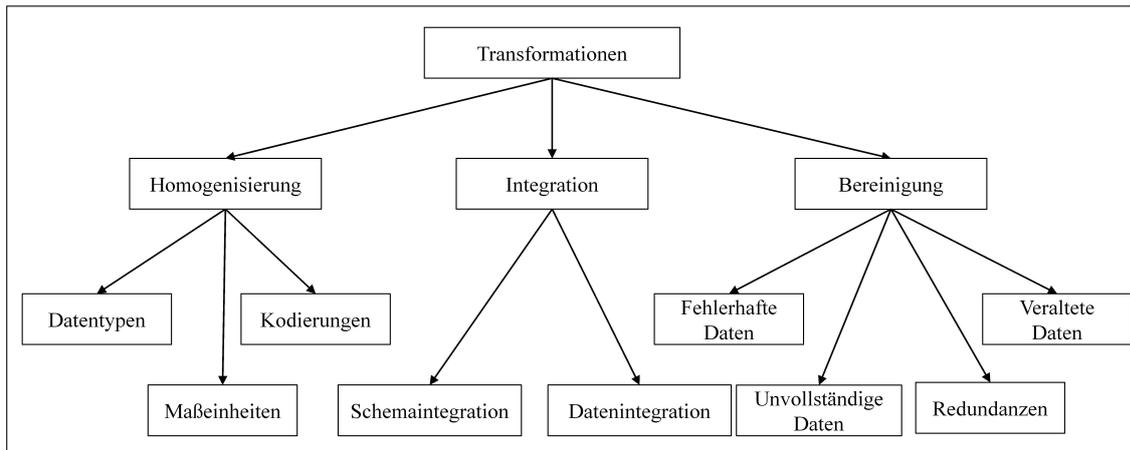


Abbildung 3.5: Übersicht über Transformationen nach [KÖPPEN et al., 2014, S. 28]

Warehouse-System besteht aus verschiedenen Datenhaltungs-, Datenverarbeitungs- und Steuerungskomponenten. Die Datenhaltungskomponenten sind der Datenbereinigungsbereich, die Basisdatenbank, der Datenwürfel und das Repository. Die Extraktion, die Transformation, das Laden, das Befüllen und die Analyse dienen zur Verarbeitung der Daten. Die Steuerung übernehmen der Monitor, der Metadaten-Manager und der Data-Warehouse-Manager, vgl. [KÖPPEN et al., 2014, S. 35].

Die Rohdaten werden aus unterschiedlichen Datenquellen, wie z. B. Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien (vgl. Kapitel 3.4.1), extrahiert und im Datenbereinigungsbereich zwischengespeichert. Dort werden unterschiedliche Transformationen auf den Daten durchgeführt, wie z. B. Datentypumwandlungen oder auch die Erkennung von Mehrfachrepräsentation. Eine Übersicht über die Transformationen ist in Abbildung 3.5 gezeigt. Es gibt drei Arten der Transformation: Homogenisierung, Integration und Bereinigung. Homogenisierungstransformationen, wie z. B. Umwandlung von Datentypen, Vereinheitlichung von Maßeinheiten und Kodierung von Aufzählungstypen, sind zur Vereinheitlichung von Daten. Eine weitere Transformation ist die Integration, wobei zwischen Daten- und Schemaintegration unterschieden wird. Bei der Schemaintegration werden ganze Kollektionen von Daten gemischt und bei der Datenintegration verschmelzen einzelne Datensätze. Die dritte Art der Transformation ist die Bereinigung, bei der fehlerhafte, unvollständige, redundante oder auch veraltete Daten erkannt und gegebenenfalls beseitigt werden, vgl. [KÖPPEN et al., 2014, S. 28]. Im Anschluss daran werden die transformierten Daten in eine Basisdatenbank geladen. Dieser Prozess aus Extraktion, Transformation und Laden wird in der Literatur auch ETL-Prozess genannt, vgl. [LOSHIN, 2012, S. 191ff] und [KÖPPEN et al., 2014, S. 81-122]. In der Basisdatenbank sind Daten nach Anforderungen von Datenbanken abgespeichert und ohne zusätzliche Operationen für Analysen nicht geeignet. Deswegen wird vor dem Prozess der Analyse eine weitere Datenbank implementiert, ein Datenwürfel. Darin sind nur die Daten in der richtigen Form enthalten, die für die Analysen zu dem entsprechenden Zeitpunkt benötigt werden, vgl. [KÖPPEN et al., 2014, S. 30].

Als Steuerungskomponenten beinhaltet ein Data-Warehouse-System Monitore, einen Data-Warehouse-Manager und einen Metadaten-Manager, der mit einem Repository verknüpft ist. Zur Initiierung, Über-

wachung und Steuerung der Prozesse eines Data-Warehouse-Systems dient ein Data-Warehouse-Manager. Monitore überwachen Datenquellen und melden Änderungen an den Data-Warehouse-Manager. Um die Daten überwachen zu können, benötigt das System aber auch Informationen über die Daten, sogenannte Metadaten. Die Metadaten sind im Repository gespeichert und enthalten „alle Informationen, die den Aufbau, die Wartung und die Administration des DW-Systems vereinfachen und Informationsgewinnung ermöglichen“ [KÖPPEN et al., 2014, S. 35]. Dies können z. B. Datenbankschemata sein oder auch Zugriffsrechte oder Prozessinformationen, vgl. [KÖPPEN et al., 2014, S. 31-36].

Damit sind die beiden Basistechnologien eines Informationssystems erläutert und dargestellt. Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien sind zwingend notwendig, das sonst keine Zustandsdaten der logistischen Objekte aufgenommen werden können. Die gewonnen Rohdaten müssen anschließend in einem Data-Warehouse-System gespeichert, transformiert und den entsprechenden Informationssystemen bereitgestellt werden. Im Folgenden werden vier operative Informationssysteme aus dem Bereich Produktion, Lagerung, Transport und Supply Chain Management vorgestellt.

### **3.4.3 Manufacturing Execution System**

Ein Manufacturing Execution System (MES) bildet die Schnittstelle zwischen dem ERP-System (vgl. Kapitel 3.3) und der Maschinensteuerung in einer Produktion, vgl. [SCHENK et al., 2014, S. 264]. Das System unterstützt den operativen und dispositiven Planer einer Produktion bei der Überprüfung, ob die Planvorgaben eingehalten wurden und die Produktion effektiv und effizient abläuft. Die Planvorgaben werden mit dem aktuellem Ist-Zustand verglichen und bei Abweichungen werden Handlungsempfehlungen ausgesprochen. Außerdem werden Betriebs-, Maschinen- und Personaldaten zu Kennzahlen aufbereitet, vgl. [VDI5600, 2007, S. 5 f.], [ZSIFKOVITS, 2013, S. 274] und [SCHENK et al., 2014, S. 264]. Diese Vorgehensweise entspricht dem operativen Regelkreis aus Kapitel 2.7.1. Da Zustandsdaten von Objekten aus der Produktion in einem MES analysiert und aggregiert aufbereitet werden, sollte dieses echtzeitfähig sein, d. h. „die Reaktions- und Einwirkzeit des MES auf bestimmte Zustände ist kürzer als die Reaktion des Prozesses auf diese Zustände“ [VDI5600, 2007, S. 9]. Weitere Aufgaben eines MES sind die Feinplanung und -steuerung, das Betriebsmittel-, Material- und Personalmanagement, die Datenerfassung, die Leistungsanalyse, das Qualitätsmanagement und das Informationsmanagement, vgl. [VDI5600, 2007, S. 16-43].

### **3.4.4 Warehouse Management System**

Ein Warehouse Management System (WMS) ist ein umfangreiches Informationssystem, das zusätzlich zu den Funktionen eines Lagerverwaltungssystem (LVS) auch Analysen und Optimierungen durchführt, vgl. [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 12]. Das WMS unterstützt den operativen Logistikmanager im Lager bei seinen Aufgaben sowie der Verwaltung von Bestandslevels und Berechnung von Bestellmengen, vgl. [ZSIFKOVITS, 2013, S. 274]. Kernfunktionen eines WMS sind die Verwaltung und Unterstützung der La-

gersteuerung, der Prozesse im Warenein- und -ausgang sowie bei der Einlagerung, Kommissionierung und Auslagerung. Außerdem verwaltet ein WMS die Auftragsbearbeitung und -freigabe, Bestandsführung, Artikelstammdaten und ermöglicht eine permanente Inventur (vorausgesetzt alle Artikel werden lückenlos überwacht), vgl. [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 12] und [ZSIFKOVITS, 2013, S. 274 f.]. Weiterhin kann ein WMS auch Zusatzfunktionen besitzen, wie Ressourcenplanung, Leergutverwaltung, Transportmittelverwaltung sowie Staplerleitsysteme. Wenn die Waren verderblich oder auch Gefahrenstoffe sind, kann ein WMS die Lebensdauer der Waren analysieren und Warnungen aussprechen, wenn diese nicht mehr den Qualitätsstandards entsprechen, vgl. [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 12].

### **3.4.5 Transport Management System**

Ein Transport Management System (TMS) plant, optimiert, überwacht und steuert die Beschaffungs- und Distributionsstrukturen, multimodalen Transportketten sowie Transportprozesse eines Unternehmens. Dabei liegen die Kernfunktionen im Auftragsmanagement, in der Disposition, in der Transportplanung und -optimierung, im Fuhrpark- und Ressourcenmanagement sowie im Frachtkostenmanagement. Zur Überwachung von Transportmitteln und Waren werden Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien eingesetzt, deren Daten im TMS verarbeitet werden. Weiterhin kann ein TMS Touren planen und während dem Transport die Fahrer bei der Routenplanung unterstützen. Auch Lenk- und Ruhezeiten der Fahrer können mit einem TMS verwaltet sowie das Werksgelände durch Zugangskontrollen überwacht werden, vgl. [TEN HOMPEL et al., 2012, S. 13].

### **3.4.6 Supply Chain Event Management System**

Ein Supply Chain Event Management System (SCEM-System) ist ein erweitertes TMS und bietet Unterstützung bei der Überwachung einer Supply Chain. Dabei bildet ein SCEM-System die Schnittstelle zwischen dem Supply Chain Planning und dem Supply Chain Execution Systemen und hat die globale Transparenz bei der Ausführung der Prozesse zum Ziel, vgl. [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 191] und [HELLINGRATH et al., 2008, S. 484]. Kernfunktionen eines SCEM-System bilden die fünf Phasen: Überwachen, Melden, Simulieren, Steuern und Messen, vgl. Kapitel 2.7.1 bzw. [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 189] und [HELLINGRATH et al., 2008, S. 484]. Zur Umsetzung der Phasen im SCEM-System besteht dieses aus verschiedenen Komponenten, die in Abbildung 3.6 dargestellt sind. Der Kern des SCEM-Systems bildet der SCEM-Server, der über Informationssysteme zur Planung Sollvorgaben erhält und Regeln zur Analyse und Interpretation von Zustandsdaten und Abweichungen enthält, die aus dem Erfahrungswissen des Endanwenders generiert wurden. Verschiedene Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien übermitteln aktuelle Zustände der betrachteten Objekte in Form von Rohdaten an den SCEM-Server, vgl. [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 191]. Diese Rohdaten werden in das notwendige Datenformat transformiert und anschließend mit den Sollvorgaben verglichen. Treten Abweichungen zwischen den Ist- und Soll-Zuständen auf, werden diese an die dritte Komponente des SCEM-Servers übergeben. Hier

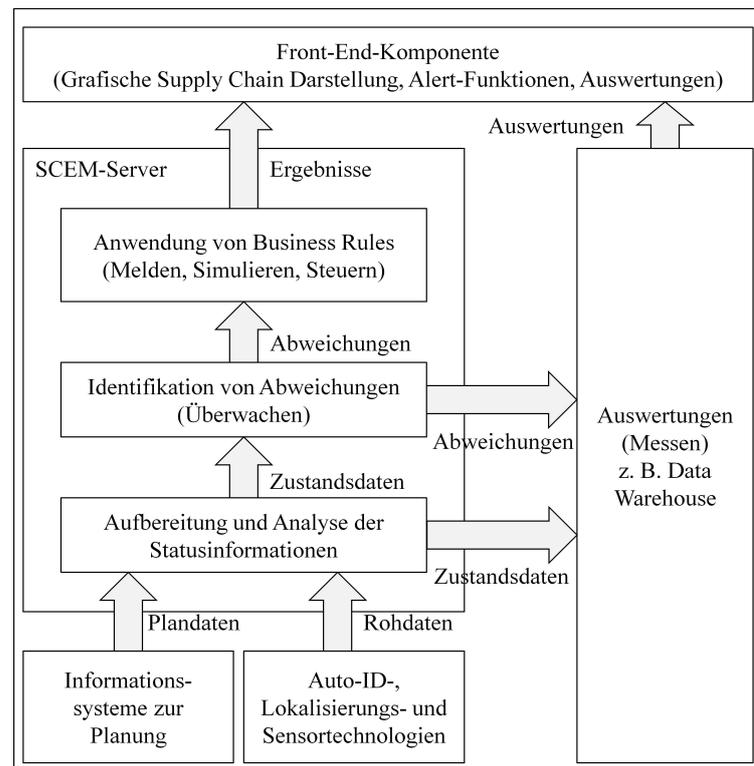


Abbildung 3.6: Idealisierter Aufbau eines SCEM-Systems i. A. a. [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 191]

werden mit Hilfe der Business Rules ermittelt, ob die Abweichungen kritisch für die Zielerreichung der Supply Chain sind und über das Front-End an den zuständigen Mitarbeiter gemeldet. Anschließend werden Handlungsalternativen mittels Simulation und den definierten Regeln bewertet und an den entsprechenden Mitarbeiter gemeldet. Ein Teil der Abweichungen sowie Zustandsdaten werden an ein Analysesystem (z. B. Data Warehouse) übergeben, mit dem Kennzahlen und Trends nachträglich berechnet werden, vgl. [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 191 f.]. Es gibt verschiedene Architekturen zur Darstellung von SCEM-Systemen, die sich aber meist nur in der Unterteilung und Anordnung der Komponenten unterscheiden, siehe [WIESER und LAUTERBACH, 2001, S. 67], [OTTO, 2003, S. 9] und [HELLINGRATH et al., 2008, S. 485].



## Kapitel 4

# Abgrenzung der Problemstellungen in der Informatik

Das in dieser Arbeit vorgestellte ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte bietet eine Unterstützung zur Entwicklung von operativen Informationssystemen für die Logistik. Aus diesem Grund wird am Anfang des Kapitels das Software Engineering definiert und gängige Phasenmodelle zur Entwicklung von Softwaresystemen dargestellt. Da das hier beschriebene Konzept in der Softwareentwicklung die Phase der Anforderungserhebung, auch Requirements Engineering genannt, unterstützt, wird auf diese genauer eingegangen.

### 4.1 Software Engineering

Softwaresysteme sind komplexe Systeme, die meist aus einzelnen Teilsystemen (Softwaremodulen) bestehen. Aus diesem Grund umfasst der Prozess der Softwareentwicklung nicht nur die Programmierung der eigentlichen Software, sondern auch die Entwicklung eines komplexen Systems, das den Anwender bei seiner Problemlösung unterstützen soll, vgl. [GHEZZI et al., 1991, S. 1 ff.] und [LEE, 2013, S. 4 f.]. Daher wurden aufbauend auf der Programmierung von Software und dem Gebiet des Systems Engineering systematische Methoden und Modelle zur Softwareentwicklung entwickelt, die zusammenfassend das Software Engineering bilden, vgl. [GHEZZI et al., 1991, S. 1 ff.]. Unter dem Begriff des Software Engineering wird in der Literatur folgendes verstanden:

„The application of a systematic, disciplined, quantifiable approach to the development, operation and maintenance of software“ [ISO/IEC/IEEE24765, 2010, S. 331].

„Software engineering is the process of designing, developing and delivering software systems that meet a client’s requirements in an efficient and cost effective manner“ [LEE, 2013, S. 3].

„Zusammenfassend kann man Software-Engineering als die Wissenschaft der systematischen Entwicklung von Software, beginnend bei den Anforderungen bis zur Abnahme des fertigen Produkts und der anschließenden Wartungsphase definieren. Es werden etablierte Lösungsansätze für Teilaufgaben vorgeschlagen, die häufig kombiniert mit neuen Technologien, vor Ihrer Umsetzung auf ihre Anwendbarkeit geprüft werden. Das zentrale Mittel zur Dokumentation von Software-Engineering-Ergebnissen sind UML-Diagramme“ [KLEUKER, 2013, S. 5].

Aus den drei genannten Definitionen lassen sich wichtige Aufgaben des Software Engineering ableiten. Das Software Engineering beschreibt Prozessschritte zur Konstruktion und Entwicklung, zur Auslieferung, zur Anwendung und zur Wartung von Softwaresystemen. Die Prozesse sollen systematisch, korrekt, quantifizierbar, effektiv und kosteneffizient durchgeführt werden, mit dem Ziel der Erfüllung der Kundenanforderungen. Es ist wichtig, dass das Projekt der Softwareentwicklung in Arbeitspaketen mit Meilensteinen und zu erfüllenden Teilergebnissen geplant wird und die Ressourcen Zeit, Geld und Mitarbeiter sinnvoll eingesetzt und überwacht werden. Um die Kundenanforderungen zu erfüllen, muss die Problemstellung des Kunden analysiert und das komplexe Softwaresystem in seinen Funktionen und seiner Struktur modelliert werden. Daher muss eine intensive Kommunikation zwischen Kunde und Projektmitarbeitern stattfinden, vgl. [LEE, 2013, S. 6 ff.].

Die Entwicklung eines komplexen Softwaresystems ist in Phasen gegliedert, wobei die Anordnung und Detaillierung der Phasen sich je nach Vorgehensmodell unterscheiden. Im Folgenden werden typische Phasen der Softwareentwicklung aus [DUMKE, 2003, S. 18-120] und [KLEUKER, 2013, S. 25-28] beschrieben.

**Anforderungsfestlegung (Requirements Engineering)** Die Softwareentwicklung beginnt damit, dass der Kunde sich ein spezielles Softwaresystem wünscht, welches eine Problemlösung darstellen soll. Deswegen muss zuerst der Kunde seine Problemstellung genau definieren, sodass anschließend Anforderungen an das System abgeleitet werden können, vgl. [DUMKE, 2003, S. 18]. Ein intensiver Dialog zwischen Kunde und Software-Ingenieur ist notwendig, um Missverständnisse bei der Spezifizierung von Anforderungen zu verhindern. Außerdem kann der Kunde zu Beginn der Softwareentwicklung häufig noch nicht alle Anforderungen genau benennen. Das Ergebnis dieser Phase ist eine detaillierte Beschreibung der Anwenderanforderungen an das zu entwickelnde System. Da dieser Anforderungskatalog am Ende eines Projekts als Bewertungsmaßstab verwendet wird, trägt diese Phase maßgeblich zum Erfolg einer Softwareentwicklung bei, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 27 f.].

**Entwurf (Design)** Ziel der Entwurfsphase ist die Entwicklung des Grob- und Feindesigns, welche als Ausgangsbasis für die Programmierung des Softwaresystems dienen soll, vgl. [DUMKE, 2003, S. 18]. Das Grobdesign ist ein Modell, das die Anforderungen des Kunden so beschreibt, dass der Software-Programmierer diese versteht. Außerdem wird die Software- und System-Architektur entwickelt und

aufbereitet. Im Feindesign sind Teile des Grobdesigns detaillierter beschrieben, sowie Anforderungen an die Schnittstellen und an die Oberfläche enthalten, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 27].

**Implementierung (Implementation)** In dieser Phase wird mit Hilfe des Grob- und Feindesigns ein lauffähiges Softwaresystem programmiert, vgl. [DUMKE, 2003, S. 19] und [KLEUKER, 2013, S. 28].

**Erprobung (Field Test)** Das lauffähige Softwaresystem wird anschließend darauf getestet und geprüft, ob die Kundenanforderungen erfüllt werden, vgl. [DUMKE, 2003, S. 19] und [KLEUKER, 2013, S. 28].

**Auslieferung (Delivering)** Wenn die Erprobung des Softwaresystems erfolgreich abgeschlossen ist, wird das fertige Produkt an den Kunden übergeben und das Projekt der Softwareentwicklung ist abgeschlossen, vgl. [DUMKE, 2003, S. 19].

In allen Phasen des Softwareentwicklungsprozesses wird kontinuierlich geprüft, ob die geforderte Qualität der zu erfüllenden Teilergebnisse erreicht ist. Aus diesem Grund ist eine durchgehende **Qualitätskontrolle** notwendig, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 28].

Die Reihenfolge und Anordnung dieser Phasen ist in einer Vielzahl von Vorgehensmodellen beschrieben, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 25-52] und [LEE, 2013, S. 11-16]. Das älteste Vorgehensmodell ist das Wasserfallmodell, bei dem die typischen Phasen strikt nacheinander abgearbeitet werden. Da aber häufig nicht alle Anforderungen an das System vorab bekannt sind, treten bei der Softwareentwicklung in späteren Phasen noch Anforderungsänderungen auf. Auf diese kann beim Wasserfallmodell nicht mehr reagiert werden. Außerdem wird bis zur Phase der Implementierung nur dokumentiert und theoretisch entwickelt, dies kann dazu führen, dass bei der Programmierung unvorhergesehene Probleme auftreten. In solchen Fällen muss mit der Entwurfsphase neu begonnen werden, was meist den geplanten zeitlichen Rahmen des Projekts überschreitet und zu unvollendeten Softwareentwicklungsprojekten führt, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 28. f.] und [LEE, 2013, S. 12 ff.]. Aus den Erfahrungen vieler Softwareentwicklungsprojekte heraus wurden iterative und agile Vorgehensmodelle entwickelt. Beim V-Modell ist es z. B. notwendig nach Abschluss einer Phase zu prüfen, ob die neuen Entwicklungen den Entwicklungen der vorherigen Phase entsprechen, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 34. f.]. Ein agiles Vorgehensmodell zur Softwareentwicklung ist Scrum, dies ist ein Metamodell, das die Struktur für die Projektorganisation vorgibt. Bei Scrum werden die Anforderungen in einem product backlog in einzelnen Aufgaben beschrieben, die dann nacheinander in kleinen Projektgruppen abgearbeitet werden. Dabei können die Aufgaben im product backlog auch während der Projektlaufzeit auf neue Kundenwünsche hin angepasst werden, vgl. [KLEUKER, 2013, S. 45-50].

Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept unterstützt den operativen Logistiker bei der Formulierung seiner Anforderungen und den Software-Ingenieur bei der Übertragung der Anforderungen in Verfahren der Datenanalyse. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf die Phase des Requirements Engineering detaillierter eingegangen und aktuelle Konzepte dazu vorgestellt.

## 4.2 Requirements Engineering

Das Requirements Engineering ist nicht nur eine wichtige Phase der Softwareentwicklung, sondern wird auch als Wissenschaftsdisziplin verstanden. Es wird zwischen Requirements Engineering im weiteren und engeren Sinn unterschieden.

„Requirements-Engineering (im weiteren Sinn) ist eine Disziplin, die sich mit allen Aspekten im Zusammenhang mit der systematischen Entwicklung einer vollständigen, konsistenten und eindeutigen Spezifikation beschäftigt, in der beschrieben wird, was ein softwaregestütztes Produkt leisten soll (aber nicht wie), und die als Grundlage für Vereinbarungen zwischen allen Stakeholdern dienen kann. Diese Disziplin umfasst Methoden, Beschreibungsmittel und Werkzeuge für Ermittlung, Dokumentation, Analyse und Management von Aufgabenstellungen und Anforderungen an Systeme oder Produkte“ [PARTSCH, 2010, S. 19 f.].

Dieses Verständnis von Requirements Engineering ist auch als ISO/IEC/IEEE-STANDARD festgehalten:

Requirements engineering is „the science and discipline concerned with analyzing and documenting requirements“ [ISO/IEC/IEEE24765, 2010, S. 302].

Im Gegensatz dazu wird Requirements Engineering (im engeren Sinn) als „die Tätigkeiten am Beginn eines Systemprojekts“ [PARTSCH, 2010, S. 20] verstanden. Die wichtigsten Aufgaben sind dabei die Ermittlung, Analyse, Absprache, Dokumentation und Validierung der Anforderungen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 32 f.] und [PARTSCH, 2010, S. 20]. Dieses Verständnis entspricht auch der Definition in [LEE, 2013]:

„Requirements engineering can be decomposed into the activities of requirement elicitation, specification, and validation“ [LEE, 2013, S. 85].

Ziele des Requirements Engineering sind die Bekanntmachung aller relevanten Anforderungen in einem vordefinierten Detaillierungsgrad, die Übereinstimmung aller Stakeholder mit den definierten Anforderungen sowie die Dokumentation der Anforderungen nach vereinbarten Dokumentationsvorschriften, vgl. [POHL, 2008, S. 43]. Zum Erreichen dieser Ziele werden die Aktivitäten zyklisch nacheinander ausgeführt, bis die Anforderungen erfolgreich analysiert und von allen Stakeholdern verstanden und akzeptiert sind. Zur Darstellung des Requirements Engineering Prozesses bietet sich ein Spiralmodell an, das in Abbildung 4.1 i. a. A. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 28, S. 35] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 99] dargestellt ist. Die Inputdaten des Requirements Engineering Prozesses sind Informationen zu bestehenden Systemen, zu allgemeinen Vorgaben im Anwendungsgebiet und organisatorischen Standards im Unternehmen sowie zu allgemeinen Richtlinien und Normen zur Sicherheit eines Softwaresystems. Auch Bedarfe weiterer Stakeholder, die am Softwareentwicklungsprozess mitwirken, wie

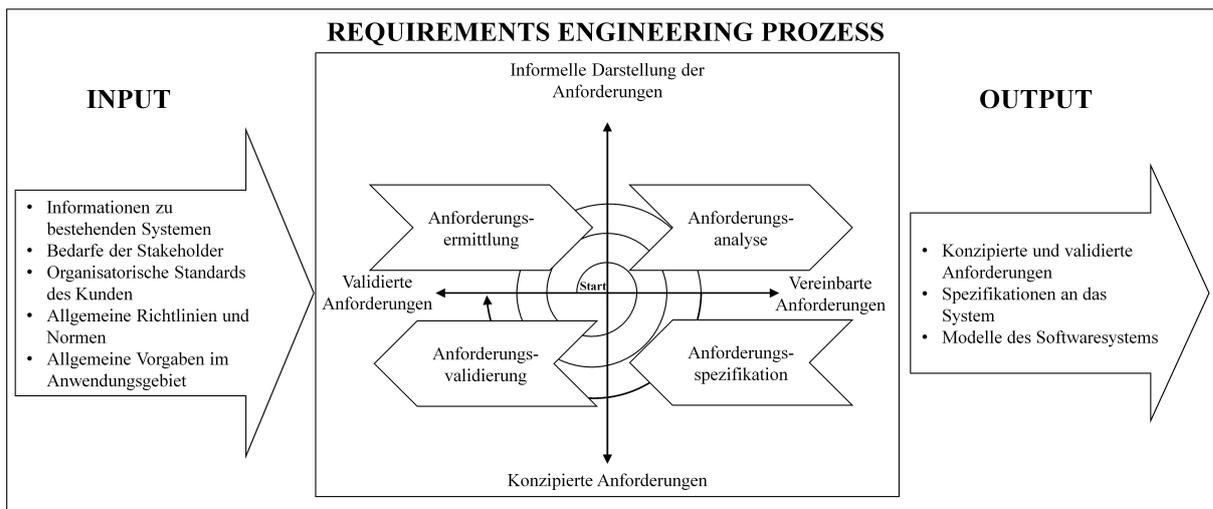


Abbildung 4.1: Ein Spiralmodell des Requirements Engineering Prozesses i. a. A. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 28, S. 35] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 99]

z. B. Entwickler, Wartungs- und Servicepersonal, Produktbeseitiger, Schulungs- und Trainingspersonal (vgl. [KLEUKER, 2013, S. 56-60]) müssen berücksichtigt werden. Ergebnisse des Requirements Engineering Prozesses sind validierte Anforderungen des Kunden, Spezifikationen an das System und Modelle des Softwaresystems, wie z. B. Datenflussmodell, Objektmodell, Prozessmodell usw., vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 28 f.]. Die Anordnung der Aufgaben ist spiralförmig und beginnt mit der Ermittlung der Anforderungen, die in informeller Darstellung aufgeschrieben werden. Dieser Prozess wird zusammen mit dem Kunden vorgenommen und durch Wissen über das Anwendungsgebiet und Marktstudien begleitet. Die informellen Anforderungen werden im nächsten Schritt analysiert und mit allen Stakeholdern besprochen. Die Absprache zwischen den Stakeholdern ist sehr wichtig, um Zielkonflikte zu vermeiden und zu prüfen, ob eine Anforderung unter den gegebenen Bedingungen realisierbar ist. Außerdem muss sichergestellt sein, dass zu den Anforderungen alle notwendigen Informationen vorhanden sind. Die vereinbarten Anforderungen werden anschließend so spezifiziert, dass alle Stakeholder diese verstehen können. Zur Dokumentation der Anforderungen werden verschiedene Werkzeuge und Diagramme zur Beschreibung und Modellierung verwendet. Abschließend müssen die Anforderungen auf Konsistenz und Vollständigkeit hin validiert werden. Verläuft die Validierung erfolgreich, endet damit der Requirements Engineering Prozess, falls nicht, beginnt der Zyklus wieder mit der Ermittlung der Anforderungen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 32-35]. In [SOMMERVILLE, 2004, S. 144 ff.] wird dem gesamten Prozess noch eine Machbarkeitsstudie vorangesetzt, bei der geprüft wird, ob das gewünschte Softwaresystem zur Zielerreichung des Unternehmens beiträgt, die technologischen, finanziellen und zeitlichen Voraussetzungen gegeben sind und das neue Softwaresystem in vorhandene Softwaresysteme integriert werden kann.

Es gibt eine Vielzahl an Vorgehensweisen zum Requirements Engineering, die sich aber nur in der Anordnung der Aktivitäten unterscheiden. Je nach gewünschtem Softwaresystem und Entwicklungsprojekt wird eine passende Vorgehensweise ausgewählt, vgl. [PARTSCH, 2010, S. 39 f.]. In [PARTSCH, 2010, S. 334]

ist ein Überblick über die unterschiedlichen Begriffsdefinitionen für Aktivitäten der verschiedenen Vorgehensmodelle dargestellt. Die hier vorgestellte Vorgehensweise ist nach [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 28, S. 35] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 99] dargestellt. Als einen weiteren Vertreter lässt sich das HOOD capability model for requirements definition nennen, vgl. [HOOD et al., 2008, S. 224]. In diesem Modell werden die Aktivitäten parallel und mehrfach ausgeführt sowie die Ergebnisse permanent untereinander ausgetauscht. Die Phasen der Analyse und Validierung aus Abbildung 4.1 sind zu einer Aktivität der Anforderungsanalyse zusammengefasst, die nach der Spezifikation ausgeführt wird. Als letzte Aktivität werden bei dieser Vorgehensweise die Anforderungen durch ein Expertenteam in einem Review geprüft. Durch die mehrfache Ausführung der Aktivitäten lassen sich verschiedene Reifegrade erreichen, die dabei unterstützen, schrittweise zu vollständigen und validierten Anforderungen zu gelangen, vgl. [HOOD et al., 2008, S. 223-242]. Das Requirements Engineering kann auch als Rahmenwerk verstanden werden, bei dem ausgehend von der Vision über das zukünftige Softwaresystem der Systemkontext, d. h. die Umgebung des Systems, in Facetten nach Gegenstand, Nutzung, IT-System und Entwicklung gegliedert wird. Die Aktivitäten Dokumentation, Gewinnung und Übereinstimmung bilden den Kern des Rahmenwerks und werden durch die Aktivitäten Validierung und Management unterstützt. Als Ergebnis liefern die Aktivitäten Anforderungsartefakte, die Ziele des Softwaresystems, Szenarien sowie lösungsorientierte Anforderungen an das Softwaresystem darstellen, vgl. [POHL, 2008, S. 38 f.]. In der vorliegenden Arbeit wurde die Vorgehensweise nach [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 28, S. 35] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 99] gewählt, da sich bei der Entwicklung des ganzheitlichen Konzepts herausgestellt hat, dass sich die spiralförmige Darstellung und die Reihenfolge der Aktivitäten gut zur Ermittlung von Anforderungen und zur Bewertung der Vollständigkeit der notwendigen Zustands- und Ereignisdaten eignen. Denn vor der Analyse logistischer Zustandsdaten muss der operative Logistiker die Anforderungen an die Analysen klar formulieren und mit dem Softwareentwickler diskutieren. Zusätzlich ist anzumerken, dass in [SOMMERVILLE, 2011, S. 99] die Aktivität Ermittlung auch die Aktivität Analyse enthält. Für das in dieser Arbeit vorgestellte ganzheitliche Konzept spielt aber die Analyse bzw. die Umsetzbarkeit der Anforderungen mit Hilfe der verfügbaren Daten eine große Rolle. Daher wird hier die Analyse als eigene Aktivität wie in [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 35] dargestellt. Im Folgenden wird beschrieben, welche Anforderungsarten bei einem Softwareentwicklungsprozess vorkommen und wie die einzelnen Aktivitäten des Requirements Engineering detailliert ablaufen.

#### **4.2.1 Anforderungsarten und -artefakte**

Anforderungen sind Eigenschaften, die ein Softwaresystem erfüllen muss und beschreiben, „warum ein System entworfen wird, was dieses System leisten soll und welche Einschränkungen dabei einzuhalten sind“ [PARTSCH, 2010, S. 25], vgl. auch [BALZERT et al., 2009, S. 455]. In [ISO/IEC/IEEE24765, 2010, S. 301] werden unter Anforderungen Bedingungen oder Fähigkeiten eines Softwaresystems verstanden, die einerseits der Nutzer des Softwaresystems benötigt, um seine Problemstellung zu lösen, und, zum anderen als Spezifikationen oder auch Standards an das Softwaresystem gestellt werden, vgl. auch [BALZERT

et al., 2009, S. 437] und [PARTSCH, 2010, S. 25].

Anforderungen werden üblicherweise in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen unterteilt. Funktionale Anforderungen beschreiben, welche speziellen Funktionen und Aufgaben das Softwaresystem erfüllen soll, vgl. [DUMKE, 2003, S. 25], [BALZERT et al., 2009, S. 456], [PARTSCH, 2010, S. 27] und [LEE, 2013, S. 81]. Dabei wird unterschieden zwischen Anforderungen bei der Eingabe, den Funktionen und der Ausgabe. Für die Eingabe muss spezifiziert werden, welche Daten oder auch Stimuli das Softwaresystem als Input erhält. Bei den Funktionen wird beschrieben, welche Transformationen und Analysen mit den Daten ausgeführt werden sollen. Die Funktionen werden dabei aus Sicht des Kunden beschrieben. Die Ausgabe beinhaltet die Anforderungen über die Daten, die das Softwaresystem dem Nutzer ausgeben soll. Dies können auch Fehlermeldungen oder bestimmte Reaktionen sein, vgl. [KÜHNEL et al., 1987, S. 334] und [PARTSCH, 2010, S. 27]. Funktionale Anforderungen können aber auch in Bezug auf Statik, Dynamik und Logik des Softwaresystems klassifiziert werden, was in [BALZERT et al., 2009, S. 102 f., S. 456] ausführlicher erläutert ist.

Nicht-funktionale Anforderungen beinhalten alle Anforderungen an das Softwaresystem, die nicht funktionsbezogen sind. Qualitätsanforderungen beschreiben Anforderungen an die Ausführung der Funktionen, wie z. B. Echtzeitfähigkeit und Genauigkeit. Es können aber auch Anforderungen zur Verlässlichkeit des Systems oder Qualitätskriterien bzgl. Wartbarkeit und Adaptierbarkeit sein. Weitere nicht-funktionale Anforderungen betreffen das System als Ganzes und enthalten z. B. Leistungsanforderungen, Interface-Vorgaben, Dokumentationsrichtlinien, operationale Anforderungen oder Anforderungen an externe Schnittstellen. Auch die Anforderungen an die Systemerstellung, Prüfung, Einführung und Betreuung beim Kunden sind nicht-funktionale Anforderungen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 187-213], [PARTSCH, 2010, S. 27-30] und [LEE, 2013, S. 82].

Das in dieser Arbeit vorgestellte ganzheitliche Konzept unterstützt den Kunden und Software-Ingenieur bei der Formulierung von funktionalen Anforderungen. Daher wird auf die Vielzahl von nicht-funktionalen Anforderungen und deren Einteilung in unterschiedliche Klassen nicht genauer eingegangen, sondern auf [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 187-213] und [PARTSCH, 2010, S. 26-30] verwiesen.

Ein andere Einteilung der Anforderungen als Ergebnisse des Requirements Engineering Prozesses ist die Sortierung nach Artefakten. Diese können Ziele, Szenarien oder lösungsorientierte Anforderungen sein. Die Ziele stellen die Wünsche der Stakeholder in abstrahierter Form dar und können hierarchisch aufgebaut sein. An der Wurzel der Hierarchie steht die Vision des Softwaresystems, von der sich einzelne Ziele mit Unterzielen ableiten lassen, vgl. [POHL, 2008, S. 48]. Die Erreichung (bzw. auch Nicht-Erreichung) der Ziele lassen sich über Szenarien abbilden. Dabei werden Interaktionsfolgen z. B. in Form von Use Cases beschrieben und können je nach Detaillierungsgrad realitätsnah oder auch abstrakt sein, vgl. [POHL, 2008, S. 48]. Aus den Zielen und Szenarien können lösungsorientierte Anforderungen gebildet werden, welche die Daten-/Struktur-, die Funktions- und Verhaltenssicht des Softwaresystems beschreiben. Durch die lösungsorientierten Anforderungen werden vor dem eigentlichen Entwurf des angestrebten Softwaresystems das Datenmodell sowie das Systemverhalten vorab bestimmt, vgl. [POHL, 2008, S. 49].

Im Folgenden werden die einzelnen Prozesse des Requirements Engineering detaillierter beschrieben. Dabei liegt der Fokus der Betrachtung auf den funktionalen Anforderungen, jedoch können die Prozesse auch für nicht-funktionale Anforderungen durchgeführt werden.

### 4.2.2 Anforderungsermittlung

Ziel dieser ersten Phase ist es, eine Vielzahl von funktionalen Anforderungen und Randbedingungen zu identifizieren, so dass diese in der Folgephase analysiert werden können. Die Anforderungsermittlung ist ein Wissenstransferprozess, bei dem der Software-Ingenieur versucht, das notwendige Wissen des Endnutzers zu ermitteln und als Anforderungen zu formulieren, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 54], [SOMMERVILLE, 2004, S. 146] und [PARTSCH, 2010, S. 41]. Daher ist es wichtig, dass der Software-Ingenieur sich in vier Verständnisdimensionen Wissen aneignet, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 54-57]. Die erste Verständnisdimension ist das Verständnis der Anwendungsdomäne. In dieser muss der Software-Ingenieur sich Wissen über das entsprechende Anwendungsgebiet beschaffen oder auch direkt vom Endnutzer einholen, da dem Software-Ingenieur entsprechende Kenntnisse aus dem jeweiligen Fachgebiet fehlen. Als zweite Dimension gilt das Problemverständnis. Der Software-Ingenieur muss die Problemstellung verstehen, die das Softwaresystem lösen soll. Das Verständnis der Anwendungsdomäne wird damit weiter ausgebaut und spezialisiert. Das Verständnis des Geschäftskontexts ist die dritte Dimension und ist notwendig, um zu verstehen, wie das Softwaresystem mit den verschiedenen Bereichen des Unternehmensgeschäfts interagiert und diese beeinflusst. Die letzte und vierte Dimension ist das Verständnis der Bedarfe und Einschränkungen der Endnutzer. Der Software-Ingenieur muss die Arbeitsprozesse des Endnutzers, die das Softwaresystem beeinflussen und unterstützen sollen, sowie deren Stellenwert in den täglichen Arbeitsabläufen umfassen verstehen. Es ist zu beachten, dass viele Endnutzer vorab einige Bedarfe selbst noch nicht kennen oder unrealistische und widersprüchliche Bedarfe nennen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 54-57].

Zur Erhebung von Anforderungen gibt es verschiedene Vorgehensweisen, von denen im Folgenden die aus [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 59] vorgestellt wird. In Abbildung 4.2 sind die Aktivitäten der Vorgehensweise grafisch dargestellt. Die erste Aktivität ist die Zielsetzung, bei der identifiziert wird, welche übergeordnete Zielstellung das Unternehmen hat, welche Problemstellung das Softwaresystem lösen soll und welche Randbedingungen, wie z. B. Budget, Zeitvorgaben, interoperable Einschränkungen für das Softwareentwicklungsprojekt gelten. Im nächsten Schritt, der Hintergrundanalyse, werden die Organisationsstruktur, in die das Softwaresystem implementiert wird, die Anwendungsdomäne sowie existierende Softwaresysteme ermittelt und beschrieben. In diesem Schritt eignet sich der Software-Ingenieur umfangreiches Wissen in den vier Verständnisdimensionen an, um anschließend den dritten Schritt durchführen zu können. Der dritte Schritt ist die Wissensorganisation, alle Endnutzer des Systems müssen identifiziert und deren Rolle im Unternehmen bestimmt werden. Außerdem müssen die Unternehmensziele priorisiert und das gesammelte Hintergrundwissen nach Relevanz für die Softwareentwicklung gefiltert werden. Die Ermittlung der Anforderungen ist der vierte Schritt, indem die Anforderungen der Endnutzer identifiziert sowie aus den vorherigen Schritten Anforderungen der Anwendungsdomä-

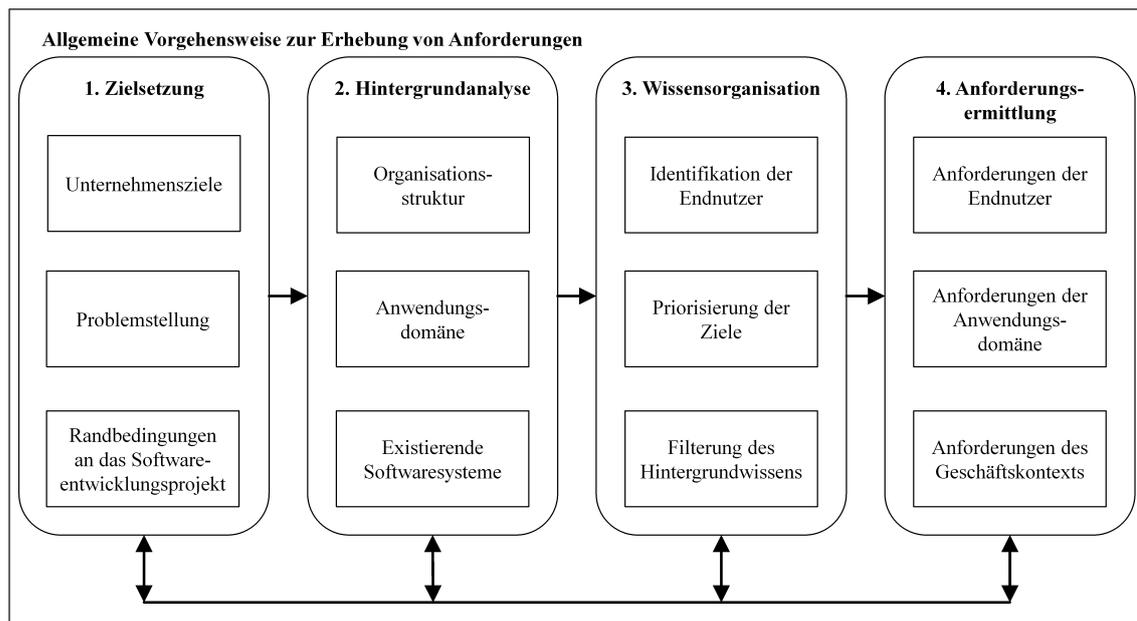


Abbildung 4.2: Vorgehen zur Anforderungserhebung nach [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 59]

ne und des Geschäftskontexts abgeleitet werden, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 57 ff.]. Der Software-Ingenieur muss sich in die drei Sichtweisen des Endnutzers, des Geschäftskontexts (indirekte Sichtweise) und der Anwendungsdomäne hineinversetzen, vgl. [SOMMERVILLE, 2004, S. 149 ff.]. Das Ergebnis des letzten Schritts ist ein Dokument mit informellen Anforderungen an das System. Die vier beschriebenen Schritte entsprechen einem idealen Prozess, der in der Praxis nicht linear abläuft. Häufig muss zu vorherigen Aktivitäten zurückgegangen werden, um offene Fragen zur Zielstellung und zum Hintergrundwissen zu klären, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 57 ff.].

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Methodiken und Techniken zur Ermittlung von Anforderungen, eine Auswahl ist nach PARTSCH in Abbildung 4.3 dargestellt, vgl. [PARTSCH, 2010, S. 40]. Kreativitätstechniken sind dazu geeignet, innovative Ideen zu sammeln, daher unterstützen diese die Entwicklung der ersten Version des Softwaresystems sowie die Sammlung innovativer Anforderungen. Jedoch ist es nur schwer möglich mit Kreativitätstechniken konkrete und detaillierte Anforderungen zu identifizieren, vgl. [RUPP, 2007, S. 115]. Erläuterungen zu den Kreativitätstechniken sowie eine umfangreichere Auswahl sind in [RUPP, 2007, S. 115-120] und [ILLÉS et al., 2007, S. 178-184] zu finden. Häufig kommt es bei der Erläuterung der Prozessschritte, die durch das neue Softwaresystem unterstützt werden sollen, zu Kommunikations- und Darstellungsproblemen zwischen dem Endnutzer und Softwareentwickler. Daher bietet es sich an, dass der Software-Ingenieur den Endnutzer bei seinen realen Arbeitsprozessen beobachtet und dabei die Schritte und Aufgaben erläutert bekommt. Diese Beobachtungstechniken bieten somit die Möglichkeit den Ist-Zustand des realen Systems und der Prozesse direkt zu verfolgen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 67-72], [RUPP, 2007, S. 120 ff.] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 108 f.]. Es ist aber zu beachten, dass der Software-Ingenieur nur den Ist-Zustand gezeigt bekommt, der nicht dem Soll-Zustand entspricht und häufig Optimierungspotentiale aufweist, die natürlich in das

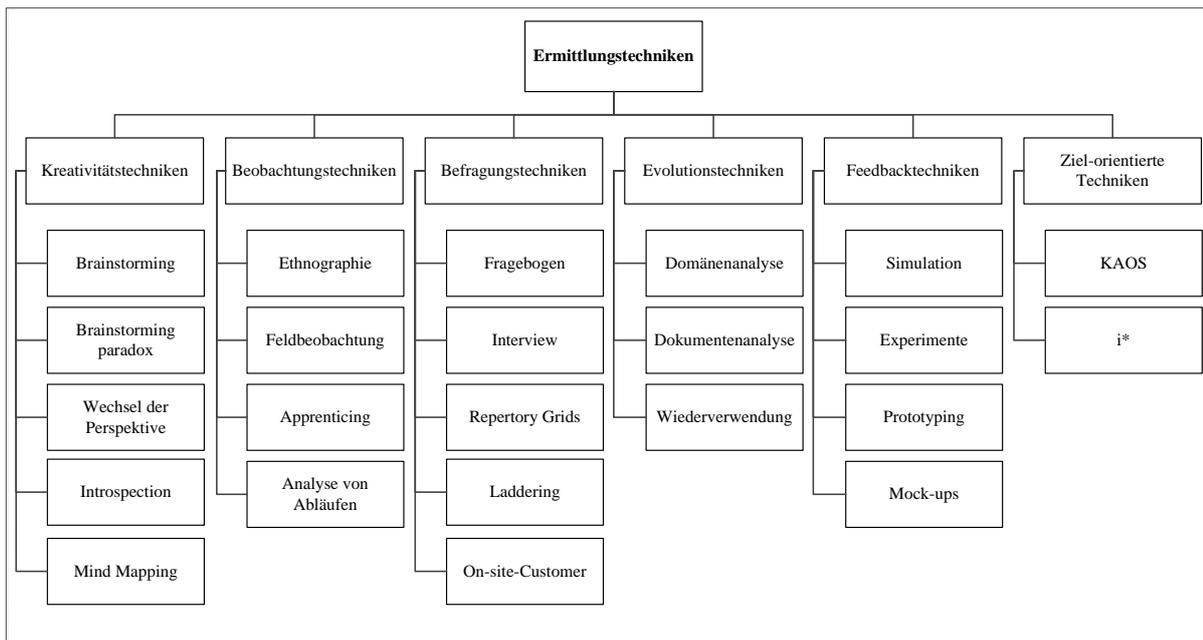


Abbildung 4.3: Auswahl an Ermittlungstechniken nach [PARTSCH, 2010, S. 40]

neue Softwaresystem integriert werden sollten, vgl. [RUPP, 2007, S. 120]. Befragungstechniken, wie z. B. Interviews, unterstützen beim direkten Austausch zwischen Endnutzer und Software-Ingenieur zur Erhebung von Anforderungen. Es ist aber zu beachten, dass der Software-Ingenieur ausreichendes Wissen über das Anwendungsgebiet hat, so dass dieser die Fachbegriffe und Erklärungen des Endnutzers richtig interpretieren und in Anforderungen übersetzen kann, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 62 ff.], [RUPP, 2007, S. 122-126] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 104 f.]. Sehr gute Informationsquellen zur Ermittlung von Anforderungen sind Dokumentationen und Spezifikationen ähnlicher oder bereits existierender Softwaresysteme. Zur Analyse dieser Informationen und zur Ableitung von Anforderungen, eignen sich Evolutionstechniken, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 72 f.] und [RUPP, 2007, S. 126-128]. Ziel-orientierte Techniken, wie z. B. Knowledge Acquisition in Automated Specification (KAOS), erfassen die Ziele der Stakeholder und transformieren diese über Und-Oder-Bäume in funktionale Anforderungen, vgl. [PARTSCH, 2010, S. 336 f.] und [RESPECT-IT, 2007]. Während der Ermittlung der Anforderungen sollten Hilfstechniken zur Modellierung, Strukturierung, Aufzeichnung und Sortierung genutzt werden. Dies sind z. B. Szenarien, Diagramme, Class-Responsibility-Collaboration (CRC) Cards oder Use-Cases, vgl. [PARTSCH, 2010, S. 41] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 105-108]. Für eine detaillierte Beschreibung der Techniken sowie deren Eignung für die einzelnen Aktivitäten wird auf [POHL, 2008, S. 324, 364] verwiesen. Das Ergebnis der Anforderungsermittlung sind informelle Anforderungen an das geplante Softwaresystem, die in der nächsten Phase analysiert werden müssen.

### 4.2.3 Anforderungsanalyse

In der Phase der Anforderungsanalyse werden die ermittelten informellen Anforderungen hinsichtlich spezifischer Qualitätsmerkmalen überprüft, vgl. [DUMKE, 2003, S. 36]. Ziel der Analyse ist es, Anforderungen aufzudecken, die fehlen, einander widersprechen, uneindeutig sind, überlappen oder unrealistisch sind, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 54]. Dabei wird nach folgenden Qualitätsmerkmalen unterschieden:

- **Korrektheit:** Die Anforderungen müssen vom Endnutzer auf Richtigkeit hin überprüft werden, vgl. [DUMKE, 2003, S. 35]. Eine „Anforderung ist korrekt, wenn das zu erstellende Softwaresystem sie erfüllen soll“ [BALZERT et al., 2009, S. 475].
- **Eindeutigkeit:** Alle Stakeholder verstehen die Anforderung im gleichen Sinne. Wünschenswert ist, dass diese durch einen einfachen eindeutigen Begriff beschrieben werden kann, vgl. [BALZERT et al., 2009, S. 475].
- **Konsistenz:** Die Anforderungen sollen widerspruchsfrei sein und aus diesen dürfen keine gegensätzlichen Eigenschaften ableitbar sein, vgl. [DUMKE, 2003, S. 35] und [BALZERT et al., 2009, S. 475].
- **Klassifizierbar nach Wichtigkeit:** Die Anforderungen müssen hinsichtlich Wichtigkeit klassifiziert werden können. Es wird zwischen essenziell, bedingt und optional unterschieden, vgl. [BALZERT et al., 2009, S. 475].
- **Überprüfbarkeit:** Die Anforderungen müssen überprüfbar sein, vgl. [DUMKE, 2003, S. 35] und [BALZERT et al., 2009, S. 476].
- **Sinnvoll:** Die Anforderungen sollen sich nur auf die Bedürfnisse der Kunden beziehen und unabhängig von den Wünschen der Softwareentwickler sein, vgl. [DUMKE, 2003, S. 35].
- **Machbarkeit:** Es muss geprüft werden, ob die Anforderungen hinsichtlich technischer, personeller und ökonomischer Aspekten realisierbar sind. Speziell bei der technischen Machbarkeit wird überprüft, ob die Problemstellungen lösbar sind und die Anforderungen unter den gegebenen technischen Umständen erfüllt werden können, vgl. [PARTSCH, 2010, S. 54].

Zur Überprüfung der verschiedenen Qualitätsmerkmale können unterschiedliche Techniken angewendet werden. Diese sind z. B. die Erstellung von Begriffskatalogen, die Durchführung von Checklisten, Textanalysen, Interviews und Reviews, die Durchführung von Szenarien oder die Entwicklung von ersten Prototypen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 60], [DUMKE, 2003, S. 39] und [PARTSCH, 2010, S. 52 f.]. Zur Aufdeckung von Beziehungen zwischen den Anforderungen bietet sich eine Interaktionsmatrix an. Dabei werden die Anforderungen in einer Matrix gegenübergestellt und dahingehend quantitativ bewertet, ob sie in Konflikt zueinander stehen (Wert 1), überlappen (Wert 1000) oder unabhängig (Wert

0) sind. Damit lassen sich die Anforderungen filtern, die mit anderen in Konflikt stehen und somit korrigiert bzw. angepasst werden müssen, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 78 ff.] und [POHL, 2008, S. 399-408]. Die Anforderungsanalyse ist eine sehr zeitaufwendige Aufgabe und eine Vielzahl an Dokumenten müssen detailliert gelesen und geprüft werden, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 77]. Das Ergebnis sind vereinbarte Anforderungen, die den Qualitätsmerkmalen entsprechen.

#### 4.2.4 Anforderungsspezifikation

Nach der Analyse der Anforderungen müssen diese dokumentiert und über die Qualitätsmerkmale spezifiziert werden. Dazu müssen Dokumentationsvorschriften definiert werden, die den Formalisierungs-, Abstraktions- und Detaillierungsgrad festlegen, vgl. [POHL, 2008, S. 221]. Wenn die Dokumentation in natürlicher Sprache erfolgt, bieten sich als Dokumente Pflicht- und Lastenhefte oder eine Strukturierung nach dem IEEE-STANDARD 830 an, [IEEESTD830, 1998] und [POHL, 2008, S. 229-257].

Eine weitere Möglichkeit zur Strukturierung von natürlichsprachigen Anforderungen bieten Schablonen, wie die Volere-Karten. Hierbei werden die Anforderungen auf einzelne Karteikarten geschrieben und anhand verschiedener Kategorien, wie z. B. Funktion, Beschreibung, Eingabe, Quelle, Ausgabe, Ziel, Aktion, Benötigt, Vorbedingung, Nachbedingung und Seiteneffekte strukturiert, vgl. [SOMMERVILLE, 2011, S. 95 ff.].

Zur grafischen Spezifikation von Anforderungen sind Modelle sehr hilfreich, vgl. [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 33] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 95]. Anforderungen, die Ziele darstellen, können mittels Und-Oder-Graphen sowie i\*-Modelle spezifiziert werden. Zur Dokumentation von Szenarien eignen sich Sequenz-, Aktivitäts- und Use-Case-Diagramme. Lösungsorientierte Anforderungen lassen sich mit Hilfe von Entity-Relationship-Modellen, Datenfluss- und Verhaltensmodellen sowie objektorientierten Modellen darstellen, vgl. [POHL, 2008, S. 299]. Detaillierte Beschreibung der einzelnen Modellierungstechniken sind in [BOOCH et al., 2006], [POHL, 2008] und [SOMMERVILLE, 2011] zu finden. Das Ergebnis der Spezifikation sind konzipierte Anforderungen die abschließend validiert werden.

#### 4.2.5 Anforderungvalidierung

Ziel der Anforderungvalidierung ist die erfolgreiche Überprüfung, ob die Anforderungen das Softwaresystem beschreiben, das sich der Kunde wünscht, vgl. [SOMMERVILLE, 2011, S. 110] und [LEE, 2013, S. 93]. Dabei ist eine Aufgabe die Überprüfung der Vollständigkeit der Anforderungen, d.h. ob die Anforderungen alle zukünftigen Zustände und Funktionalitäten des Softwaresystems beschreiben, vgl. [SOMMERVILLE, 2011, S. 110]. Aber auch die Qualitätskriterien aus der Anforderungsanalyse werden noch einmal geprüft (vgl. [SOMMERVILLE, 2011, S. 110]), da die Anforderungen jetzt spezifiziert sind und nach erfolgreicher Validierung zur Weiterentwicklung freigegeben werden, vgl. [POHL, 2008, S. 419]. Unter Validierung versteht POHL:

„die Überprüfung der Eingaben, der Aktivitätsdurchführung und der Ausgaben (Anforderungsartefakte) der Requirements-Engineering-Kernaktivitäten auf die Erfüllung der definierten Qualitätskriterien. Die Validierung erfolgt unter Einbeziehung der relevanten Stakeholder, weiterer Anforderungsquellen (Standards, Gesetze etc.) sowie ggf. externer Personen“ [POHL, 2008, S. 423].

Techniken zur Validierung von Anforderungen sind Reviews unterstützt durch Checklisten und Verbalisierung von Modellen, Prototypen sowie die Erzeugung von Testfällen, vgl. [POHL, 2008, S. 417] und [SOMMERVILLE, 2011, S. 111].



## Kapitel 5

# Methoden zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte

Im ersten Teil des Kapitels werden die Begriffe Datenmodell, Entity-Relationship-Modell und Attribut eingeführt. Darauf aufbauend werden Definitionen für Zustands- und Ereignisfunktionen abgeleitet und deren Zusammenhang zu Zuständen und Ereignissen logistischer Objekte (vgl. Kapitel 2.7.1) aufgezeigt. Im zweiten Teil werden Analysemethoden aus dem Bereich des Knowledge Discovery in Databases (KDD) nach Verfahrensgruppen und Aufgabenklassen beschrieben. Die Analyseverfahren, die in der Logistik häufig Anwendung finden, werden erläutert und am Ende des Kapitels nach den Kriterien Eingabe, Methode und Ausgabe systematisiert.

### 5.1 Datenmodell

Im Bereich der Informatik wird zur Abbildung der realen Welt in einer Datenbank ein Datenmodell, auch Datenbankmodell genannt, verwendet, vgl. [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 23]. Dabei dient ein Datenmodell zur „Erfassung und Darstellung der Informationsstruktur einer Anwendung, nicht der Informationen selbst“ [SAAKE et al., 2013, S. 51], vgl. auch [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 23]. Datenmodelle werden in zwei Arten unterteilt: Entwurfs- und Realisierungsmodelle. Die Entwurfsmodelle werden zu Beginn einer Entwicklung von Datenbankanwendungen verwendet und dienen zur Abstimmung zwischen Entwickler und Anwender. Wird der Datenbankentwurf in einer späteren Phase implementiert, unterstützen Realisierungsmodelle bei der Modellierung des Systems, vgl. [SAAKE et al., 2013, S. 51].

Ein Datenbankmodell beinhaltet eine Informationsstruktur zur Abbildung statischer und dynamischer Eigenschaften eines realen Systems. Statische Eigenschaften werden über Objekte und Beziehungen und dynamische über Operationen und Beziehungen zwischen Operationen dargestellt. Es werden Integritätsbedingungen für Objekte und Operationen zur Prüfung der Plausibilität, d. h. der Übereinstimmung des Datenmodells mit dem realen System, definiert, vgl. [SAAKE et al., 2013, S. 51 f.]. Ein Datenbank-

schema verwendet das Datenmodell, um die Struktur der Datenobjekte festzulegen und entspricht daher den Metadaten, vgl. Kapitel 3.4.2 und [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 24]. Einzelne Daten (Datensätze) bilden zusammen die Datenbank, vgl. [SAAKE et al., 2013, S. 52].

Datenmodelle können, wie schon erwähnt, als Entwurfs- oder Realisierungsmodelle vorliegen. Der Unterschied liegt im Abstraktionsgrad. Ein typisches abstraktes Modell ist das Entity-Relationship-Modell, vgl. [CHEN, 1976]. Konkrete Modelle, wie hierarchische Modelle, Netzwerkmodelle, Relationenmodelle bis hin zu SQL-Datenmodellen, sind sehr implementierungsnah und gehören somit zu den Realisierungsmodellen, vgl. [SAAKE et al., 2013, S. 53-56].

Das in der vorliegenden Arbeit entwickelte ganzheitliche Konzept bietet Unterstützung in der frühen Phase der Softwareentwicklung, daher liegt der Fokus der Betrachtung auf den Entwurfsmodellen. Das Entity-Relationship-Modell wird sehr häufig zur Datenbankmodellierung angewendet und ist in der Informatik weit verbreitet, vgl. [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 25], [KÖPPEN et al., 2014, S. 52] und [SAAKE et al., 2013, S. 55]. In den letzten Jahren wurde das Entity-Relationship-Modell um verschiedene Modellierungskonzepte erweitert, wie z. B. das multidimensionale Entity-Relationship-Modell oder auch das objektorientierte Entwurfsmodell, vgl. [KÖPPEN et al., 2014, S. 52] und [SAAKE et al., 2013, S. 55]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird das klassische Entity-Relationship-Modell verwendet, da dieses zum einen sehr bekannt ist und zum anderen für die hiesige Modellierung der Zustandsdaten ausreicht. Erst nach vollständiger Anwendung des ganzheitlichen Konzepts auf ein reales logistisches System, beginnt die Realisierungsphase der Softwareentwicklung. Für diese sollten implementierungsnah Modellierungsmethoden verwendet werden.

## 5.2 Entity-Relationship-Modell

Das Entity-Relationship-Modell (ERM) wurde von CHEN entwickelt und in [CHEN, 1976] erstmals veröffentlicht. Seit dieser Zeit wurde das Modell unterschiedlich modifiziert und weiter entwickelt. Jedoch hat sich das Basismodell als Standardmodellierungswerkzeug in der frühen Phase der Datenbankentwicklung etabliert, vgl. [SAAKE et al., 2013, S. 59]. Es basiert auf den drei Strukturelementen Entität, Attribut und Relation. Das englische Wort *entity* kann unterschiedlich übersetzt werden, z. B. mit Entität, Gegenstand oder auch Objekt. Der Begriff Objekt wird in dieser Arbeit für die logistischen Objekte, vgl. Kapitel 2.5, verwendet. Zur Unterscheidung wird daher *entity* mit dem Begriff Entität übersetzt. Bei der Darstellung des logistischen Systems als Entity-Relationship-Modell entsprechen die Entitäten dann wiederum den logistischen Objekten.

Unter einer Entität wird ein Gegenstand verstanden, der eindeutig identifiziert werden kann, vgl. [CHEN, 1976, S. 10]. Dabei kann eine Entität ein realer oder abstrakter Gegenstand sein, über den Informationen gesammelt werden sollen, vgl. [SAAKE et al., 2013, S. 60]. Entitäten, die ähnliche Eigenschaften aufweisen werden zu Entitätstypen  $O$  zusammengefasst. Unter einer Relation wird eine Beziehung zwischen Entitäten verstanden, vgl. [CHEN, 1976, S. 10 f.] und [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 37]. Auch die Relationen werden zu Relationstypen  $R$  zusammengefasst und entsprechen dann den Relationen aus der

Mathematik. Damit gilt für eine Relation  $R$  folgender Zusammenhang zu den Entitätstypen  $O_1, \dots, O_n$ , mit  $n \in \mathbb{N}$ , vgl. [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 39]:

$$R \subseteq O_1 \times \dots \times O_n.$$

Das dritte Strukturelement ist das Attribut  $A$ , das die Entitäten und Relationen identifiziert und beschreibt, vgl. [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 35] und [SAAKE et al., 2013, S. 63]. Dabei können Attribute z. B. Identifikationsnummern, Zeitstempel, Farbe, Ort oder Inhalt sein. Es ist wichtig für jedes Attribut einen Wertebereich  $W$  zu definieren, welcher z. B. für das Attribut Farbe {rot, blau, grün, silber} sein kann. Mathematisch betrachtet, ist damit ein Attribut  $A$  eine Funktion, die den Entitätstyp  $O$  oder die Relation  $R$  auf einen Wertebereich  $W$  abbildet, vgl. [CHEN, 1976, S. 12] und [SAAKE et al., 2013, S. 63 f.]:

$$A : O \rightarrow W, \quad \text{oder} \quad A : R \rightarrow W,$$

wobei  $W$  auch eine mehrdimensionale Menge sein kann.

Damit wurde das Entity-Relationship-Modell eingeführt und formal beschrieben. Da in der vorliegenden Arbeit der Schwerpunkt in der Analyse von Attributen der Entitäten liegt, werden diese im Folgenden genauer betrachtet.

### 5.2.1 Charakteristiken von Attributen

Attribute bilden Entitäten und Relationen auf bestimmte Werte ab. Der Wertebereich eines Attributs ist somit eine Menge von Elementen, dessen Skalentyp entweder nominal, ordinal oder metrisch ist. Ist der Wertebereich eines Attributs eine endliche Menge, die keine Ordnung sondern nur eine Äquivalenzrelation, d.h. eine reflexive, transitive und symmetrische Relation, besitzt, liegt ein nominaler Skalentyp vor, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 64 f.] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 34]. Nominale Wertebereiche sind z. B. eine Menge von Farben {rot, blau, grün, silber} oder die Menge der Geschlechter {weiblich, männlich}. Liegt für die Elemente des Wertebereichs eine Halbordnung, d. h. eine reflexive, transitive und antisymmetrische Relation, vor, ist der Skalentyp ordinal, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 65 f.] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 35]. Beispiele hierfür sind Mengen, die aus Schulnoten, Einstellungen {stimme zu, egal, lehne ab} oder Häufigkeiten {oft, manchmal, selten} bestehen, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 65]. Bei einer metrischen Skala ist der Wertebereich der Attribute eine endliche oder auch unendliche Teilmenge der reellen Zahlen, auf denen der euklidische Abstand definiert ist. Hierbei wird zwischen Intervallskala, Verhältnisskala und Absolutskala unterschieden, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 35 ff.]. Bei einer Intervallskala kann der Nullpunkt beliebig gewählt werden und muss daher vorher eindeutig definiert sein. Ein typisches Beispiel für eine Menge mit Intervallskala ist das Datum, wie z. B. [25.08.2012, 13.10.2014]. Ist bei einer metrischen Skala der Nullpunkt kanonisch festgelegt, jedoch die Einheit noch frei wählbar, ist die Skala eine Verhältnisskala. Beispiele hierfür sind Mengen, die Abmaße oder Gewichte von Objekten beschreiben. Bei einer Absolutskala sind die Maßeinheit und der Nullpunkt kanonisch festgelegt, dies ist

Tabelle 5.1: Zusammenhang zwischen Skalentypen, deren Eigenschaften und zulässigen Relationen sowie Beispielen i. A. a. [PETERSOHN, 2005, S. 67] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 33-37]

Skalentypen		Zulässige Relationen	Eigenschaften	Beispiele
Nominal		Äquivalenzrelation	Keine Ordnung	Geschlecht, Nationalität
Ordinal		Halbordnung	Relative Zuordnung auf Zahlen möglich	Noten, Häufigkeiten, Einstellungen
Metrisch	Intervallskala	Metrik	Nullpunkt beliebig wählbar	Datum, Temperatur
	Verhältnisskala	Metrik	Nullpunkt kanonisch festgelegt, jedoch nicht die Einheit	Höhe, Abstand, Dauer
	Absolutskala	Metrik	Einheit und Nullpunkt kanonisch festgelegt	Anzahl

bei Mengen, die z. B. die Anzahl von Objekten angeben, der Fall, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 35 ff.]. Eine Übersicht über die Einteilung der Skalentypen mit ihren Eigenschaften und ausgewählten Beispielen ist in Tabelle 5.1 dargestellt.

Neben dem Wertebereich und deren Skalentypen werden Attribute durch weitere Charakteristiken beschrieben. Zur Abschätzung des Speicherbedarfs der Datensätze wird die Länge des Attributs (Anzahl Zeichen) gemessen. Wenn ein Attribut einer Entität mehrere Einträge hat (wie z. B. zwei Adressen zu einer Person), muss die Anzahl der Wiederholungen festgelegt werden. Abschließend ist noch zu kennzeichnen, ob das Attribut das Objekt eindeutig identifiziert (Primärschlüssel), vgl. [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 37].

Wie in Kapitel 2.7.1 dargestellt, werden die logistischen Objekte über Zustandsdaten beschrieben, die mehrdimensionale Vektoren mit Attributen in den Komponenten sind. Die logistischen Objekte entsprechen somit den Entitäten im Entity-Relationship-Modell und die Attribute den Attributen. Im Folgenden werden Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte angelehnt an das Entity-Relationship-Modell definiert.

### 5.3 Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte

Im Folgenden wird erläutert, wie ein Entity-Relationship-Modell für ein logistisches System verstanden werden kann und wie die in Kapitel 2.7.1 definierten Begriffe Zustand und Ereignis eines logistischen Objekts in Zusammenhang dazu stehen. Eine Entität ist ein logistisches Objekt (vgl. Kapitel 2.5) eines logistischen Systems, das durch eine eindeutige Identifikationsnummer (ID) gekennzeichnet ist. Die Entitätstypen  $O$  entsprechen den in Tabelle 2.4 definierten Objektmengen. In Kapitel 2.4 wurden Beziehungen zwischen logistischen Objekten, wie z. B. der Transport eines Pakets durch einen LKW, als

Systemrelationen bezeichnet, diese entsprechen den Relationen des Entity-Relationship-Modells.

Ein Attribut  $A$  ist eine Abbildung, welche logistischen Objekten  $ID$  einer Objektmenge  $O$  zu einem Zeitpunkt  $t$  einen Wert  $A(ID, t)$  zuordnet, d.h.

$$\begin{aligned} A : O \times T &\longrightarrow W \\ (ID, t) &\longmapsto A(ID, t), \end{aligned} \quad (5.1)$$

wobei  $T := [DD.MM.YYYY \text{ } hh:mm:ss, \widetilde{DD}.\widetilde{MM}.\widetilde{YYYY} \text{ } \widetilde{hh}:\widetilde{mm}:\widetilde{ss}]$  ein Zeitintervall darstellt und  $W$  der Wertebereich von  $A$  ist. Jeder Objektmenge  $O$  eines logistischen Systems wird eine Menge von Attributen  $A_1, \dots, A_n, n \in \mathbb{N}$ , zugeordnet, die die Zustände der logistischen Objekte der Objektmenge beschreiben. Die Zustandsfunktion  $z$  einer logistischen Objektmenge bildet die ID eines Objekts zusammen mit dem entsprechendem Zeitpunkt  $t$  auf die Werte der Attribute  $A_i, 1 \leq i \leq n, n \in \mathbb{N}$ , ab, d. h.:

$$\begin{aligned} z : O \times T &\longrightarrow W_1 \times \dots \times W_n \\ (ID, t) &\longmapsto (A_1(ID, t), \dots, A_n(ID, t)), \end{aligned} \quad (5.2)$$

wobei für alle  $1 \leq i \leq n, n \in \mathbb{N}$ ,  $W_i$  der Wertebereich des Attributs  $A_i$  ist. Der Graph  $G$  der Zustandsfunktion  $z$  ist

$$G(z) = \left\{ (ID, t, z(ID, t)) \mid ID \in O, t \in T \right\} \subset O \times T \times W_1 \times \dots \times W_n. \quad (5.3)$$

Die Elemente des Graphen  $G$  entsprechen der Definition des Zustandsvektors aus Gleichung 2.1. Demzufolge besteht der Graph aus allen Zuständen der logistischen Objekte der Objektmenge, die in dem Zeitintervall  $T$  aufgetreten sind. Diese Menge von Zuständen wird als Zustandsdaten der logistischen Objektmenge bezeichnet. Die Zustandsfunktion  $z$  ist häufig weder injektiv noch surjektiv, da in einem realen logistischen System Objekte zu unterschiedlichen Zeitpunkten den gleichen Zustand (gleiche Attributwerte) annehmen können und Objekte in einem Zeitintervall nicht alle möglichen Zustände annehmen müssen.

Die Attribute stellen Eigenschaften der logistischen Objekte dar, die sich im Zeitverlauf ändern. Welchen Wert ein Attribut zu welchem Zeitpunkt annimmt, hängt davon ab, wie sich das logistische Objekt im realen System verhält. Daher ist das Attribut für ein festes Objekt im Zeitverlauf meist eine diskrete Funktion. Um das Verhalten der Attribute für ein festes Objekt im Zeitverlauf darzustellen, eignen sich Ereignisfunktionen. Diese beschreiben die stückweise Änderung der Attribute. Unter einer Ereignisfunktion zu einem Attribut wird eine Abbildung verstanden, die ein Objekt zusammen mit dem aktuellen Zeitpunkt auf ein Paar aus Attributwerten abbildet. Das Wertepaar hat in einer Komponente den Wert des Attributs zu diesem Zeitpunkt und in der anderen Komponente den Wert des Attributs zum Zeitpunkt der

letzten Änderung. Somit lässt sich eine Ereignisfunktion  $e$  zu einem Attribut  $A$  wie folgt darstellen:

$$\begin{aligned} e_A : O \times T &\longrightarrow W \times W \\ (ID, t) &\longmapsto (A(ID, t-1), A(ID, t)), \end{aligned} \quad (5.4)$$

wobei  $O$  eine Objektmenge,  $T$  ein Zeitintervall,  $A$  ein Attribut und  $W$  der Wertebereich des Attributs ist. Der Zeitpunkt  $t-1$  stellt den Zeitpunkt der letzten Attributsänderung vor dem Zeitpunkt  $t$  dar. Damit ist der Graph der Ereignisfunktion  $e_A$  zu einem Attribut  $A$  mit Wertebereich  $W$ :

$$G(e_A) = \left\{ (ID, t, e_A(ID, t)) \mid ID \in O, t \in T \right\} \subset O \times T \times W \times W. \quad (5.5)$$

Die Elemente des Graphen der Ereignisfunktion entsprechen der Definition von Ereignissen aus Gleichung 2.2. Demzufolge ist der Graph einer Ereignisfunktion zu einem Attribut die Menge der Ereignisse einer Objektmenge in einem bestimmten Zeitraum. Diese Menge wird mit Ereignisdaten eines Attributs einer Objektmenge bezeichnet. Auch die Ereignisfunktion ist meist nicht injektiv und surjektiv, da im realen logistischen System gleiche Zustandsänderungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten können und nicht immer alle möglichen Zustandsänderungen auftreten müssen.

Um Zustandsänderungen zu beeinflussen, werden für Attributwerte der Objekte Sollvorgaben (vgl. Kapitel 2.7.1) definiert. Jedoch ist deren Eintreffen davon abhängig, wie das logistische Objekt sich im realen System verhält und ob Störungen auftreten. Im realen logistischen System werden zur Überwachung der Zustände und Ereignisse, die Ist-Werte der Attribute mittels Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien aufgenommen. Diese Daten werden anschließend in einer Datenbank gespeichert und den Attributen der jeweiligen Zustandsvektoren zugewiesen. Die Datenaufnahme erfolgt über einen bestimmten Zeitraum für verschiedene logistische Objekte. Als Ergebnis ergeben sich Zustands- und Ereignisprotokolle. Die Datensätze der Zustandsprotokolle bestehen aus Elementen des Graphen der Zustandsfunktion. Da die Zustandsfunktion meist nicht injektiv ist, sind die Datensätze nicht über den Wert der Zustandsfunktion eindeutig identifizierbar. Jedoch wird in dieser Arbeit angenommen, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Objekt nur einen Zustand annehmen kann. Daher können die Zustandsdaten über das Objekt zusammen mit dem spezifischen Zeitpunkt eindeutig identifiziert werden. Es wird immer nur dann ein neuer Zustandsvektor geschrieben, wenn ein Ereignis eintritt. In der Zeit zwischen den Ereignissen bleibt der Zustand bestehen. Die Datensätze der Ereignisprotokolle zu bestimmten Attributen sind auch nicht über den Wert der Ereignisfunktion identifizierbar. Jedoch wird auch hier angenommen, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Attribut sich nur einmal ändert. Es können sich aber mehrere Attribute zu einem gleichen Zeitpunkt ändern. Daher ist es notwendig zu kennzeichnen, zu welchem Attribut das Ereignis gehört, damit eine Identifizierung über die Objekt-ID und dem Zeitpunkt möglich ist.

## 5.4 Methoden zur Datenanalyse aus dem Bereich des Knowledge Discovery in Databases

Eine Analyse von großen Datenmengen dient dazu, unbekannte Zusammenhänge zu erkennen oder bereits bekannte zu bestätigen. Dieser Bereich der Datenanalyse wird mit den Begriffen Knowledge Discovery in Databases (KDD) und Data Mining bezeichnet. Die Begriffe werden im Folgenden definiert und voneinander abgegrenzt. Eine Datenanalyse ist ein Prozess, der nicht nur aus der Anwendung des Verfahrens sondern auch aus vor- und nachgelagerten Schritten besteht. Als gängiges Prozessmodell und typischen Vertreter wird der Cross Industry Standard Process for Data Mining CRISP-DM vorgestellt. Anschließend werden verschiedene Verfahrensgruppen und Algorithmen des Knowledge Discovery in Databases erläutert und spezifischen Aufgabenklassen zugeordnet.

### 5.4.1 Knowledge Discovery in Databases und Data Mining KDD

Für die Begriffe Knowledge Discovery in Databases (KDD) und Data Mining existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen (vgl. [FAYYAD et al., 1996a, S. 39]), wobei ein großer Anteil auf der Definition von FAYYAD, PIATETSKY-SHAPIRO und SMYTH beruht:

„Knowledge discovery in Databases is the nontrivial process of identifying valid, novel, potentially useful, and ultimately understandable patterns in data“ [FAYYAD et al., 1996b, S. 6].

Demzufolge ist Knowledge Discovery in Databases ein nicht-trivialer mehrstufiger Prozess, dessen Zielstellung es ist, aus einer großen Menge von Daten valide, neuartige, potenziell nützliche und letztendlich verständliche Zusammenhänge, wie z. B. Muster, Auffälligkeiten und Abhängigkeiten, zu identifizieren, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 7 f.], [DÜSING, 2006, S. 243] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 7]. Der mehrstufige Prozess besteht aus den Schritten Datenaufbereitung, Suche nach Zusammenhängen und Evaluation der Ergebnisse, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 7].

Data Mining wird als Anwendung von Algorithmen zur Suche nach Zusammenhängen in Daten verstanden (vgl. [FAYYAD et al., 1996a, S. 39]) und entspricht somit dem zweiten Schritt des mehrstufigen Prozesses. Häufig wird der hier verwendete Begriff „Zusammenhänge“ in den Daten auch mit „Mustern“ oder „Wissen“ übersetzt. Darunter verstehen BISSANTZ und HAGEDORN Folgendes:

„Wissen stellt in diesem Zusammenhang ein Muster dar, das, mit den Maßstäben des Anwenders gemessen, interessant ist und mit ausreichender Sicherheit tatsächlich existiert“ [BISSANTZ und HAGEDORN, 1993, S. 139].

„Muster bezeichnen Beziehungen zwischen Datensätzen, zwischen den Daten innerhalb eines Satzes oder bestimmte Regelmäßigkeiten“ [BISSANTZ und HAGEDORN, 1993, S. 139].

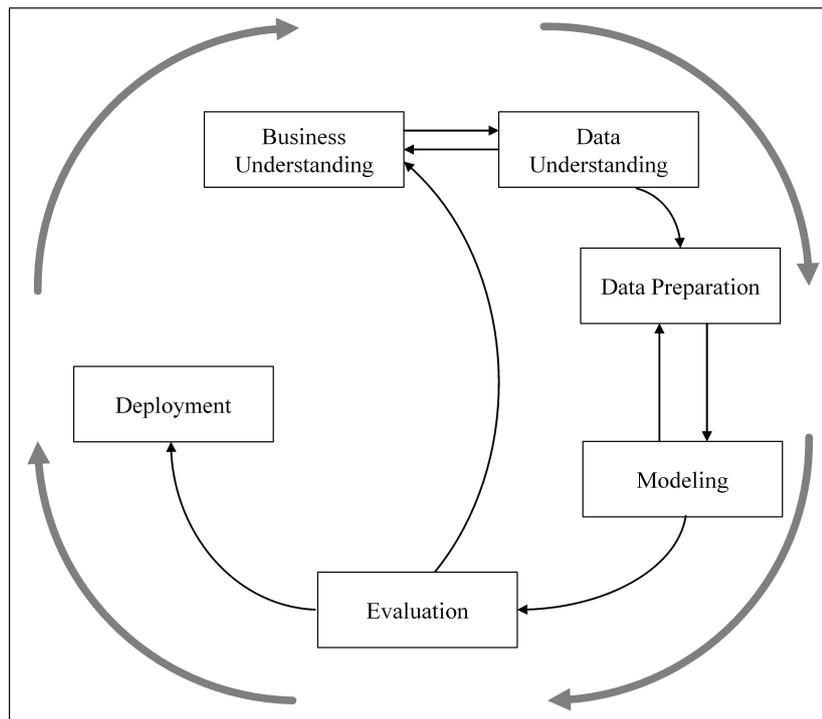


Abbildung 5.1: Phasen des Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) nach [CHAPMAN et al., 2000, S. 10]

Damit hat der Prozess des KDD und die Methoden des Data Mining das Ziel aus großen Datenmengen Muster zu identifizieren und für diese Regeln abzuleiten. Außerdem werden in den Datensätzen Zusammenhänge gesucht, so dass die Datensätze in Gruppen mit ähnlichen Attributwerten eingeteilt werden können. Weiterhin können für numerische Datensätze Gleichungen konstruiert werden, die die identifizierten Muster abbilden, vgl. [BISSANTZ und HAGEDORN, 1993, S. 139].

Im Folgenden wird der mehrstufige Prozess des KDD genauer betrachtet und daran anschließend werden die Verfahrensgruppen und Aufgabenklassen des Data Mining erläutert.

## 5.4.2 Cross Industry Standard Process for Data Mining CRISP-DM

Der Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) ist eine sehr bekannte und weit verbreitete Vorgehensweise zur Durchführung des KDD Prozesses, vgl. [CHAPMAN et al., 2000, S. 1] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 8]. Dieser wurde gemeinsam von den Unternehmen National Cash Register NCR Corporation, Daimler AG und SPSS Inc. (jetzt International Business Machines Corporation IBM) entwickelt und als Standardvorgehensweise aufbereitet, siehe [CHAPMAN et al., 2000]. Der CRISP-DM besteht aus sechs Phasen, die nacheinander ausgeführt werden. Eine Übersicht über den Aufbau des CRISP-DM ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Der gesamte KDD Prozess wird als ein Projekt verstanden, weswegen mit der Formulierung der Zielstellung der Datenanalyse und der Definition der Anforderungen begonnen wird. In dieser ersten Phase (Business Understanding) muss das Problem formuliert werden,

das die Datenanalyse lösen soll. Daraus lassen sich Zielstellungen für die Datenanalyse ableiten und Bewertungskriterien zur Messung des Erfolgs bestimmen. Letztendlich muss ein Projektplan aufgestellt werden, vgl. [CHAPMAN et al., 2000, S. 10]. Die nächste Phase dient zur Verbesserung des Verständnis der Daten (Data Understanding). Dazu werden zuerst alle notwendigen Daten zusammengetragen und Methoden zur Aufbereitung, wie z. B. Zusammenfassung in Abbildungen oder Diagrammen, angewendet. Auch werden die Daten hinsichtlich Qualitätsmerkmalen (wie z. B. Vollständigkeit und Redundanz) überprüft, sowie Ausreißer in den Daten ermittelt. Ein weiteres Ziel der Phase ist die Ableitung von Hypothesen bzgl. der Informationen, die aus den Daten identifiziert werden sollen. Falls erkennbar ist, dass die Daten die Zielstellung der Datenanalyse nicht erfüllen können, muss zur ersten Phase zurückgegangen und die Zielstellung angepasst werden, vgl. [CHAPMAN et al., 2000, S. 10] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 8 f.]. Die dritte Phase ist die Aufbereitung der Daten für die Datenanalyse (Data Preparation). Dabei werden notwendige Rohdaten ausgewählt und in das entsprechende Datenformat transformiert. Fehlende Datensätze oder Attributwerte müssen aufgefüllt und redundante bereinigt werden, vgl. [CHAPMAN et al., 2000, S. 11] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 9]. Die eigentliche Datenanalyse wird in der Phase Modeling durchgeführt. Verschiedene Verfahren des Data Mining werden ausgewählt und auf die aufbereiteten Daten angewendet. Zur Anpassung und Verbesserung der Ergebnisse werden die Parameter der Methoden schrittweise verändert, weswegen einige Verfahren mehrfach angewendet werden. Da die Verfahren sehr unterschiedlich sind, kann es vorkommen, dass die aufbereiteten Daten noch einmal angepasst werden müssen. Deswegen kann es hier zur erneuten Datenaufbereitung (Phase 3) kommen, vgl. [CHAPMAN et al., 2000, S. 11] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 10]. Die vorletzte Phase des Prozesses ist die Evaluation. Die Ergebnisse der Datenanalyse werden dahingehend überprüft, ob diese die definierten Zielstellungen vollständig erfüllen und die Problem- oder Fragestellungen beantworten. Fällt die Evaluation negativ aus, müssen die Zielstellungen der Datenanalyse (Phase 1) neu formuliert werden. Die letzte Phase ist das Deployment, die die Verwertung der Ergebnisse zum Ziel hat. Es wird festgelegt, was mit den Ergebnissen der Analysen erreicht wurde und wie diese in Zukunft genutzt werden sollen, vgl. [CHAPMAN et al., 2000, S. 11] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 10]. Der KDD Prozess kann mehrfach durchgeführt werden, da während der Anwendung der Phasen neue Ideen zur Datenanalyse entstehen können. Deswegen ist der Prozess in Abbildung 5.1 von Pfeilen umgeben, die die zyklische Anwendung darstellen.

### 5.4.3 Verfahrensgruppen und Aufgabenklassen

Es gibt eine Vielzahl an Methoden und Algorithmen aus dem Bereich des KDD, die nach ihrer Vorgehensweise und Ergebnissen systematisiert werden können. In [FAYYAD et al., 1996b, S. 13-16], [PETERSOHN, 2005, S. 25-34] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 11] werden sechs Verfahrensgruppen vorgestellt, die im Folgenden näher erläutert werden.

## Klassifikation

Die Klassifikation, auch Klassifizierung genannt, beinhaltet Methoden, die unbekannte Datensätze in vordefinierte Klassen einteilen. Mit Hilfe von Vergangenheitsdaten werden Abhängigkeiten und Regelmäßigkeiten in den Daten ermittelt, sowie Klassen definiert, die diese Abhängigkeiten abbilden. Anschließend werden die unbekannt Daten über Funktionen und Regeln in die Klassen eingeteilt, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 13] und [PETERSOHN, 2005, S. 31]. Mit der Zuordnung der unbekannt Datensätze zu bestimmten Klassen, können Fragestellungen mit einer endlichen Anzahl an nominalen oder ordinalen Antworten gelöst werden, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 11]. Denn wenn ein Datensatz einer bestimmten Klasse zugeordnet wird, weist dieser die gleichen Eigenschaften auf, wie die anderen Elemente der Klasse. Diese Methoden werden z. B. dazu genutzt, Produkte in Qualitätsklassen einzuteilen. Zustandsdatensätze verschiedener Produkte werden der Klasse „gute Qualität“ zugeordnet, wenn die Qualitätsattribute die geforderten Werte aufweisen. Methoden der Klassifizierung sind z. B. multivariate statistische Verfahren (Diskriminanzanalyse), künstliche neuronale Netze (Perzeptron, Counterpropagation und Backpropagation) und Entscheidungsbaumverfahren (Concept-Learning-System CLS, Iterative-Dichotomizing-3<sup>rd</sup>-Algorithmus ID3 und C4.5), vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 31].

## Regression

Die Methoden der Regression, auch Zeitreihenanalyse genannt, bestimmen für Datensätze fehlende oder zukünftige numerische Werte, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 13]. Dazu werden funktionale Zusammenhänge in den Datensätzen gesucht, mit denen dann der fehlende bzw. zukünftige Wert bestimmt werden kann, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 33] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 11]. Die Methoden, die zur Gruppe der Regression gehören, sind wie bei der Klassifikation multivariate statistische Verfahren, künstliche neuronale Netze und Entscheidungsbaumverfahren. Von den multivariaten statistischen Verfahren eignet sich z. B. die Regressionsanalyse, von den künstlichen neuronalen Netzen z. B. die Jordan- und Elman-Netze sowie von den Entscheidungsbaumverfahren, der Classification-And-Regression-Tree-Algorithmus (CART) zur Bestimmung von fehlenden Werten, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 34].

## Clustering

Das Clustering beinhaltet deskriptive Methoden, mit denen in unbekannt Datensätzen eine Struktur aufgedeckt werden soll, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 14]. Dazu werden Datensätze zu einer endlichen Anzahl an Clustern zusammengefasst, wobei sich in jedem Cluster ähnliche Datensätze befinden. Im Gegensatz dazu weisen zwei Datensätze aus verschiedenen Clustern eine gewisse Unähnlichkeit auf. Damit können Ausreißer in den Daten gefunden werden, die zu keinem der Cluster zugeordnet werden können. Vorteil dieser Methoden ist es, dass nicht mehr alle einzelnen Datensätze geprüft werden müssen, um die unbekannt Daten zu verstehen, sondern nur noch die gebildeten Cluster, vgl. [BERTHOLD et al., 2010,

S. 11]. Es ist aber trotzdem wichtig, vor Beginn der Datenanalyse genau zu formulieren, welche Problemstellung gelöst werden soll. Danach müssen notwendige Datensätze und Attribute ausgewählt werden, mit denen die Problemstellung beantwortet werden kann. Darauf aufbauend wird geprüft, welches Proximitätsmaß für die Skalentypen der Attribute genutzt werden kann und das passende ausgewählt. Anschließend kann das entsprechende Clustering-Verfahren bestimmt und angewendet werden. Die Einhaltung dieser Schrittfolge ist sehr wichtig, da sonst Cluster gebildet werden, die keine interpretierbaren Ergebnisse liefern bzw. die Problemstellung nicht lösen, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 25 f.].

Die Methoden des Clustering können selbst noch einmal unterteilt werden in partitionierende und hierarchische Verfahren. Die partitionierenden Verfahren gehen von der Annahme aus, dass es optimale Cluster gibt und beginnen mit einer beliebigen Anfangspartition. Anschließend werden die einzelnen Datensätze je nach Abstand zu den Zentroiden der Cluster auf die Cluster verteilt, bis die optimale Partition der Datensätze erreicht ist. Die Anzahl der Cluster wird vorab durch den Analysten vorgeschrieben. Eine typische Methode der partitionierenden Verfahren ist der k-Means-Algorithmus. Die hierarchischen Verfahren werden unterschieden in agglomerative und divisive Verfahren. Agglomerative Verfahren gehen zu Beginn davon aus, dass jeder Datensatz ein einzelnes Cluster bildet und fasst diese Schritt für Schritt zusammen, bis nur noch zwei Cluster übrig sind. Im Gegensatz dazu beginnen divisive Verfahren mit einem Cluster, das alle Datensätze beinhaltet und teilt dieses so lang bis alle einzelnen Datensätze selbst ein Cluster bilden. Der Nachteil der hierarchischen Verfahren liegt darin, dass nach Zuordnung eines Datensatzes zu einem Cluster keine Änderungen mehr vorgenommen werden können. Typische agglomerative Verfahren sind das Single, Complete und Average Linkage Verfahren sowie das Ward Verfahren und ein divisives Verfahren ist der DIANA-Algorithmus, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 26 ff.] und [LIU, 2006, S. 118 ff.]. Die Einteilung der Clustering-Verfahren ist in Abbildung 5.2 grafisch aufbereitet.

### **Zusammenfassung**

Zur kompakten Beschreibung von Datenmengen können die Daten zum einen zusammengefasst und aggregiert werden oder zum anderen grafisch aufbereitet werden. Als Methoden bieten sich Berechnungen von Mittelwerten und Standardabweichungen, aber auch Methoden zur Datenvisualisierung an. Diese Verfahren verbessern das Datenverständnis und helfen bei der Suche nach einer Struktur oder einem Trend in den Datensätzen, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 15]. Typische Visualisierungsmethoden sind Balkendiagramme, Histogramme, Boxplot-Diagramme, Streudiagramme und Projektionen, vgl. [DEGEN, 2006, S. 305-326], [BERTHOLD et al., 2010, S. 40-59] und [RUNKLER, 2010, S. 35-53].

### **Abhängigkeitsanalyse**

Die Methoden der Abhängigkeitsanalyse haben zum Ziel Modelle zu finden, die Abhängigkeiten zwischen Attributen oder Werten eines Attributs eines Datenbestands beschreiben, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 15], [HIPPEL, 2004, S. 15] und [BEEKMANN und CHAMONI, 2006, S. 266]. Vorab wird angenommen, dass

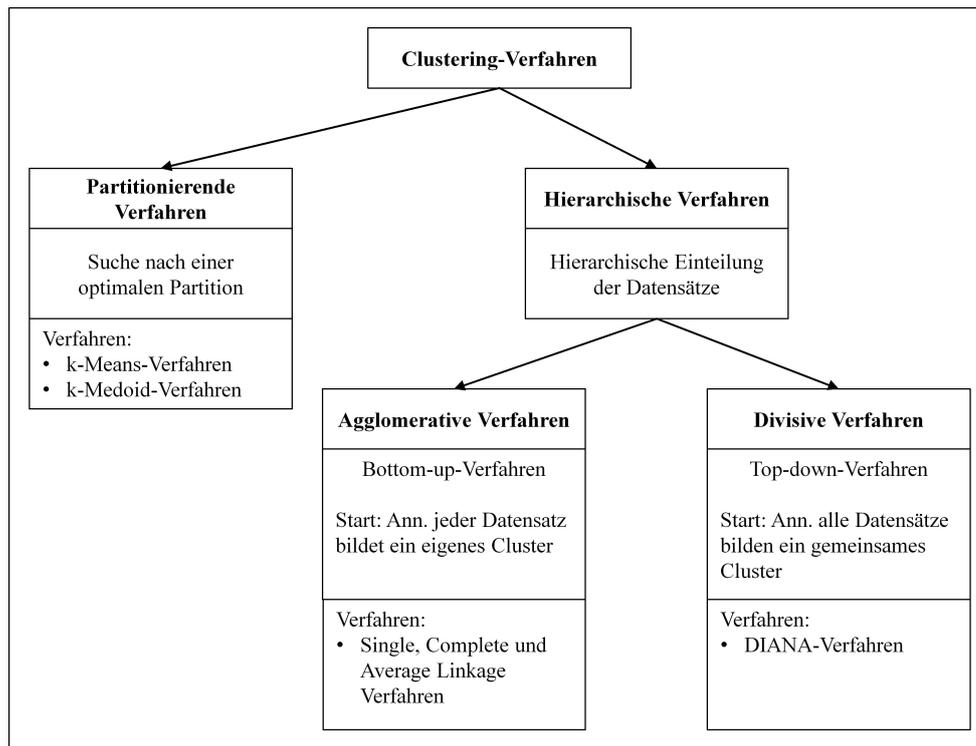


Abbildung 5.2: Einteilung der Clustering-Verfahren i. A. a. [PETERSOHN, 2005, S. 26 ff.]

keine Abhängigkeiten zwischen den Attributen bzw. Attributwerten bekannt sind. Diese Annahme unterscheidet die Verfahren von den Verfahren der Regression, bei denen abhängige Variablen mit unabhängigen Variablen funktional beschrieben werden und somit Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Attributen vorab bekannt sind, vgl. [BEEKMANN und CHAMONI, 2006, S. 266]. Bei den Verfahren der Abhängigkeitsanalyse werden Zusammenhänge aufgedeckt, die aber nicht zwingend Abhängigkeiten (Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge) sein müssen. Daher muss anschließend geprüft werden, ob wirklich Abhängigkeiten zwischen den Attributen bzw. Attributwerten bestehen. Wenn tatsächliche Abhängigkeiten (Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge) aufgedeckt wurden, können diese zu Prognosemodellen erweitert werden, vgl. [BEEKMANN und CHAMONI, 2006, S. 266].

Es gibt verschiedene Verfahren, die Zusammenhänge entweder graphisch oder quantitativ beschreiben, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 15]. In Tabelle 5.2 ist eine Auswahl der Verfahren dargestellt. Die Verfahren sind nach grafischen und quantitativen Verfahren unterteilt und es wird für jedes Verfahren angegeben, welches Ziel verfolgt wird, ob Zusammenhänge in verschiedenen Attributen oder in Attributwerten gesucht werden sowie welche Skalentypen erlaubt sind. Weiterhin werden für die Verfahren Beispiele für Algorithmen bzw. Maße angegeben. Graphische Verfahren, wie das Streudiagramm und die Streudiagramm-Matrix eignen sich zur Visualisierung von mindestens zwei verschiedenen Attributen mit metrischem Skalentyp, vgl. [CRAMER und KAMPS, 2014, S. 91-117]. Zur Identifizierung von Assoziationsregeln in Werten eines nominal skalierten Attributs eignet sich die Assoziationsanalyse. Wenn Taxonomien oder der Zeitpunkt des Eintreffens mit einbezogen werden soll, müssen spezielle Verfahren

Tabelle 5.2: Auswahl von Verfahren der Abhängigkeitsanalyse i. A. a. [FAYYAD et al., 1996b, S. 15 f.], [HPP, 2004, S. 64 ff.], [PETERSOHN, 2005, S. 28 ff.], [BEEKMANN und CHAMONI, 2006, S. 266], [DONG und PEI, 2007, S. 15-20] und [CRAMER und KAMPS, 2014, S. 91-117]

Darstellungsebene	Methode	Ziel	Zusammenhänge zwischen	Skalentyp	Algorithmen, Maße
Graphische Verfahren	Streudiagramm	Visualisierung von Zusammenhängen	zwei Attributen	Metrisch	
	Streudiagramm-Matrix	Visualisierung von Zusammenhängen	mehr als zwei Attributen	Metrisch	
Quantitative Verfahren	Assoziationsanalyse	Assoziationsregeln	Werten eines Attributs	Nominal	AIS-Algorithmus, Apriori-Algorithmus, Frequent Pattern growth (FP-growth)
	Assoziationsanalyse mit Berücksichtigung von Taxonomien	Assoziationsregeln unter Berücksichtigung von Taxonomien	Werten eines Attributs mit Taxonomie	Nominal	Multiple Level (ML), Basic, Cumulate
	Assoziationsanalyse mit Zeitbezug	Sequenzielle Assoziationsregeln	Werten eines zeitbezogenen Attributs	Nominal	Modifizierter Apriori-Algorithmus (GSP)
	Zusammenhangsmaße	Stärke des Zusammenhangs	Verschiedenen Attributen	Nominal	Kontingenztafel, Bedingte Häufigkeiten, $\chi^2$ -Größe
				Ordinal	Korrelationskoeffizient von Bravais-Pearson
				Metrisch	Empirische Kovarianz, Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

zur Assoziationsanalyse angewendet werden, vgl. [HIPPEL, 2004, S. 15-22], [PETERSOHN, 2005, S. 101-130], [BEEKMANN und CHAMONI, 2006, S. 276 ff.] und [DONG und PEI, 2007, S. 15-20]. Weiterhin ist es möglich, für verschiedene Attribute mit nominalen, ordinalen oder metrischen Skalentypen die Stärke des Zusammenhangs über Zusammenhangsmaße zu bestimmen, vgl. [CRAMER und KAMPS, 2014, S. 91-117]. Zur Visualisierung der Stärke des Zusammenhangs bei stochastischen Prozessen werden probabilistische Netze, wie Markov- und Bayes-Netze verwendet, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 15 f.] und [BEIERLE und KERN-ISBERNER, 2006, S. 350-409].

### Abweichungserkennung

Ziel der Methoden der Abweichungserkennung, auch Anomalieerkennung genannt, ist die Aufdeckung von Ausreißern in den Datensätzen. Ausreißer sind einzelne oder auch mehrere Datensätze, die vom Trend oder auch der Struktur der Daten abweichen, vgl. [FAYYAD et al., 1996b, S. 16] und [BERTHOLD et al., 2010, S. 11]. Die Methoden der Abweichung überschneiden sich mit den Methoden der Klassifikation (überwachtes Lernen) und den Methoden des Clusterings (nicht-überwachtes Lernen). Entweder ist vorher definiert, was ein Ausreißer darstellt (überwachtes Lernen) oder mit Hilfe aller Datensätze sollen einzelne Ausreißer erkannt werden, die nicht der Struktur der anderen entsprechen (unüberwachtes Lernen), vgl. [CHANDOLA et al., 2009, S. 10]. Methoden zur Abweichungserkennung aus der Klassifikation ist z. B. das Multi-class Anomaly Detection Verfahren und aus dem Clustering z. B. die Nearest Neighbour Analyse. Aber auch die Berechnung der statistischen Verteilungen der Daten, kann dabei helfen Ausreißer zu identifizieren, vgl. [CHANDOLA et al., 2009, S. 18-35].

Die vorgestellten sechs Verfahrensgruppen können je nach Anwendungsfall verschiedene Aufgaben lösen. In [BERTHOLD et al., 2010, S. 12] wird dargestellt welche Verfahrensgruppen bei welchen Aufgabenklassen angewendet werden können. Es wird zwischen drei Aufgabenklassen unterschieden, der Mustersuche, der Erklärungsfindung und der Vorhersage. Bei der Mustersuche ist das Ziel in unbekanntem Daten Zusammenhänge aufzudecken, so dass der Analyst einen Gesamtüberblick über die Datenmenge erhält. Zur Mustersuche können Verfahren aus der Gruppe des Clusterings, der Zusammenfassung, der Abhängigkeitsanalyse und der Abweichungserkennung angewendet werden. Die zweite Aufgabenklasse ist die Erklärungsfindung, die den Schwerpunkt der Analyse auf die Attribute der Datensätze legt. Dabei sollen Abhängigkeiten aufgedeckt werden, die neues Wissen über die Daten generieren und so bei dem Prozess der Entscheidungsfindung unterstützen können. Methoden der Klassifikation, Zusammenfassung, Regression, Abhängigkeitsanalyse und Abweichungserkennung können dazu verwendet werden. Die dritte Klasse bildet die Vorhersage, die als Ziel die Bestimmung von zukünftigen oder fehlenden Werten hat. Dazu können Methoden der Klassifikation und Regression angewendet werden, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 12]. In Tabelle 5.3 ist dargestellt, welche Verfahrensgruppen bei welchen Aufgabenklassen unterstützen können.

Tabelle 5.3: Zusammenhang zwischen Aufgabenklassen und Verfahrensgruppen i. A. a. [BERTHOLD et al., 2010, S. 12]

<b>Aufgabenklasse</b>	<b>Verfahrensgruppen</b>
Mustersuche	Clustering, Zusammenfassung, Abhängigkeitsanalyse, Abweichungserkennung
Erklärungsfindung	Klassifikation, Regression, Zusammenfassung, Abhängigkeitsanalyse, Abweichungserkennung
Vorhersage	Klassifikation, Regression

## **5.5 Anwendung der Methoden des KDD zur Analyse von logistischen Zustands- und Ereignisdaten**

Im Folgenden werden ausgewählte Methoden der Datenanalyse aus den Verfahrensgruppen Zusammenfassung, Klassifikation, Abhängigkeitsanalyse und Clustering vorgestellt, die zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte angewendet werden. Am Ende des Kapitels werden diese nach den Kriterien Eingabe, Methode und Ausgabe in einer Auswahltabelle systematisch aufbereitet.

### **5.5.1 Zusammenfassung von Zustands- und Ereignisdaten zu Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen**

Die Zusammenfassung von Datensätzen in Form von Visualisierung und Kennzahlenberechnung dient zur kompakten Beschreibung der Zustands- und Ereignisdaten und unterstützt bei der Suche nach einer Struktur in den Daten und zur Bewertung der Leistung des logistischen Systems. Zusätzlich können durch die Vereinigung von Zustands- und Ereignisdaten Situationen erzeugt werden, die einen größeren Informationsgehalt besitzen als ein einzelnes Ereignis oder ein Zustand. Außerdem können Mengen und Folgen von Attributwerten gebildet werden, sogenannte Transaktionen und Sequenzen, mit denen Aussagen über das Verhalten der logistischen Objekte getroffen werden können.

#### **Vereinigung von Zustands- und Ereignisdaten zu Situationen**

Ein einzelnes Ereignis sagt aus, wie sich der Zustand eines logistischen Objekts zu einem Zeitpunkt verändert. Ein Zustand beschreibt die aktuellen Attributwerte. Diese Informationen allein genügen nicht, um Aussagen über das Verhalten des logistischen Objekts und Systems zu treffen. Daher definiert TOLUJEW den Begriff Situation, der „eine Kombination aus dem aktuellen Zustand des Systems und einem aufgetretenen Ereignis“ [TOLUJEW und REGGELIN, 2006, S. 365] beschreibt. Aus den Ereignis- und Zustandsdaten können somit Situationen erzeugt werden, die als eine Vereinigung eines Ereignisdatensatzes zu einem Zeitpunkt mit der Menge aller Zustandsdaten zu diesem Zeitpunkt verstanden werden können. Seien

$O_1, \dots, O_n$  Objektmengen eines logistischen Systems, von deren Elementen (Objekten) Zustands- und Ereignisdaten vorliegen. Dann ist eine Situation zu einem beliebigem Ereignis  $E_A(o_i, t)$  eines Objekts  $o_i \in O_i$ , mit  $1 \leq i \leq n$ , für ein Attribut  $A$  zum Zeitpunkt  $t$  wie folgt definiert:

$$\{E_A(o_i, t)\} \cup \{Z(o_j, t) \mid o_j \in O_j, \forall 1 \leq j \leq n\}. \quad (5.6)$$

Durch Einschränkung der Zustandsdatenmenge auf eine Teilmenge, lassen sich auch vordefinierte Situationen bilden, die ein Ereignis eines Objekts in Kombination zu Zuständen ausgewählter Objekte setzen. Eine Situation kann z. B. das Eintreffen eines LKW auf einem Lagergelände sein (Ereignis) zusammen mit dem Zuständen, dass sich keine weiteren LKW auf dem Lagergelände befinden, vgl. [TOLUJEW et al., 2007, S. 228 f.]. Aus der Kombination eines Ereignisses und den aktuellen Zuständen anderer Objekte lassen sich somit Zusammenhänge zwischen den Objekten aufdecken, die nicht allein aus den Zustands- oder Ereignisdaten gewonnen werden können.

### Darstellung von Transaktionen und Sequenzen aus Zustands- und Ereignisdaten

Alle Zustands- und Ereignisdaten eines logistischen Objekts in einem Zeitraum  $T$  beschreiben je nach definierten Attributen das räumliche, sachliche und qualitätsbezogene Verhalten des Objekts im logistischen System in dem Zeitraum. Daraus lassen sich Sequenzen von Attributwerten ableiten, die eine zeitlich sortierte Folge der Attributwerte darstellen. Seien  $t_1, \dots, t_n \in T, n \in N$ , Zeitpunkte zu denen genau  $n$  Ereignisse  $E_A(ID, t_1), \dots, E_A(ID, t_n)$  für ein logistisches Objekt  $ID$  im Attribut  $A$  eingetreten sind, dann bildet die endliche Folge:

$$A(ID, t_1), \dots, A(ID, t_n) \quad (5.7)$$

eine Sequenz der Attributwerte des logistischen Objekts. Eine Sequenz kann z. B. dazu genutzt werden den Weg eines Objekts durch das logistische System oder den Prozessablauf zu beschreiben. Dazu werden die Werte des Attributs Ort oder des Attributs Status (beschreibt den aktuellen Prozessschritt) über einen bestimmten Zeitraum als Folge abgebildet, z. B. ist die Folge *Lager A, Transportkanal B, Lager C, Transportkanal D* eine Sequenz im Attribut Ort und *Transport, Entladung, Beladung, Transport* eine Sequenz im Attribut Status. Ist die Sequenz nicht nach der Zeit oder einer spezifischen Reihenfolge geordnet und kommt jedes Element in der Sequenz nur einmal vor, bildet eine Sequenz eine Transaktion. Sequenzen und Transaktionen werden häufig zur Identifikation von Assoziationsregeln verwendet.

### Berechnung von Kennzahlen aus Zustands- und Ereignisdaten

Eine weitere Methode zur Zusammenfassung von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte ist die Berechnung von Kennzahlen. Dabei sind Kennzahlen „ein Werkzeug zur quantitativen Erfassung betrieblicher Abläufe und zur Darstellung aussagekräftiger Informationen zur Analyse und Steuerung

unternehmerischer Vorgänge“ [VDI4490, 2007, S. 14]. Je nach Bereich in einem Unternehmen und den damit verbundenen Prozessen, gibt es eine Vielzahl an möglichen Kennzahlen, von denen eine Auswahl in [VDI4490, 2007, S. 12-58] aufgelistet und nach Mengen- und Strukturdaten, Leistungskennzahlen, Qualitätskennzahlen und betriebswirtschaftlichen Kennzahlen sortiert ist.

In [SCHENK et al., 2006], [TOLUJEW und REGGELIN, 2006] und [TOLUJEW et al., 2007] ist dargestellt, wie einige dieser Kennzahlen aus den Ereignisdaten der logistischen Objekte gewonnen werden können. Dazu werden zuerst die logistischen Objekte, vgl. Kapitel 2.5, des betrachteten logistischen Systems ermittelt und nach den Objekttypen aus Tabelle 2.5 eingeteilt. Das kleinste logistische Objekt, welches nicht verschachtelt und bewegt ist, wird als Materialflussobjekt bezeichnet. Alle weiteren Objekte, die das Materialflussobjekt enthalten können, bilden Strukturkomponenten. Die bewegten und verschachtelten Objekte, wie z. B. ein LKW, sind je nach Betrachtungsebene Strukturkomponenten oder selbst Materialflussobjekte. In der kleinsten Ebene, bei der das Materialflussobjekt ein nicht-verschachteltes Objekt ist, bildet ein bewegtes, verschachteltes Objekt eine Strukturkomponente, denn ein LKW (verschachtelt und bewegt) kann ein Paket (Materialflussobjekt, nicht-verschachtelt und bewegt) enthalten. Auf der nächsthöheren Ebene aber, wird das verschachtelte und bewegte Objekt als Materialflussobjekt betrachtet und kann selbst verschiedene Strukturkomponenten belegen. Dies ist z. B. für den LKW der Fall, wenn seine Route zwischen zwei Umschlagknoten in Form von Strukturkomponenten abgebildet wird.

In [SCHENK et al., 2006], [TOLUJEW und REGGELIN, 2006] und [TOLUJEW et al., 2007] werden nur Ereignisse der Materialflussobjekte, die eine Positionsänderung repräsentieren, betrachtet. Zur grafischen Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Objekten auf den verschiedenen Ebenen bietet sich eine Netzstruktur an, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 28]. In Abbildung 5.3 sind Netzstrukturen der ersten und zweiten Ebene für ein exemplarisches Beispiel dargestellt. In der ersten Ebene sind die Materialflussobjekte Güter, die mit zwei verschiedenen LKW zu einem Lager hin oder weg transportiert werden. Die Knoten der Netzstruktur bilden die Strukturkomponenten (LKW und Lager) und die Kanten zeitlose Übergänge der Materialflussobjekte, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 28]. In der zweiten Ebene sind die Materialflussobjekte die LKW, die über je zwei verschiedene Transportkanäle zum Lager hin und wieder weg fahren können. In diesem Fall sind die Strukturkomponenten das Lager und die Transportkanäle. Beide Ebenen sind eng mit einander verbunden, denn wenn ein Gut in einem LKW enthalten ist, durchläuft dieses zusammen mit dem LKW das Netz des LKW. Welche Route die Materialflussobjekte im realen Netz durchlaufen, hängt von der Steuerung sowie von möglichen Störgrößen des Systems ab.

Anschließend muss im realen System geprüft werden, an welchen Stellen Ereignisse aufgenommen werden und diese dann in Form von Messpunkten in der Netzstruktur eingezeichnet werden. In [SCHENK et al., 2006, S. 28] werden zwei verschiedene Typen von Messpunkten definiert. Messpunkte vom Typ 1 stehen am Eingang bzw. Ausgang einer Strukturkomponente und erfassen die ankommenden bzw. abgehenden Materialflussobjekte. Dabei ist es nicht möglich zu erfassen von welcher Strukturkomponente das Objekt kommt bzw. zu welcher es übergeht, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 29]. Dies könnten z. B. RFID-Gates am Eingang bzw. Ausgang eines Lager sein, die passive Transponder an den Materialflussobjekten auslesen und somit die ankommenden und abgehenden Objekte aufzeichnen. Ein Ereignis, das mit Hilfe eines solchen Messpunkts aufgenommen wird, wird in [SCHENK et al., 2006, S. 28 f.] als elementares Ereignis

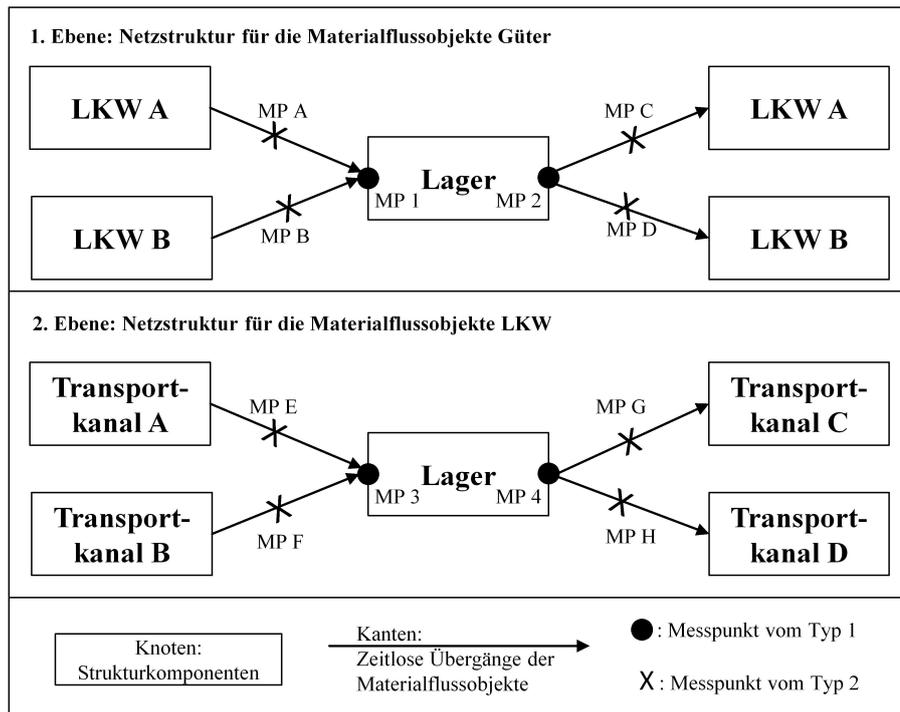


Abbildung 5.3: Exemplarische Netzstruktur für die Materialflussobjekte Güter (1. Ebene) sowie Materialflussobjekte LKW (2. Ebene) i. A. a. [SCHENK et al., 2006, S. 33]

bezeichnet. Ein elementares Ereignis für ein Materialflussobjekt  $mfo$ , das zum Zeitpunkt  $t$  an bzw. von einer Strukturkomponente  $com$  ankommt  $in$  bzw. abgeht  $out$ , wird wie folgt dargestellt:

$$(t, mfo, com, ev), \quad (5.8)$$

mit  $ev \in \{in, out\}$ , vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 28].

Messpunkte vom Typ 2 erfassen nicht nur die Strukturkomponente, an der das Materialflussobjekt ankommt bzw. von der es abgeht, sondern auch die vorherige bzw. nachfolgende. Deswegen liegen die Messpunkte auf den Kanten, siehe Abbildung 5.3. Die an diesen Messpunkten erfassten Ereignisse werden komplette Ereignisse genannt und haben für ein Materialflussobjekt  $mfo$ , das zum Zeitpunkt  $tt$  von der Strukturkomponente  $com_1$  zu einer nachfolgenden Strukturkomponente  $com_2$  übergeht, folgende Form:

$$(tt, mfo, com_1, com_2), \quad (5.9)$$

vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 29]. Die kompletten Ereignisse entsprechen der Definition von Ereignissen aus Kapitel 5.3. Die Zustandsfunktion der hier betrachteten Materialflussobjekte  $mfo \in MFO$  beinhaltet nur ein Attribut, die Attributsfunktion des Orts  $A_{Ort}$ , und ist gleich dieser Attributsfunktion. Für beide

Funktionen gilt somit folgende Darstellung:

$$\begin{aligned} A_{Ort} = z : MFO \times T &\longrightarrow W \\ (mfo, tt) &\longmapsto A_{Ort}(mfo, tt), \end{aligned} \quad (5.10)$$

wobei  $W$  die Menge der Strukturkomponenten bezeichnet. Der Graph der Zustandsfunktion  $G(z) = \{(mfo, tt, A_{Ort}(mfo, tt)) | mfo \in MFO, tt \in T\}$  beinhaltet als Werte die Zustände der Materialflussobjekte über den betrachteten Zeitraum  $T$ . Die Ereignisfunktion zur Zustandsfunktion  $z$  und somit auch zur Attributsfunktion  $A_{Ort}$  hat nach Gleichung 5.4 folgende Form:

$$\begin{aligned} e_{A_{Ort}} : MFO \times T &\longrightarrow W \times W \\ (mfo, tt) &\longmapsto (A_{Ort}(mfo, tt - 1), A_{Ort}(mfo, tt)), \end{aligned} \quad (5.11)$$

wobei mit  $tt - 1 \in T$  der Zeitpunkt der letzten Änderung des Attributs Ort gemeint ist und somit die Attributsfunktion die vorherige Strukturkomponente als Wert ausgibt. Der Graph der Ereignisfunktion  $G(e_{A_{Ort}}) = \{(mfo, tt, e_{A_{Ort}}(mfo, tt)) | mfo \in MFO, tt \in T\}$  beinhaltet als Werte die Ereignisse der Materialflussobjekte, die den kompletten Ereignissen entsprechen. Für elementare Ereignisse lässt sich aus den bisherigen Definitionen der vorliegenden Arbeit keine konkrete Darstellung beschreiben. Jedoch lassen sich die Zeitpunkte des Auftretens von elementaren Ereignissen aus den Ereignissen zum Attribut Inhalt der Strukturkomponenten ableiten. Wenn ein Materialflussobjekt eine Strukturkomponente betritt, ändert sich das Attribut Inhalt der Strukturkomponente von 0, kein Inhalt, zu  $mfo$ , beim Austritt aus der Strukturkomponente ändert sich der Attributwert entsprechend umgekehrt. Dadurch können elementare Ereignisse implizit gewonnen werden.

Zur Bestimmung von Kennzahlen werden die Zeitpunkte benötigt, an denen die entsprechenden Ereignisse eingetreten sind, daher werden diese wie folgt definiert:

$$t(mfo, com, ev) \quad \text{Zeitpunkt, zu dem das Materialflussobjekt } mfo \text{ an der Strukturkomponente } com \text{ eingetroffen ist (d. h. } ev = in \text{) bzw. diese verlassen hat (d. h. } ev = out \text{),} \quad (5.12)$$

$$tt(mfo, com_1, com_2) \quad \text{Zeitpunkt, zu dem das Materialflussobjekt } mfo \text{ von der Strukturkomponente } com_1 \text{ zur Strukturkomponente } com_2 \text{ übergegangen ist,} \quad (5.13)$$

vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 29]. Auf Basis von elementaren und kompletten Ereignissen, sowie der Definition der Zeitpunkte lässt sich eine Reihe von Kennzahlen bestimmen.

**Kennzahlen für verschachtelte Objekte (Strukturkomponenten)** Verschachtelte Objekte können andere Objekten enthalten, deswegen sind für diese Objekte Kennzahlen interessant, welche deren Bestände zu bestimmten Zeitpunkten beschreiben sowie Aussagen über die Verteilung der Warenmenge im Ein- und Ausgang der Strukturkomponente treffen. Dabei können verschachtelte Objekte sowohl stationär als auch bewegt sein, denn für bewegte Objekte, wie z. B. einem LKW, entspricht der Laderaum

einem bewegten Lager. Die verschachtelten Objekte entsprechen durch die ankommenden und abgehenden Objekte sowie deren Speicher einem Trichter, weswegen hier das Trichtermodell angewendet werden kann, vgl. [TOLUJEW et al., 2007, S. 226]. Beim Trichtermodell wird mit Hilfe der Größen Zugang, Bestand und Abgang das Verhalten der verschachtelten Objekte beschrieben, vgl. [NYHUIS und WIENDAHL, 2012, S. 25 f.].

Der Zugang aller Materialflussobjekte einer verschachtelten Strukturkomponente  $com_1$  zu einem Zeitpunkt  $t$  in einem Zeitraum  $[t_0, \tilde{t}] \subset T$  lässt sich wie folgt bestimmen:

Es wird angenommen, dass im Zeitraum  $[t_0, \tilde{t}]$   $n$  elementare Ereignisse ( $n \in \mathbb{N}$ ) der Form  $(t, mfo, com_1, in)$ , mit  $mfo \in MFO$  und  $t \in [t_0, \tilde{t}]$ , aufgetreten sind. Aufgrund der Definition von elementaren Ereignissen ist die Zugangsmenge  $X_{ZU}$  pro elementares Ereignis gleich eins. Seien  $t_1 := t(mfo_1, com_1, in), \dots, t_n := t(mfo_n, com_1, in)$  die Zeitpunkte, zu denen  $n$  Materialflussobjekte  $mfo_1, \dots, mfo_n \in MFO$  die Strukturkomponente  $com_1$  betreten haben, mit der Bedingung, dass  $t_1 < \dots < t_n \in T$  gilt. Dann lässt sich der Zeitraum  $[t_0, \tilde{t}]$  partitionieren in  $[t_0, t_1) \cup [t_1, t_2) \cup \dots \cup [t_n, \tilde{t}]$  und für den Zugang  $ZU$  zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t \in [t_0, \tilde{t}]$  gilt folgender Zusammenhang:

$$ZU(t) = \begin{cases} 0, & \text{für } t \in [t_0, t_1) \\ ZU(t_0) + 1 = 1, & \text{für } t \in [t_1, t_2) \\ ZU(t_1) + 1 = 2, & \text{für } t \in [t_2, t_3) \\ \vdots & \vdots \\ ZU(t_{n-1}) + 1 = n, & \text{für } t \in [t_n, \tilde{t}]. \end{cases} \quad (5.14)$$

Damit entspricht der Zugang in einem Zeitpunkt  $t$  der Anzahl an elementaren Ereignissen, die zuvor an dem Messpunkt vom Typ 1 im Eingang der Strukturkomponente gemessen wurden.

Der Abgang aller Materialflussobjekte einer verschachtelten Strukturkomponente  $com_1$  zu einem Zeitpunkt  $t$  in einem Zeitraum  $[t_0, \tilde{t}] \subset T$  lässt sich analog bestimmen. Hier werden die elementaren Ereignisse betrachtet, die folgende Form haben:  $(t, mfo, com_1, out)$ , mit  $mfo \in MFO$  und  $t \in [t_0, \tilde{t}]$ . Daraus ergibt sich für den Abgang  $AB$ , mit analogen Bedingungen wie oben, zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t \in [t_0, \tilde{t}]$  folgender Zusammenhang:

$$AB(t) = \begin{cases} 0, & \text{für } t \in [t_0, t_1) \\ AB(t_0) + 1 = 1, & \text{für } t \in [t_1, t_2) \\ AB(t_1) + 1 = 2, & \text{für } t \in [t_2, t_3) \\ \vdots & \vdots \\ AB(t_{n-1}) + 1 = n, & \text{für } t \in [t_n, \tilde{t}]. \end{cases} \quad (5.15)$$

Aus dem Zugang und dem Abgang lässt sich der Bestand  $B$  zu einem Zeitpunkt  $t \in [t_0, \tilde{t}]$  wie folgt berechnen:

$$B(t) = ZU(t) - AB(t) + B_0, \quad (5.16)$$

wobei  $B_0 := B(t_0)$  der Anfangsbestand zum Zeitpunkt  $t_0$  ist, der mit Hilfe von Vergangenheitsdaten bestimmt werden kann. Die drei dynamischen Größen (Prozesse) Zugang, Bestand und Abgang lassen sich in einem Durchlaufdiagramm grafisch abbilden, vgl. [NYHUIS und WIENDAHL, 2012, S. 26]. Die Berechnung dieser dynamischen Größen wurde mit der Notation von TOLUJEW gezeigt, lässt sich aber auf die Notation aus Kapitel 5.3 analog übertragen.

Die drei dynamischen Größen können auch nur für eine bestimmte Teilmenge von Materialflussobjekten bestimmt werden. Dann dürfen bei der Betrachtung der elementaren Ereignisse nur diejenigen berücksichtigt werden, die zu diesen Materialflussobjekten gehören.

Weiterhin ist für verschachtelte Objekte interessant, in welchen zeitlichen Abständen die Materialflussobjekte eintreffen bzw. abgehen und damit die Verweildauer einzelner Objekte in den Strukturkomponenten. Die Berechnung dieser Kennzahl lässt sich an dem exemplarischen Beispiel aus Abbildung 5.3 (1. Ebene) gut verdeutlichen und erfolgt nach [SCHENK et al., 2006, S. 29]. Der Zugang, Bestand und Abgang wird mit elementaren Ereignissen bestimmt, die in Messpunkten vom Typ 1 (Messpunkte MP1 und MP2) aufgenommen werden. Mit diesen Ereignissen lässt sich die Verweildauer  $\tau d$  eines Guts  $mfo$  für das Lager des exemplarischen Beispiels bestimmen, denn dabei spielt es keine Rolle zu welcher nachfolgenden Strukturkomponente das Materialflussobjekt übergeht oder bei welcher es zuvor war:

$$\tau d(\text{Lager}) = t(mfo, \text{Lager}, out) - t(mfo, \text{Lager}, in). \quad (5.17)$$

Das Zeitintervall  $\tau i$  zwischen zwei aufeinander folgenden Materialflussobjekten  $mfo_{k-1}$  und  $mfo_k$  im Eingang des Lagers lässt sich mit dem Messpunkt MP1 bestimmen:

$$\tau i(\text{Lager}) = t(mfo_k, \text{Lager}, in) - t(mfo_{k-1}, \text{Lager}, in). \quad (5.18)$$

Analog lässt sich das Zeitintervall  $\tau o$  zwischen zwei aufeinander folgenden Materialflussobjekten  $mfo_{k-1}$  und  $mfo_k$  im Ausgang des Lagers mit den Messpunkt MP 2 bestimmen:

$$\tau o(\text{Lager}) = t(mfo_k, \text{Lager}, out) - t(mfo_{k-1}, \text{Lager}, out). \quad (5.19)$$

Wenn das Zeitintervall zwischen zwei aufeinander folgenden Materialflussobjekten  $mfo_{k-1}$  und  $mfo_k$  in einer bestimmten Verbindung von Interesse ist, wie z. B. zwischen Lager und LKW B, so muss ein Messpunkt vom Typ 2 gewählt werden, im Beispiel der Messpunkt MP D. Es gilt dann folgender Zusammenhang:

$$\tau \tau(\text{Lager}, \text{LKWB}) = tt(mfo_k, \text{Lager}, \text{LKWB}) - tt(mfo_{k-1}, \text{Lager}, \text{LKWB}). \quad (5.20)$$

Diese verschiedenen Zeitintervalle können für mehrere Materialflussobjekte für bestimmte Beobachtungszeiten berechnet und als Verteilungen aufbereitet werden, vgl. [TOLUJEW et al., 2007, S. 226]. Analog können diese Kennzahlen auch für Strukturkomponenten und Materialflussobjekte der 2. Ebene bestimmt werden.

**Kennzahlen für bewegte Objekte (Materialflussobjekte)** Für die Materialflussobjekte sind Zugangs- und Abgangszeitpunkte sowie Verweildauern an allen Strukturkomponenten, die das Objekt durchläuft, interessant, vgl. [TOLUJEW et al., 2007, S. 224]. Diese lassen sich aus den elementaren Ereignissen ablesen bzw. durch Gleichung 5.17 berechnen. Die Lebensdauer der Materialflussobjekte ist eine weitere Kennzahl, die sich aus den Ereignisdaten berechnen lässt, vgl. [TOLUJEW et al., 2007, S. 224]. Sei  $com_1$  die Strukturkomponente, die das Materialflussobjekt erzeugt, und  $com_n$  die letzte Strukturkomponente, bei der das Objekt verbleibt. Dann kann die Lebensdauer wie folgt berechnet werden:

$$\tau D(mfo) = t(mfo, com_n, in) - t(mfo, com_1, out). \quad (5.21)$$

Speziell für bewegte und verschachtelte Objekte können mit Hilfe der Zugangs-, Abgangszeiten und Verweildauern der Materialflussobjekte Stillstandszeiten, Leerfahrten sowie die Auslastung bestimmt werden, vgl. [TOLUJEW und REGGELIN, 2006, S. 368] und [TOLUJEW et al., 2007, S. 225 f.]. Außerdem können Zeitintervalle zwischen Ereignissen mit spezifischen Inhalten (speziellen Lieferungen) berechnet und ausgewertet werden. Damit lassen sich z. B. Aussagen über spezielle Lieferungen sowie deren Zusammensetzung treffen, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 30] und [TOLUJEW et al., 2007, S. 227].

Die Kennzahlen der einzelnen bewegten Objekte zusammen mit denen der verschachtelten können dazu genutzt werden, Kennzahlen zu berechnen, die das gesamte System bewerten, wie z. B. Liefermengentreue, Liefertermintreue, Durchlaufzeit, Durchsatz, Umschlagdauer und Lieferfähigkeit. Weitere wichtige Kennzahlen zur Bewertung von Systemen sind in [KOCH, 2014, S. 211-216] zu finden. Weiterhin können die Zustands- und Ereignisdaten sowie die ermittelten Kennzahlen über Animationen und Zeitdiagramme grafisch aufbereitet werden, vgl. [SCHENK et al., 2006, S. 27].

### 5.5.2 Klassifikation von Zustands- und Ereignisdaten, Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen

Zur Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte aber auch Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen werden häufig Entscheidungsbäume als Methode der Klassifikation genutzt. Dazu wird zum einen nach spezifischen Zuständen, Ereignissen, Situation, Transaktionen oder Sequenzen gesucht oder ein Abgleich zwischen den Sollvorgaben und Ist-Werten durchgeführt. Ziel ist es genau die Datensätze zu filtern, die die vordefinierten Eigenschaften besitzen. Der Soll-Ist-Vergleich für Zustands- und Ereignisdaten wird im Folgenden detaillierter dargestellt, lässt sich aber auch analog für Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen durchführen.

## Soll-Ist-Vergleich

Zur Erfüllung der Zielstellungen eines logistischen Systems werden die Prozesse der logistischen Objekte vorab geplant und mit Meilensteinen (Sollvorgaben, expected events) versehen, vgl. [NISSEN, 2002, S. 478], [BRETZKE und KLETT, 2004, S. 151], [STEVEN und KRÜGER, 2004, S. 186] und [HEUSLER et al., 2006, S. 21]. Diese Sollvorgaben entsprechen den vordefinierten Führungsgrößen aus Kapitel 2.7.1 und müssen während der Ausführung der logistischen Prozesse zum richtigen Zeitpunkt bzw. im richtigen Zeitfenster erreicht werden. Die logistische Leistungserfüllung lässt sich messen und bewerten, indem kontinuierlich der aktuelle Zustand der logistischen Objekte mit den Soll-Zuständen verglichen wird. Entsprechen die Ist-Zustände der logistischen Objekte nicht den Soll-Zuständen, liegt eine Abweichung vor, vgl. [OTTO, 2003, S. 2] und [STÖLZLE und REICHE, 2012, S. 550]. Im Rahmen des Supply Chain Event Management gibt es eine Vielzahl verschiedener Konzepte zum Umgang und zur Bewertung von Abweichungen bei denen der Begriff Ereignis bzw. event unterschiedlich verwendet wird, vgl. [BENSEL et al., 2008, S. 5]. In dieser Arbeit bezeichnet ein Ereignis eine Änderung eines Attributwerts im Zustandsvektor eines logistischen Objekts, vgl. Kapitel 5.3. Dies bedeutet, dass Ereignisse Änderungen der Zustände der logistischen Objekte darstellen. Diese Definition von Ereignissen entspricht auch der Bedeutung von Ereignissen in [NISSEN, 2002, S. 478], [SCHENK et al., 2007a, S. 224] und [TOLUJEW et al., 2007, S. 218]. Da der Schwerpunkt des Supply Chain Event Managements darin besteht, Abweichungen zu melden, die kritisch für die Erreichung der Zielstellung des logistischen Systems sind, impliziert in diesem Fachgebiet der Begriff Ereignis eine Wertung. Ein kritisches Ereignis, auch event genannt, ist nach BRETZKE und KLETT eine Abweichung zwischen Ist- und Soll-Zustand, die bei Adressaten einen Handlungsimpuls erzeugt (Wesentlichkeit) sowie kontextabhängig ist, d. h. nicht für jeden Adressaten die gleiche Bedeutung hat, vgl. [BRETZKE, 2002, S. 28 f.] und [BRETZKE und KLETT, 2004, S. 151]. In [HEUSLER et al., 2006, S. 21] und [STÖLZLE und REICHE, 2012, S. 550] wird unter einem kritischen Ereignis (event) eine Abweichung des Ist- vom Soll-Zustand verstanden. Jedoch ist dieses nur kritisch, wenn Toleranzgrenzen über- bzw. unterschritten werden. Zusätzlich zu den Soll-Werten werden Toleranzbereiche definiert, in denen Abweichungen noch keine kritischen Ereignisse sind. Diesbezüglich wird zwischen positiven (Abweichung nach unten) und negativen (Abweichung nach oben) Ereignissen unterschieden. Es wird angenommen, dass positive Ereignisse Handlungsspielräume schaffen, wohingegen negative Ereignisse Handlungszwänge erzeugen. Dieser Folgerung stimmt BENSEL nicht zu, sondern definiert die Wirkungsrichtung als eine weitere Dimension zur Einteilung von Events, vgl. [BENSEL et al., 2008, S. 12]. Denn eine Abweichung in positiver Richtung (z. B. zu frühe Lieferung) hat nicht immer positive Auswirkungen auf den Prozess. Eine Bewertung der Abweichung in positiver oder negativer Richtung ist nur möglich, wenn der Skalentyp des Wertebereichs des betrachteten Attributs mindestens ordinal ist.

Weiterhin gibt es Ansätze, bei denen Ereignisse wesentliche Statusänderungen sind, aber nicht gleichzeitig Abweichungen von Soll-Zuständen sein müssen, vgl. [BENSEL et al., 2008, S. 9]. In diesem Fall werden Ereignisse unterschieden in konfirmatorische Ereignisse, d. h. eine „Bestätigung des planmäßigen Ablaufs eines Prozesses“ [BENSEL et al., 2008, S. 11], sowie alarmierende Ereignisse, d. h. aus-

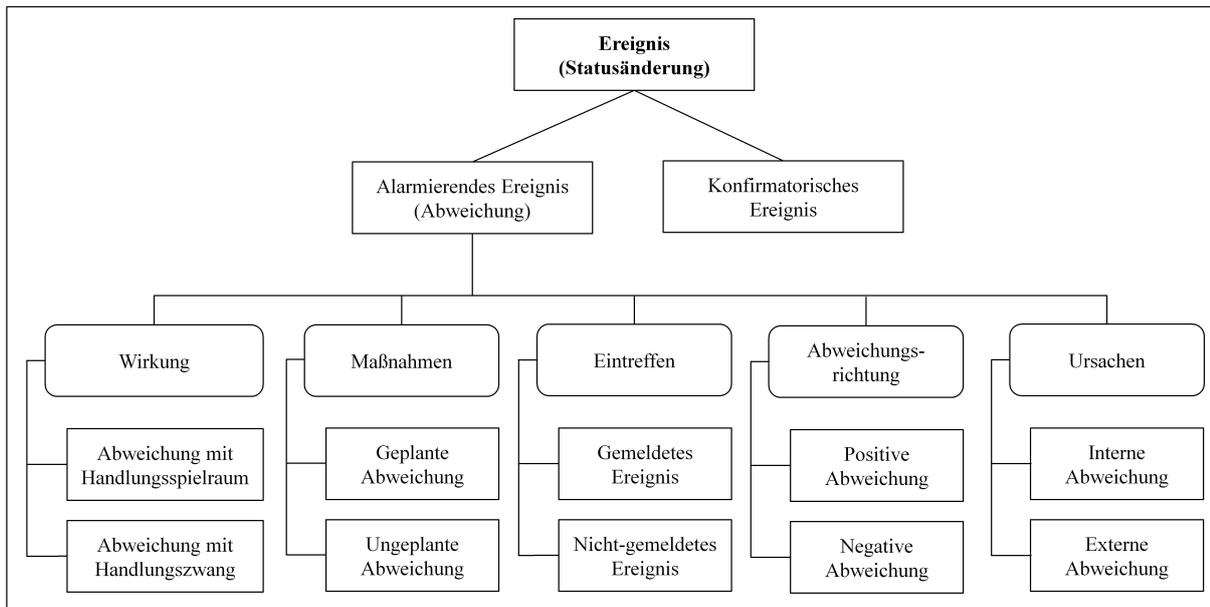


Abbildung 5.4: Kategorien zur Einteilung von Ereignissen i. A. a. [HEUSLER et al., 2006, S. 21 f.], [BAADER und MONTANUS, 2008, S. 5], [BENSEL et al., 2008, S. 9-13] und [STÖLZLE und REICHE, 2012, S. 550 f.]

bleibende konfirmatorische Ereignisse, vgl. [BENSEL et al., 2008, S. 11]. Alarmierende Ereignisse sind Abweichungen, für die eine Unterteilung in den Dimensionen der Abweichungs- sowie Wirkungsrichtung vorgenommen werden kann. Weiterhin unterteilen BAADER und MONTANUS alarmierende Ereignisse noch in gemeldete und nicht gemeldete Ereignisse. Denn es spielt eine Rolle, ob der Prozesszustand überhaupt eingetreten ist, vgl. [BAADER und MONTANUS, 2008, S. 5]. Diese Unterscheidung bezieht sich nur auf Meilensteine im Prozessablauf, d. h. wenn spezifische Zustände der logistischen Objekte zur logistischen Leistungserstellung erreicht werden müssen.

Alarmierende Ereignisse können außerdem dahingehend eingeteilt werden, ob bei deren Eintreffen Standardvorgehensweisen bzw. Handlungsempfehlungen zur Beseitigung der Störungen zuvor bekannt sind oder nicht. Wenn Handlungsalternativen vorhanden sind, wird von geplanten Ereignissen gesprochen ansonsten von ungeplanten, vgl. [HEUSLER et al., 2006, S. 22] und [STÖLZLE und REICHE, 2012, S. 550 f.]. Außerdem kann eine Einteilung nach Ursachen durchgeführt werden. Standard-Ereignisse, auch interne Ereignisse genannt, sind durch interne Störungen verursacht und können somit zukünftig vermieden werden. Nicht-Standard-Ereignisse (externe Ereignisse) werden durch äußere Störungen erzeugt und können nur schwer verhindert werden, vgl. [HEUSLER et al., 2006, S. 22], [BENSEL et al., 2008, S. 13] und [STÖLZLE und REICHE, 2012, S. 551]. In Abbildung 5.4 sind die einzelnen Kategorien der Zustandsänderungen (Ereignisse) grafisch dargestellt. Mit Hilfe dieser Einteilungen können alarmierende Ereignisse während der Planung der Prozesse definiert und hinsichtlich ihrer Wirkungsrichtung sowie Maßnahmen kategorisiert werden. Vorab sollen so viele geplante Ereignisse wie möglich identifiziert werden, sodass während der Ausführung der Prozesse, keine ungeplanten Ereignisse mehr auftreten. Für die geplanten alarmierenden Ereignisse müssen Handlungsalternativen festgelegt werden, die an den Kategorien Eintreffen und Abweichungsrichtung ausgerichtet sein sollten. Es ist wichtig, dass für alle drei Kombinationen gemel-

detes positives Ereignis, gemeldetes negatives Ereignis und nicht-gemeldetes Ereignis Handlungsalternativen je nach Handlungszwang oder Handlungsspielraum definiert werden. Mittels Vergangenheitsdaten können Ursachen analysiert und je nachdem, ob es interne oder externe waren, Verbesserungen in den Prozessen eingeführt werden. Ein konzeptioneller Ansatz, SChEMA genannt, zur Charakterisierung von Ereignissen nach geplanten und ungeplanten Ereignissen sowie hinsichtlich ihrer Auftrittswahrscheinlichkeit ist in [ALVARENGA und SCHOENTHALER, 2003] zu finden. Es werden Handlungsempfehlungen gegeben, wie mit Hilfe von Event Performance Grids und Verschiebungsanalysen ungeplante Ereignisse zu geplanten und deren Auftrittswahrscheinlichkeiten gesenkt werden können. Beispiele von Soll-Ist-Vergleichen zur Implementierung von automatisierten Bestellregeln, automatischen Benachrichtigungen bei Out-of-Stock Situationen, fehlerhaften Lieferungen oder falscher Verladung sowie potenziellen Diebstahls sind für eine Supply Chain in [MELSKI und SCHUMANN, 2008, S. 155 ff.] dargestellt.

Der Soll-Ist-Vergleich für ein Ereignis zu einem bestimmten Zeitpunkt kann mit einem Entscheidungsbaum abgefragt werden. Die Merkmale mit einem maximalen Informationsgewinn müssen als erstes abgefragt werden, um informationstheoretisch den besten Entscheidungsbaum zu erhalten, vgl. [RUNKLER, 2010, S. 101].

### **Abfragen von spezifischen Ereignissen, Zuständen und Situationen**

Da Ereignisse und Zustände häufig in einer relationellen Datenbank vorliegen, eignen sich für Abfragen relationelle Anfragesprachen, wie z. B. SQL (vgl. [KEMPER und EICKLER, 2011, S. 111-158]). Es können aber auch Entscheidungsbäume genutzt werden, wenn z. B. eine kontinuierliche Filterung einer Menge von spezifischen Ereignissen, Zuständen und Situationen gewünscht ist. Die Inhalte der Abfragen können beliebig gewählt werden, jedoch sollten die Ereignisse und Zustände diese auch beantworten können. Daher ist es wichtig zu prüfen, welche Inhalte aus den vorhandenen Daten gewonnen werden können (Analyse) sowie welche Daten benötigt werden, um die gewünschten Fragen zu beantworten (Synthese), vgl. [TOLUJEW und REGGELIN, 2006, S. 362].

### **5.5.3 Abhängigkeitsanalyse in Zustands- und Ereignisdaten**

Die Anwendung der Methoden der Abhängigkeitsanalyse für metrische Daten ist weit verbreitet und wird dazu verwendet Korrelationen zwischen verschiedenen Attributen aufzudecken. Die Assoziationsanalyse ist speziell für nominale Skalentypen und wird im Folgenden für Zustands- und Ereignisdaten genauer betrachtet.

#### **Identifikation von Assoziationsregeln in nominalen Attributwerten**

Zur Aufdeckung von Assoziationsregeln in Attributwerten von Zustandsvektoren mehrerer logistischer Objekte werden deren Auftrittswahrscheinlichkeiten bestimmt. Diesbezüglich sei  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$  der

Wertebereich eines Attributs  $A$  von Zustandsvektoren einer Objektmenge  $O$  in einem Zeitraum  $T$ , mit  $A : O \times T \rightarrow W$ . Dabei wird vorausgesetzt, dass  $W$  nominal skaliert ist und jedes Element nur einmal vorkommt. Nach Notation der Assoziationsanalyse werden die Elemente von  $W$  als items bezeichnet, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 102]. Sei außerdem mit  $W_{ID} \subseteq W$  eine Menge von Elementen des Wertebereichs bezeichnet, die für ein Objekt  $ID \in O$  in dem Zeitraum  $T$  eingetroffen sind, d. h.  $A : \{ID\} \times T \rightarrow W_{ID}$ . Die Menge  $W_{ID}$  ist lexikographisch geordnet und wird in der Assoziationsanalyse als Transaktion bezeichnet, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 103]. Als Beispiel für eine Menge von items und Transaktionen lässt sich für Zustandsdaten logistischer Objekte das Attribut Ort nennen. Zum Attribut Ort sind alle möglichen Aufenthaltsorte der logistischen Objekte items. Die Menge der Orte eines logistischen Objekts, an dem dieses sich in einem bestimmten Zeitraum aufgehalten hat, bildet eine Transaktion. Um nun überprüfen zu können, wie häufig bestimmte Orte eines logistischen Systems belegt waren, wird der Begriff Support eingeführt. Sei  $X = \{w_1, \dots, w_m\}$  eine Teilmenge des Wertebereichs  $W$  für die der Anteil der Transaktionen  $W_{ID}$  bestimmt werden soll, die  $X$  enthalten, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 103]. Dann wird der Support von  $X$  wie folgt berechnet:

$$support(X) = \frac{|\{W_{ID} | X \subseteq W_{ID}, ID \in O\}|}{|\mathcal{W}|}, \quad (5.22)$$

wobei  $\mathcal{W} = \{W_{ID} | ID \in O\}$  die Menge aller Transaktionen zum Attribut  $A$  ist.

Eine Assoziationsregel auf dem Wertebereich  $W$  bezeichnet eine Implikation  $X \rightarrow Y$  für zwei item-Mengen  $X, Y \subseteq W$  mit  $X \cap Y = \emptyset$ , vgl. [SÄUBERLICH, 2000, S. 112]. Für eine Assoziationsregel kann der Support, d. h. die Auftrittswahrscheinlichkeit der Assoziationsregel in der Menge der Transaktionen, wie folgt bestimmt werden, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 103]:

$$support(X \rightarrow Y) = support(X \cup Y) = \frac{|\{W_{ID} | X \cup Y \subseteq W_{ID}, ID \in O\}|}{|\mathcal{W}|}. \quad (5.23)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Konklusion  $Y$  nach Erfüllung der Prämisse  $X$  eintritt, wird als Konfidenz der Assoziationsregel bezeichnet und wie folgt berechnet, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 104]:

$$confidence(X \rightarrow Y) = \frac{|\{W_{ID} | X \cup Y \subseteq W_{ID}, ID \in O\}|}{|\{W_{ID} | X \subseteq W_{ID}, ID \in O\}|} = \frac{support(X \rightarrow Y)}{support(X)}. \quad (5.24)$$

Mit Hilfe des Supports und der Konfidenz lassen sich Assoziationsregeln nach ihren Auftrittswahrscheinlichkeiten sortieren und Regeln mit einer hohen Konfidenz stellen mögliche Zusammenhänge zwischen Werten eines Attributs dar.

Die Identifikation von Assoziationsregeln findet häufig Anwendung in der Warenkorbanalyse, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 102]. Zu einzelnen Kunden im Einzelhandel werden als Attribut die gekauften Waren gespeichert und anschließend überprüft, welche Warenpaare häufig gemeinsam gekauft werden. Die

item-Menge ist die Menge aller möglichen Waren im Supermarkt und die Transaktionen bilden die Warenkörbe der Kunden.

Eine weitere Anwendung der Assoziationsanalyse ist die Analyse von Aufenthaltsorten von Personen oder Objekten in einem logistischen System. Dabei werden zu einzelnen Personen deren Aufenthaltsorte in einem bestimmten Zeitraum als Ereignisdaten gespeichert und anschließend überprüft, welche Ereignisse häufig auftreten. Damit lassen sich häufig auftretende Wege identifizieren und als Markov-Modelle darstellen. Ziel ist es, Bewegungsprofile zu erstellen, um vorherzusagen zu können, wohin sich eine Person als nächstes bewegen wird, vgl. [ASHBROOK und STARNER, 2003] und [HARIHARAN und TOYAMA, 2004]. Für logistische Objekte können z. B. häufig auftretende Wege für verspätete logistische Objekte identifiziert werden, vgl. [TOLUJEW et al., 2007, S. 225]. Daraus lassen sich Engpässe und Störungen in den Prozessen aufdecken. Die Analyse von Ereignissen des Attributs Ort für Produkte mit fehlerhafter Qualität findet in der Analyse von Produktionsdaten Anwendung. Dabei werden als Sequenz die Reihenfolge der Montagestationen fehlerhafter Produkte analysiert. Es wird ermittelt, welche Sequenzen häufig auftreten, um Montagestationen oder auch Reihenfolge von Montagestation zu identifizieren, die die Qualitätsvorgaben nicht erfüllen, vgl. [DA CUNHA et al., 2005].

#### **5.5.4 Clustering von Zustands- und Ereignisdaten**

Die Clusteranalyse wird in Zustandsdaten von Personen dazu genutzt spezifische Orte zu identifizieren, an denen diese sich häufig und auch eine längere Zeit aufhalten, vgl. [ASHBROOK und STARNER, 2003] und [KANG et al., 2004]. Die Personen sind mit einem GPS-Empfänger ausgestattet, welche in vordefinierten zeitlichen Abständen die Position der Personen an einen Empfänger senden. Die GPS-Daten werden als Attribut Ort in den Zustandsdaten gespeichert und anschließend zur Clusteranalyse verwendet. Ziel ist es spezifische Orte, wie den Arbeitsplatz und die Wohnung, zu identifizieren.

Eine weitere Anwendung der Clusteranalyse ist die Ursachenanalyse in Produktionsdaten, vgl. [WINDT et al., 2011]. Dabei wurden Daten über die zu produzierenden Objekte, wie Stammdaten (Abmaße, Produkttyp, Gewicht und Fertigungstiefe) zusammen mit Sollvorgaben (Plan-Start- und Endtermine und Qualitätsvorgaben) und Ist-Zuständen (Ist-Start- und Endterminen, Terminabweichungen, Anzahl an Nacharbeiten und Anzahl an Standortwechseln) zur Clusteranalyse genutzt, vgl. [WINDT et al., 2011, S. 237]. Ziel der Analyse ist die Identifizierung von auftrags- und prozessbezogenen Ursachen für Terminabweichungen in der Produktion. Die identifizierten Cluster haben Aufträge der Produktion enthalten, deren Attributwerte ähnlich sind. Es wurden signifikante Cluster, mit einer hohen Terminabweichung, zu weiteren Analysen ausgewählt und auf Merkmale hin geprüft, die die Terminabweichung negativ beeinflussen, vgl. [WINDT et al., 2011, S. 238-242].

Bei beiden Anwendungen wurde ein partitionierendes Verfahren, der k-Means-Algorithmus angewendet, der nach einer optimalen Partition in den Datensätzen sucht. Voraussetzung zur Anwendung des Verfahrens ist, dass die Wertebereiche der Attribute metrisch skaliert sind. Dies ist darin begründet, dass die Ähnlichkeit der Datensätze über Abstands- bzw. Ähnlichkeitsmaße bestimmt und Zentroide der Cluster berechnet werden. Da das Verfahren nicht hierarchisch ist, muss die Anzahl an gesuchten Cluster durch

den Analysten vorgegeben werden. Die Vorgehensweise des k-Means-Algorithmus ist wie folgt definiert, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 96 f.] und [BRAMER, 2007, S. 224 f.]:

1. Wähle die Anzahl an Clustern  $k$ , die identifiziert werden sollen.
2. Wähle  $k$  Datensätze aus der Gesamtdatenmenge (Startpartition) aus, die zu Beginn des Algorithmus als Zentroide für die  $k$  Cluster verwendet werden.
3. Berechne zwischen den gewählten Zentroiden und allen Datensätzen der Gesamtdatenmenge den Abstand. Jeder Datensatz wird dem Cluster zugeordnet, zu dem dieser den geringsten Abstand hat.
4. Berechne für die Cluster einen neuen Zentroid.
5. Wieder hole Schritt 3 und 4 so lang, bis die Zentroide sich nicht mehr ändern.

Aus der Vorgehensweise des k-Means-Algorithmus lässt sich erkennen, dass die Anzahl an Clustern, das Abstandsmaß und auch die Berechnung des Zentroids die Verteilung der Datensätze in den Clustern beeinflussen. Für metrische Skalentypen kann als typisches Abstandsmaß der euklidische Abstand gewählt werden, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 163 f.]. Es gibt aber auch eine Vielzahl weiterer Abstandsmaße, wie z. B. der Minkowski-, der Manhattan-, der Tschebyscheff-, der Tanimoto- oder der Pearson-Abstand. Es ist wichtig zu prüfen, welches Abstandsmaß die (Un-)Ähnlichkeiten der Datensätze am besten widerspiegelt, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 163 f.]. Ein weiterer Faktor, der die Einteilung der Elemente in die Cluster beeinflusst, ist die Anzahl der Cluster. Diese liegt häufig zwischen 2 und 5. Es gibt aber keine spezifischen Vorgaben, wie viele Cluster am besten sind, vgl. [BRAMER, 2007, S. 224]. Je nach Anzahl an Clustern lässt sich die Güte der einzelnen Cluster über Evaluierungskriterien bestimmen. Das Homogenitäts-/Heterogenitätskriterium setzt z. B. die Homogenität der Datensätze innerhalb der Cluster der Heterogenität zwischen je zwei Clustern gegenüber. Beim F-Wert hingegen, wird die Streuung ins Verhältnis gesetzt, vgl. [PETERSOHN, 2005, S. 97 ff.]. Nur wenn die Heterogenität zwischen den Clustern groß ist und eine hohe Homogenität zwischen einzelnen Datensätzen eines Clusters vorliegt, ist die Verteilung der Cluster signifikant und für Ergebnisinterpretationen wirklich geeignet.

Die Zentroide der Cluster sind Linearkombinationen aus den Datensätzen, die dem jeweiligen Cluster zugeordnet wurden, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 164]. Dies ist ein Grund, warum beim k-Means-Algorithmus nur metrische Skalentypen zugelassen sind. Ein anderer Algorithmus ist der k-Medoid-Algorithmus, bei dem auch nominale Skalentypen zugelassen sind. Die Vorgehensweise verläuft ähnlich dem k-Means-Algorithmus. Für nominale Skalentypen kann als Abstandsmaß der Hamming-Abstand gewählt werden, der die Summe der nicht übereinstimmenden Attributwerte berechnet, vgl. [RUNKLER, 2010, S. 14]. Weitere Abstandsmaße für nominale Skalentypen sind z. B. der Russel & Rao-, der Jaccard- und der Dice-Abstand, vgl. [BERTHOLD et al., 2010, S. 159]. Bei nominalen Skalentypen kann, wie schon erwähnt, kein Zentroid als Linearkombination berechnet werden. Daher wird beim k-Medoid-Algorithmus der Medoid der Cluster bestimmt. Der Medoid ist ein Datensatz des Clusters, der das Zentrum am besten darstellt. Um die Qualität der Medoide zu bestimmen, wird die Fehlersumme aller Cluster bestimmt. Diese berechnet sich aus den Abständen aller Datensätze zu ihren jeweiligen Medoiden.

Das Ziel des k-Medoid-Algorithmus ist es, diese Fehlersumme durch geeignete Wahl der Medoide zu minimieren, vgl. [HEINRICH, 2006, S. 127 f.].

### 5.5.5 Systematisierung der vorgestellten Methoden

In Kapitel 5.4.3 wurden Verfahrensgruppen des Knowledge Discovery in Databases vorgestellt und verschiedenen Aufgabenklassen zugeordnet. Anwendungsmöglichkeiten und -beispiele dieser Verfahren auf Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte wurden in Kapitel 5.5.1-5.5.4 erläutert. Bei der Durchführung eines Knowledge Discovery in Databases Prozess wird das zur Lösung der Problemstellung passende Verfahren in der Phase der Modellierung (Modeling) ausgewählt, siehe Abbildung 5.1. Je nachdem, welche Zielstellung die Datenanalyse verfolgt und welcher Aufgabenklasse diese zugeordnet werden kann, werden die Verfahren ausgewählt. Es ist es wichtig zu beachten, welche Daten für die Analysen als Eingabedaten zur Verfügung stehen und welche das entsprechende Verfahren benötigt. Außerdem ist zu beachten, dass die Ausgabeformate der Verfahren unterschiedlich sind, diese können spezifische Eingabedaten, aber auch Cluster oder Abweichungen sein. Aus diesem Grund muss bei der Auswahl des Verfahrens geprüft werden, ob die gewünschte Zielstellung mit dem entsprechendem Ausgabeformat darstellbar ist. Da in der vorliegenden Arbeit ein ganzheitliches Konzept vorgestellt wird, das den Software-Ingenieur bei der Auswahl der Verfahren der Datenanalyse von Zustands- und Ereignisdaten unterstützen soll, werden die vorgestellten Verfahren nach den Merkmalen Eingabedaten, Verfahren und Ausgabedaten spezifiziert und in einer Auswahltable dargestellt, siehe Tabelle 5.4 . Die vorgestellten Verfahren aus der Gruppe Zusammenfassung sind die Vereinigung, die Bildung von Folgen und die Berechnung von Kennzahlen. Als Eingabedaten dienen Zustands- und Ereignisdaten und die Ausgabeformate sind je nach Verfahren Situationen, Transaktionen, Sequenzen oder Kennzahlen. Ein Soll-Ist-Vergleich kann sowohl auf Zustands- und Ereignisdaten, als auch auf deren zusammengefassten Formen durchgeführt werden. Als Ergebnisse werden Abweichungen zwischen Ist- und Planvorgaben ausgegeben. Die zweite vorgestellte Methode der Klassifikation, die Abfrage, kann auf den Zustands- und Ereignisdaten sowie deren Zusammenfassungen durchgeführt werden. Ergebnisse sind die gesuchten Zustände, Ereignisse, Situationen, Transaktionen, Sequenzen oder Kennzahlen. Streudiagramme und Zusammenhangsmaße decken Zusammenhänge zwischen Attributen auf, daher sind die Eingabedaten Zustands- und Ereignisdaten bzw. deren Attribute. Assoziationsregeln können mit einer Assoziationsanalyse in nominalen Transaktionen und Sequenzen aufgedeckt werden. Die Clusteranalyse kann sowohl auf Zustands- und Ereignisdaten als auch auf deren Zusammenfassungen durchgeführt werden und liefert Cluster oder Ausreißer.

Damit ist die Einführung der theoretischen Grundlagen zur Entwicklung und Darstellung des ganzheitlichen Konzepts zur Modellierung und Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte abgeschlossen. Im Folgenden wird das ganzheitliche Konzept dargestellt und anschließend an zwei Beispielen evaluiert.

Tabelle 5.4: Systematisierung der vorgestellten Verfahren nach Verfahrensgruppen, Eingabedaten und Ausgabedaten

<b>Verfahrensgruppe</b>	<b>Eingabedaten</b>	<b>Methode</b>	<b>Ausgabedaten</b>
<b>Zusammenfassung</b>	Zustandsdaten Ereignisdaten	Vereinigung	Situationen
	Zustandsdaten Ereignisdaten	Bildung von Folgen	Transaktionen Sequenzen
	Zustandsdaten Ereignisdaten	Berechnung von Kennzahlen	Kennzahlen
<b>Klassifikation</b>	Zustandsdaten Ereignisdaten Situationen Transaktionen Sequenzen Kennzahlen	Soll-Ist-Vergleich	Abweichungen
	Zustandsdaten Ereignisdaten Situationen Transaktionen Sequenzen Kennzahlen	Abfragen	Vordef. Zustände Vordef. Ereignisse Vordef. Situationen Vordef. Transaktionen Vordef. Sequenzen Vordef. Kennzahlen
<b>Abhängigkeitsanalyse</b>	Zustandsdaten Ereignisdaten	Streudiagramme, Zusammenhangsmaße	Zusammenhänge von Attributen
	Transaktionen Sequenzen	Assoziationsanalyse	Assoziationsregeln
<b>Clustering</b>	Zustandsdaten Ereignisdaten Situationen Transaktionen Sequenzen Kennzahlen	Clustering	Cluster und Ausreißer

## **Kapitel 6**

# **Ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte**

In diesem Kapitel wird das ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte dargestellt. Im ersten Teilkapitel werden die Voraussetzungen zur Anwendung des Konzepts genannt und im zweiten Teilkapitel werden die einzelnen Entwicklungsphasen detailliert erläutert. Am Ende des Kapitels werden die Ergebnisse des Konzepts noch einmal explizit beschrieben.

### **6.1 Voraussetzungen zur Anwendung des ganzheitlichen Konzepts**

Das ganzheitliche Konzept unterstützt den Softwareentwickler zusammen mit dem operativen Logistikmanager bei der Anforderungserhebung zur Entwicklung eines Informationssystems für die operative Überwachung eines logistischen Systems. Zu Beginn einer Softwareentwicklung müssen die Anforderungen des Endnutzers festgelegt werden, vgl. Kapitel 4.1. In dieser Phase kann das ganzheitliche Konzept als systematische Vorgehensweise angewendet werden. Das Konzept ist in Aufgaben eingeteilt, die der Softwareentwickler und der operative Logistikmanager entweder allein oder gemeinsam bearbeiten. Zur Anwendung des Konzepts können bereits Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien im realen System implementiert sein. Diese sind aber nicht zwingend notwendig. Denn das ganzheitliche Konzept dient auch zur Unterstützung bei der Einführung dieser Technologien. Während der Durchführung des Konzepts werden fehlende Rohdaten ermittelt, die zur Überwachung der Objekte notwendig sind.

Als Voraussetzung zur Anwendbarkeit des Konzepts muss eine Testdatenmenge vorliegen, die die Zustände der Objekte des logistischen Systems für einen gewissen Zeitraum abbilden. Diese können von den vorhandenen Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien stammen oder Ergebnisse eines Si-

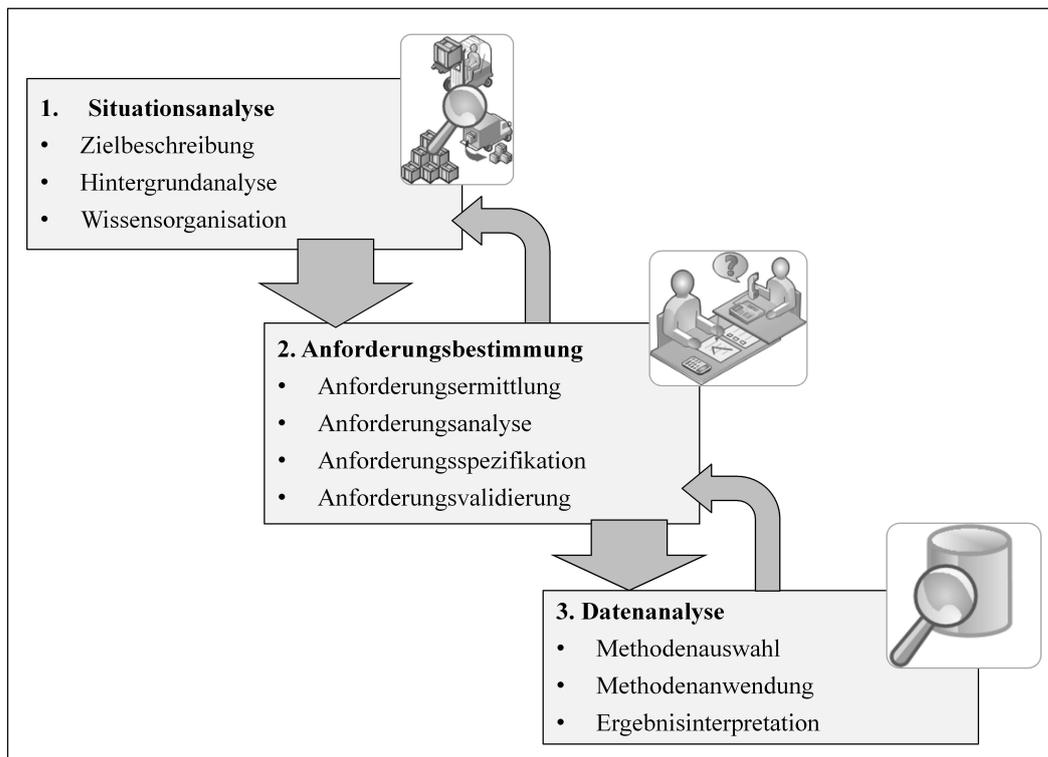


Abbildung 6.1: Entwicklungsphasen des ganzheitlichen Konzepts zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte

mulationsmodells sein, das das Verhalten des realen logistischen Systems so gut wie möglich abbildet. Die Testdatenmenge wird zur Validierung der Anforderungen sowie zur Anwendung der Datenanalysemethoden verwendet.

## 6.2 Entwicklungsphasen des ganzheitlichen Konzepts

Das ganzheitliche Konzept ist in drei Entwicklungsphasen: der Situationsanalyse, der Anforderungsbestimmung und der Datenanalyse gegliedert. Jede Phase enthält verschiedene Aufgabenbereiche, die entweder vom operativen Logistiker, dem Softwareentwickler oder beiden gemeinsam bearbeitet werden. Die drei Entwicklungsphasen sind in Aufgabenbereiche unterteilt, die in Abbildung 6.1 dargestellt sind. Die Phasen werden nacheinander ausgeführt und jede Folgephase baut auf die Ergebnisse der vorherigen auf. Da während der Bearbeitung Ergebnisse auftreten können, die die Bearbeitung der vorherigen Entwicklungsphase inhaltlich beeinflussen, sind Rückflüsse in Form von rückwärts-gerichteten Pfeilen in das Konzept implementiert. Im Folgenden werden die einzelnen Entwicklungsphasen mit Aufgabenbereichen sowie Rückflüssen und Ergebnissen detailliert erläutert.



Abbildung 6.2: Aufgabenbereiche der Situationsanalyse

### 6.2.1 Situationsanalyse

Die Situationsanalyse ist die erste Entwicklungsphase und hat die Entwicklung des konzeptionellen Modells des realen logistischen Systems sowie des Datenmodells der notwendigen Zustands- und Ereignisdaten der logistischen Objekte zum Ziel. Außerdem werden die notwendigen Rohdaten zur Erzeugung der zuvor abgeleiteten Zustands- und Ereignisdaten ermittelt. Die Phase ist in drei Aufgabenbereiche gegliedert: Zielbeschreibung, Hintergrundanalyse und Wissensorganisation. Alle drei Aufgabenbereiche bestehen aus einzelnen Aufgaben, die aufeinander aufbauen und vom operativen Logistiker und Softwareentwickler bearbeitet werden müssen. In Abbildung 6.2 sind die einzelnen Aufgaben aufgelistet und den Aufgabenbereichen zugeordnet. Außerdem ist farblich gekennzeichnet, welche Aufgaben der operative Logistiker (grün) und welche der Softwareentwickler (blau) bearbeiten muss. Die Pfeile kennzeichnen die Reihenfolge der Bearbeitung.

Die Situationsanalyse dient zur Verbesserung des System- und Datenverständnisses des operativen Logistikers und Softwareentwicklers. Als Grundlage der Aufgabenbereiche wurde das Vorgehen zur Anforderungserhebung nach [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998, S. 59], vgl. Abbildung 4.2, gewählt. Die

Aufgabenbereiche entsprechen prinzipiell den Schritten des Vorgehens zur Anforderungserhebung, haben aber den Schwerpunkt nicht nur auf der Entwicklung des Systemverständnisses, sondern auch auf der Übersetzung des konzeptionellen Modells des realen logistischen Systems in eine Datenstruktur für die Zustands- und Ereignisdaten. Außerdem ist die Identifikation von notwendigen Rohdaten zur Generierung der Zustands- und Ereignisdaten eine Aufgabe. Die konzeptionelle Modellierung des realen logistischen Systems baut auf den Grundlagen der Logistik aus Kapitel 2 auf. Es wurden bewusst Vorgehensweisen und Methoden gewählt, die beiden Anwendern bekannt sind, damit eine aufwendige Einarbeitung in die Anwendung des ganzheitlichen Konzepts nicht notwendig ist.

### **Zielbeschreibung**

Im Aufgabenbereich der Zielbeschreibung wird das Ziel des betrachteten logistischen Systems erarbeitet und nach den 6+2 Richtigen der Logistik formuliert. Anschließend müssen die Problem- und Fragestellungen des operativen Logistikmanagers formuliert werden, für die die Analyse der Zustandsdaten durchgeführt werden soll. Diesen Aufgabenbereich absolviert der operative Logistikmanager und übergibt die aufbereiteten Ergebnisse in einem Workshop dem Softwareentwickler.

**Zieldefinition** Jedes logistische System dient einem bestimmten Zweck. Deswegen ist es wichtig zu bestimmen, welche Funktion bzw. welches Ziel das reale System hat, vgl. [LUCKE, 2012, S. 38]. Als Formulierungshilfe werden dazu die 6+2 Richtigen der Logistik aus Tabelle 2.1 herangezogen. Als erstes muss der operative Logistikmanager bestimmen, was die operative Logistikleistung des Systems ist, d.h. welche logistischen Objekte im Fokus der Betrachtung stehen. Diese Logistikgüter entsprechen nach den 6+2 Richtigen der Logistik den richtigen Objekten. Anschließend wird der richtige Ort definiert, d. h. an welchem Ort muss das richtige Objekt zur Erfüllung der Logistikleistung sein. Dies kann z. B. die Senke des Systems sein. Bei der Bestimmung der richtigen Anzahl ist es notwendig zu prüfen, ob genau ein spezielles Objekt am richtigen Ort sein muss oder ob ein oder mehrere Objekte einer speziellen Sorte von Logistikgütern vorliegen müssen. Der richtige Zeitpunkt beschreibt zu welchem Zeitpunkt das Ziel erfüllt sein soll. Dies kann z. B. ein Abfahrts- oder auch Lieferzeitpunkt sein. In Bezug auf Prozessaspekte können Kosten zur Erstellung der Leistung, Qualität des Guts, die ökologische Nachhaltigkeit oder auch die richtige Information am Logistikgut als Zielkriterium mit einbezogen werden. Es ist wichtig zu beachten, dass das Ziel für den operativen Betrieb bestimmt wird und nicht für das taktische oder strategische Management. Hat der operative Logistikmanager spezielle Vorgaben für einzelne Prozesskosten, müssen diese bei den richtigen Kosten vermerkt werden. Die Qualität des richtigen Objekts kann viele unterschiedliche Ausprägungen haben, wie z. B. die richtige Temperatur, die richtige Luftfeuchte, die Unversehrtheit in Bezug auf Erschütterung, Lichteinstrahlung oder auch Hygienevorgaben. Die Ökologievorgabe kann z. B. der CO<sub>2</sub>-Verbrauch für einzelne Prozessschritte sein. Bei der richtigen Information muss der operative Logistikmanager bestimmen, ob es für das Logistikgut Vorschriften gibt, welche Informationen am Objekt angebracht sein müssen, wie z. B. ein Lieferschein für den Kunden.

Tabelle 6.1: Zieldefinition mit Hilfe der 6+2 Richtigen der Logistik

<b>Die 6+2 Richtigen</b>		<b>Beispiele für Ziele</b>
1	Das richtige Objekt	Materielles oder immaterielles Logistikgut
2	In der richtigen Anzahl	Einzahl oder Mehrzahl
3	Am richtigen Ort	Senke des Systems
4	Zur richtigen Zeit	Auslieferungs-/Abfahrtszeitpunkt
<b>Prozessaspekte</b>		
5	Zu den richtigen Kosten	Prozesskosten
6	Mit der richtigen Qualität	Temperatur, Luftfeuchte, Erschütterung
+1	Ökologisch richtig	CO <sub>2</sub> -Verbrauch
+1	Mit den richtigen Informationen	Lieferschein

Diese Zusammenhänge sind in Tabelle 6.1 zusammengefasst und sollten in dieser Form dem Softwareentwickler als Ergebnis der Aufgabe übergeben werden.

**Problembeschreibung** Die nächste Aufgabe des operativen Logistikmanagers ist die Beschreibung der Probleme, die während des operativen Betriebs auftreten. Dazu werden mittels Kreativitätstechniken, wie z. B. Brainwriting und Brainstorming (vgl. [ILLÉS et al., 2007, S. 178-184]), mögliche Probleme aufgelistet und anschließend in Bezug zur Zielstellung aufbereitet. In Abbildung 6.3 ist beispielhaft dargestellt, wie eine Sammlung von Problemstellungen an den Softwareentwickler übergeben werden kann.

Nach erfolgreicher Absolvierung beider Aufgaben werden dem Softwareentwickler die Ergebnisse der Zielbeschreibung in einem Workshop erläutert. Anschließend erfolgt die Hintergrundanalyse (Aufgabenbereich 2).

### Hintergrundanalyse

Die Hintergrundanalyse besteht aus sechs Aufgaben, vgl. Abbildung 6.2. Die ersten vier Aufgaben, Objektmengen und -typen, Relationen, Systemstruktur und Objektfluss und Prozesse werden vom operativen Logistikmanager bearbeitet. Die fünfte Aufgabe, Stammdaten und Sollvorgaben, erarbeitet der Logistiker gemeinsam mit dem Softwareentwickler. Dabei werden die Ergebnisse der ersten vier Aufgaben an den Softwareentwickler übergeben. Das Ergebnis dieser fünf Aufgaben ist das konzeptionelle Modell des realen logistischen Systems, welches Grundlage aller weiteren Schritte ist und somit einen wichtigen Bestandteil der Hintergrundanalyse darstellt. Die sechste Aufgabe der Hintergrundanalyse, bestehende Informationssysteme und Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien, muss vom operativen Logistikmanager und dem Softwareentwickler gemeinsam erarbeitet werden. Hierbei ist es Ziel zu ermitteln, welche Zustandsdaten im System schon vorhanden sind und welche Informationssysteme zur Verwaltung, Verarbeitung und Analyse bestehen.

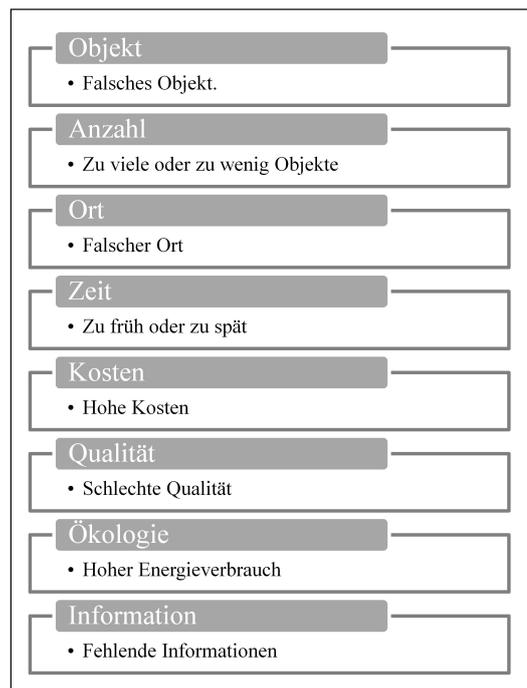


Abbildung 6.3: Aufbereitung der Probleme nach der Zielstellung

**Objekttypen und -mengen** Die Entwicklung des konzeptionellen Modells beginnt mit der Definition der Objekte des realen logistischen Systems sowie deren Systematisierung nach Objektmengen und -typen, siehe Kapitel 2.5. Es wird ermittelt, welche Objektmengen der Systeminput und -output sind. Anschließend werden alle weiteren Systemelemente und Subsysteme des realen Systems identifiziert. Dazu ist es notwendig den Abstraktionsgrad der Betrachtung so zu wählen, dass das System nicht zu detailliert aber auch nicht zu abstrakt abgebildet wird. Für die Objekte müssen bestimmte Kriterien nach der Definition aus Kapitel 2.5 gelten. Die Zustände der logistischen Objekte müssen mit Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien verfolgt werden können. Außerdem sollten nur die Objekte gewählt werden, die einen Beitrag zur Zielerreichung des realen System leisten. Aus der Zieldefinition (siehe Tabelle 6.1) kann abgeleitet werden, welche Objektmengen bei welchem Zielkriterium einen Beitrag leisten. Eine Orientierungshilfe bietet dazu auch Tabelle 2.4. Sind alle Objekte mit Objekttypen und -mengen definiert, müssen diese noch in Klassen eingeteilt werden. Die Klassen beinhalten die Spezifikation nach physisch oder abstrakt, stationär oder bewegt, verschachtelt oder nicht verschachtelt. Abschließend sollten die einzelnen Objekttypen mit den Objektmengen, wie in Tabelle 2.4, sortiert, nach Klassen aufbereitet werden.

**Relationen** Zur Ableitung der Beziehungen zwischen den zuvor bestimmten logistischen Objektmengen müssen deren Relationen untereinander definiert werden. Als Basis dazu dient die zuvor bestimmte Klassifikation der Objekttypen. Für die Klasse der bewegten Objektmengen kann z. B. die Beziehung „ziehen“ gefolgert werden, wenn eine Objektmenge nur durch eine andere bewegt werden kann. Dies

ist z. B. der Fall, wenn ein Schlepper einen Anhänger zieht. Die Relation „beinhaltet“ kann z. B. aus der Klasse der verschachtelten Objektmengen gefolgert werden, denn alle Objektmengen in dieser Klasse können andere Objektmengen enthalten. Die identifizierten Relationen müssen verständlich aufbereitet werden, wie z. B. über das Entity-Relationship-Modell nach [CHEN, 1976, S. 19], vgl. Kapitel 5.2.

**Systemstruktur und Objektfluss** Im nächsten Schritt soll die Systemstruktur und der Objektfluss grafisch dargestellt werden. Für die Systemstruktur müssen zuerst die Anordnungen der stationären physischen Objekttypen im System und die Systemgrenzen bestimmt werden. Diese Ergebnisse werden in Form eines analogen Modells (z. B. Strukturgrafik), eines bildhaften Modells in 2D oder auch eines virtuellen Modells in 3D aufbereitet, vgl. [SCHENK und WIRTH, 2004, S. 179]. Der Fluss der bewegten Objekte kann mittels Pfeilen in das Systemstrukturmodell integriert werden. Zur Unterscheidung der Objekttypen können unterschiedliche Farben gewählt werden.

**Prozesse** Im letzten Schritt des konzeptionellen Modells müssen die Prozesse der logistischen Objekttypen bestimmt werden. In Kapitel 2.6 wurden typische logistische Prozesse beschrieben: Transport, Lagerung, Umschlag, Kommissionierung und zur Steuerung notwendige Informations- und Kommunikationsprozesse. Die ersten vier Prozesse gelten nur für die physischen bewegten Objekttypen und müssen somit auch nur für diese bestimmt werden. Für die abstrakten Objekttypen werden die Informations- und Kommunikationsprozesse definiert und aufbereitet. Zur Darstellung eignet sich die Prozesskettendarstellung, siehe [GUDEHUS, 2010, S. 87].

Nach Absolvierung dieser vier Aufgaben müssen die einzelnen Modellteile an den Softwareentwickler in einem Workshop übergeben werden. Anschließend wird gemeinsam mit der Erarbeitung der fünften Aufgabe begonnen.

**Stammdaten und Sollvorgaben** Mit der Definition der Stammdaten und Sollvorgaben für die logistischen Objekte beginnt die Entwicklung des Datenmodells. Diese Aufgabe sollte der Logistiker zusammen mit dem Softwareentwickler durchführen, da es notwendig ist aus Zusammenhängen des realen Systems wichtige Stammdaten und Sollvorgaben abzuleiten.

Die Definition der Stammdaten wird für jede Objektmenge durchgeführt und beginnt mit einem Brainstorming oder auch -writing. Es müssen Eigenschaften der Objekte identifiziert werden, die zeitlich konstant sind und bei der Zielerreichung des Systems eine Rolle spielen. Anschließend können diese mit dem Softwareentwickler diskutiert und in einem Datenmodell aufbereitet werden. In Abbildung 6.4 ist eine Liste von beispielhaften Stammdaten für einzelne Klassen von Objekttypen dargestellt. Die Liste wurde in Anlehnung an [GUDEHUS, 2010, S.445-450] erstellt und beinhaltet nur eine Auswahl an möglichen Stammdaten.

Sollvorgaben der logistischen Objekte werden auf Grundlage von internen Aufträgen und Vorgaben der

<b>Bewegte, nicht verschachtelte Objekttypen:</b> Güter	Identifikationsnummer
	Form, Maße, Gewicht, Farbe, Material
	Angabe der entsprechenden Verpackungseinheit, Ladeinheit, Transportmittel
	Restriktionen
	...
<b>Bewegte, verschachtelte Objekttypen:</b> Verpackungseinheit, Ladeinheit, Transportmittel	Identifikationsnummer
	Einsatzorte: Angabe der entsprechenden Standorte und Logistikketten
	Form, Maße, Gewichte
	Angabe der entsprechenden Ladungsträger und Transportmittel
	Kapazitäten: Innenmaße, Laderaum, Nutzlast, Maximalanzahl definierter Füllereinheiten
	Restriktionen
<b>Stationäre, verschachtelte Objekttypen:</b> Transportkanal, Lager, Umschlagpunkt, Standplatz	Identifikationsnummer
	Standort
	Kapazitäten und Grenzleistungen: Anzahl Tore, Fläche, Pufferplätze, Lagerplätze,
	Zeitangaben: Betriebszeiten, Verkaufszeiten, An- und Ablieferzeiten
	...

Abbildung 6.4: Auswahl an möglichen Stammdaten i. A. a. [GUDEHUS, 2010, S.445-450]

dispositiven Ebene des realen logistischen Systems erstellt. Diese Aufträge beinhalten Vorgaben in Bezug auf Anzahl, Ort, Zeit, Kosten, Qualität, Ökologie und Informationen für einzelne Objekte oder auch Objektmengen des realen Systems. Diese Vorgaben müssen aufbereitet und in Form der Zieldefinition dargestellt werden, vgl. Tabelle 6.1. Zu beachten ist, dass diese Vorgaben nicht zwingend zeitlich konstant sein müssen, sondern sich je nach Betrachtungszeitraum und Logistikleistung über der Zeit ändern können. Es können auch neue Sollvorgaben hinzu kommen. Häufig bestehen die Vorgaben nicht nur aus einzelnen Werten, sondern auch aus Toleranzintervallen. In Abbildung 6.5 sind Beispiele für Sollvorgaben abgebildet.

Mit der fünften Aufgabe ist die Entwicklung des konzeptionellen Modells abgeschlossen und die sechste Aufgabe kann bearbeitet werden. Parallel dazu beginnt der Softwareentwickler mit der Erarbeitung des dritten Aufgabenbereichs, der Wissensorganisation. Für die ersten zwei Aufgaben dieses Bereichs ist als Wissensgrundlage nur das konzeptionelle Modell des realen logistischen Systems zusammen mit dem Datenmodell für die Stammdaten sowie den Sollvorgaben notwendig.

**Bestehende Informationssysteme & Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien** Die letzte Aufgabe der Hintergrundanalyse ist die Identifizierung und Beschreibung der im realen System vorhandenen Informationssystemen und Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien. Es muss spe-

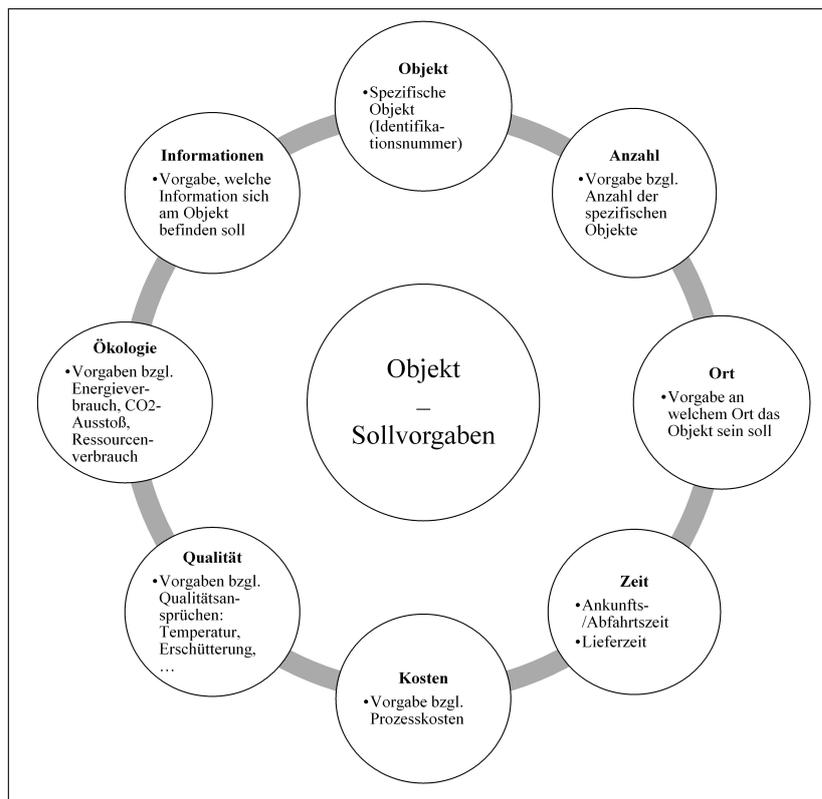


Abbildung 6.5: Beispielhafte Sollvorgaben für Objekte eines logistischen Systems

zifiziert werden, welche Informationssysteme im realen System im Einsatz sind. Diese können z. B. bestehende ERP-Systeme oder auch ME-Systeme sein, vgl. Abbildung 3.3. Aber auch die bestehenden Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien müssen ermittelt und beschrieben werden.

Nach Absolvierung der sechs Aufgaben ist die Hintergrundanalyse abgeschlossen und der Fokus der Betrachtung liegt auf der Wissensorganisation. Ergebnisse der Hintergrundanalyse sind das konzeptionelle Modell des realen Systems zusammen mit dem Wissen über den aktuellen Datenbestand.

### Wissensorganisation

Im Aufgabenbereich der Wissensorganisation ist das Ziel der fünf Aufgaben die Entwicklung des Datenmodells und die Aufbereitung der Test-Zustandsdaten. Zuerst wird unabhängig von den Rohdaten bestimmt, welche Zustandsdaten mit Attributen und Wertebereichen für die Analysen notwendig sind. Darauf aufbauend werden die Ausprägungen der Rohdaten ermittelt und es wird bestimmt, welche Zustandsdaten aus welchen Rohdaten erzeugt werden können. Anschließend werden die Elemente aus den idealen Wertebereichen ermittelt, die nicht aus den Rohdaten erzeugt werden können. Für diese muss geprüft werden, ob eine implizite Ableitung möglich ist. Falls dies nicht möglich ist, werden Empfehlungen gegeben, welche Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien die Rohdaten erzeugen können.

Abschließend wird aus den vorhandenen Rohdaten die Test-Zustandsdatenmenge erstellt und die Sollvorgaben in Soll-Zustände transformiert.

Der Aufgabenbereich ist ein wichtiger Teil der Situationsanalyse, da die Transformation des realen Systems in das Format der Zustandsdaten eine Vereinfachung der Realität erfordert. Um Informationsverluste und Falschinterpretationen zu vermeiden, erfordert dieser Aufgabenbereich eine enge Zusammenarbeit zwischen dem operativen Logistiker und Softwareentwickler.

**Struktur der Zustandsdaten** In der ersten Aufgabe der Hintergrundanalyse wurden Objektmengen des realen Systems definiert, die eindeutig identifizierbar sind und einen Beitrag zur Zielerreichung des realen Systems leisten. Für jede dieser Objektmenge muss ein Strukturmodell der Zustandsdaten entwickelt werden. Diese Entwicklung findet unabhängig von den real existierenden Rohdaten statt, um nur die Attribute abzuleiten, die zur Überwachung der Zielerreichung notwendig sind. Der Vergleich mit den erzeugten Rohdaten erfolgt in späteren Aufgaben.

Zur Entwicklung der Struktur der Zustandsdaten wird das konzeptionelle Modell verwendet. Für jede definierte Objektmenge des realen logistischen Systems muss ermittelt werden, welche Attribute der zugehörige Zustandsvektor beinhalten soll. Wie in Gleichung 2.1 beschrieben, ist der erste Eintrag des Zustandsvektors die eindeutige Identifikationsnummer, die bereits bei der Definition der Stammdaten jedem Objekt zugeordnet wurde. Der Zeitstempel wird während der Aufnahme der Daten erzeugt und ist für eine dynamische Überwachung unerlässlich. Im nächsten Schritt müssen die Attribute ausgewählt werden. Dazu werden die 6+2 Richtigen der Logistik auf die einzelnen Objektmengen angewendet. Für jede Objektmenge muss abgefragt werden, ob sich die Anzahl der Objekte, die möglichen Aufenthaltsorte, die durch das Objekt verursachten Kosten, die vorgeschriebene Qualität, der Energie- und Ressourcenverbrauch oder die vorgeschriebenen Informationen am Objekt im Zeitverlauf ändern und auf Grund von Sollvorgaben und Einschränkungen überwacht werden müssen. Sind einige Ausprägungen der 6+2 Richtigen für einzelne Objektmengen nicht in den Stammdaten festgelegt, kann dies ein Indiz dafür sein, dass diese überwacht werden müssen. Beispielsweise ist bei bewegten Objekten der Ort nicht in den Stammdaten festgelegt, da dieser sich im Zeitverlauf ändert und das Objekt sich im System bewegt. Weiterhin können Sollvorgaben bei der Auswahl der Attribute unterstützen, wie z. B. Vorgaben bzgl. der Qualität eines Objekts. Diese sollten dann als Attribute mit aufgenommen werden. Weitere Attribute können aus den zuvor definierten Relationen oder aus den Prozessen der bewegten Objekte abgeleitet werden. Für verschachtelte Objekte gilt die Relation „beinhaltet“. Diese kann als Attribut Inhalt mit aufgenommen werden. In Abbildung 6.6 ist dargestellt, wie Attribute eines Zustandsvektors abgeleitet werden können. Anschließend müssen die Zustandsvektoren der einzelnen Objektmengen als Datenmodell aufbereitet werden.

**Wertebereiche der Attribute** Zur Bestimmung der Wertebereiche der Attribute müssen aus den zuvor bestimmten Zustandsvektoren mit Attributen die Zustands- und Attributfunktionen für die Objektmengen abgeleitet werden, vgl. Kapitel 5.3. Anschließend werden auf Basis der Herleitung der Attribute aus



sor, der alle fünf Sekunden die Temperatur eines Objekts misst, jeden Rohdatensatz zu verwenden, da bei jeder Änderung der Temperatur ein neuer Zustand erzeugt wird. Es ist wichtiger, nur über Abweichungen aus den vorgegebenen Toleranzbereichen benachrichtigt zu werden. Daher bietet es sich an, zu prüfen, ob eine Aggregation der Rohdaten in Form von Toleranzbereichen möglich ist. Der operative Logistikmanager sollte bei der Aggregation der Wertebereiche mit einbezogen werden, um logistisch sinnvolle Toleranzbereiche zu bilden.

Ein weiteres Ergebnis dieser Ableitung ist, dass die Rohdaten, die keinen Zustand erzeugen, vorerst keine Relevanz für die Datenanalysen haben. Es ist zu beachten, dass eine Vernachlässigung dieser Rohdaten erst nach vollständiger Durchführung des ganzheitlichen Konzepts sinnvoll ist. Es kann während der Anforderungsbestimmung vorkommen, dass die Zustandsvektoren durch fehlende Attribute ergänzt werden müssen und damit vorher nicht notwendige Rohdaten schließlich doch notwendig werden. Wenn das Konzept abgeschlossen ist, kann geprüft werden, wie die nicht notwendigen Rohdaten erzeugt werden und ob diese für andere Informationssysteme eine Rolle spielen. Wenn diese irrelevant sind, kann über einen Abbau der Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien nachgedacht werden.

**Vergleich der Wertebereiche** Nachdem zu allen Ausprägungen der Rohdaten die daraus resultierenden Zustände und somit Werte der Attribute bestimmt wurden, muss noch geprüft werden, ob alle Elemente der idealen Wertebereiche mit den Rohdaten abgebildet werden. Dazu werden die idealen Wertebereiche herangezogen und mit den Ergebnissen aus der Aufgabe „Ableitung der Zustände aus Rohdaten“ verglichen. Wenn wichtige Werte der Attribute nicht durch vorhandene Rohdaten erzeugt werden können, ist dies ein Hinweis auf fehlende Rohdaten. In diesen Fällen muss geprüft werden, ob die fehlenden Attributwerte implizit gewonnen werden können oder neue Technologien im realen logistischen System zur Datensammlung installiert werden müssen.

Abschließend muss aus den vorliegenden Rohdaten eine Test-Zustandsdatenmenge erzeugt werden. Die Transformation der Test-Rohdaten in die Test-Zustands- und -Ereignisdatenmenge muss nach den Vorgaben aus der Aufgabe „Ableitung der Zustände aus Rohdaten“ erfolgen.

**Aufbereitung der Soll-Zustände** Als letzte Aufgabe der Wissensorganisation und auch der Entwicklungsphase der Situationsanalyse müssen die Sollvorgaben in Soll-Zustände transformiert werden. Denn diese werden in die Analysen mit einbezogen, z. B. bei Soll-Ist-Vergleichen, und müssen somit der Struktur der Zustandsdaten entsprechen.

Damit ist die Situationsanalyse abgeschlossen, das Ziel und die Probleme des realen Systems beschrieben, das konzeptionelle Modell des logistischen Systems entwickelt und die Struktur der Zustandsdaten mit Wertebereichen definiert. Außerdem wurden Vorgaben bestimmt, wie die Rohdaten in die Zustandsdaten übersetzt werden müssen und eine Test-Zustands- und -Ereignisdatenmenge für spätere Analysen liegt vor. Demzufolge kann mit der zweiten Entwicklungsphase der Anforderungsbestimmung begonnen werden.

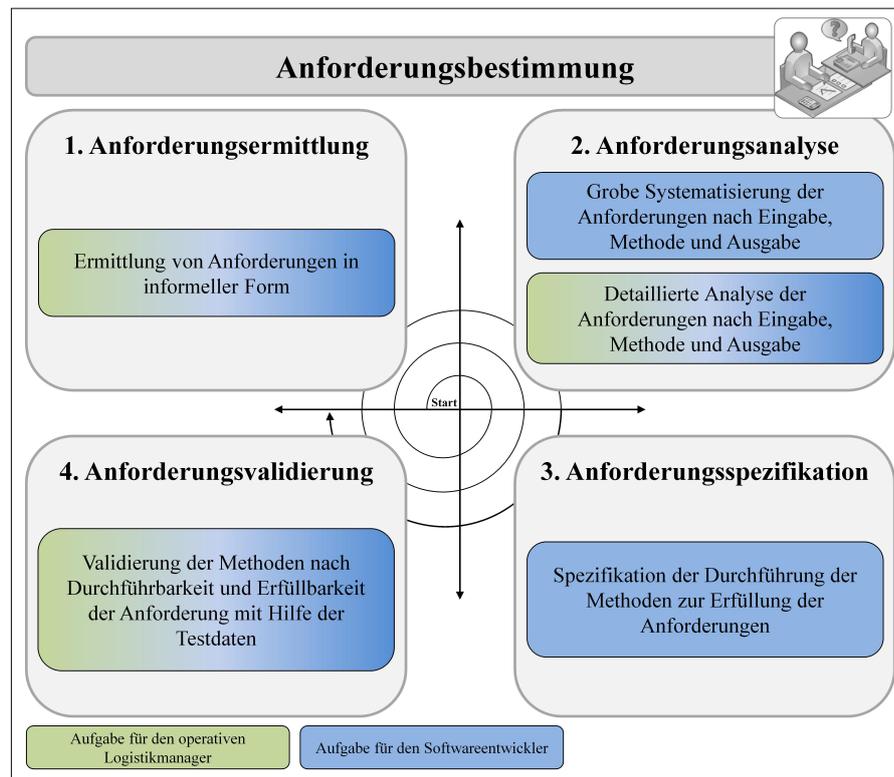


Abbildung 6.7: Aufgabenbereiche der Anforderungsbestimmung

## 6.2.2 Anforderungsbestimmung

Die Anforderungsbestimmung dient dazu die Forderungen, des operativen Logistikmanagements an das zukünftige Informationssystem zu ermitteln, analysieren, spezifizieren und zu validieren. Es werden nur funktionale Anforderungen betrachtet, die sich direkt mit der Analyse und Interpretation der Zustands- und Ereignisdaten befassen. Die Aufgabenbereiche der Anforderungsbestimmung sind an die Phasen des Requirements Engineering angelehnt (vgl. Kapitel 4.2). Beim Requirements Engineering liegt das Ziel darin, die Anforderungen Schritt für Schritt so anzupassen, dass diese den Qualitätsmerkmalen: Korrektheit, Eindeutigkeit, Konsistenz, Klassifizierbar nach Wichtigkeit, Überprüfbarkeit, Sinnvoll und Machbarkeit im Allgemeinen und in Bezug zu den anderen Anforderungen erfüllen. Bei dem hier vorgestellten Konzept liegt der Fokus darauf, die Anforderungen hinsichtlich Machbarkeit zu überprüfen. Das bedeutet, dass für jede Anforderung analysiert wird, welche Eingabedaten und Methoden benötigt werden, um die gewünschten Ausgaben als Analyseergebnisse zu erhalten. Die nach Eingabe, Methoden und Ausgabe analysierten und spezifizierten Anforderungen werden mit den in der Situationsanalyse erzeugten Test-Zustands- und -Ereignisdatensmengen validiert.

Die Anforderungsbestimmung besteht somit aus vier Aufgabenbereichen: der Anforderungsermittlung, -analyse, -spezifikation, und -validierung. Die Aufgabenbereiche sind in Abbildung 6.7 dargestellt. Die blau gekennzeichneten Aufgaben werden durch den Softwareentwickler bearbeitet und die in grün durch den operativen Logistikmanager. Der Ablauf der Anforderungsbestimmung ist spiralförmig aufgebaut,

denn wenn eine Validierung nicht positiv verläuft, muss der Prozess für diese Anforderung von neuem begonnen werden. Es kann sich ergeben, dass Zustands- und Ereignisdaten ergänzt oder angepasst werden müssen. Diese Änderungen müssen in die Situationsanalyse mit aufgenommen werden. Es kommt somit zu einem Rückfluss an Informationen und zur Wiederholung von Aufgaben, dies ist in Abbildung 6.1 mit einem rückwärts-gerichteten Pfeil gekennzeichnet.

### **Anforderungsermittlung**

Die Anforderungsermittlung hat die Erhebung von Anforderungen des operativen Logistikmanagements an die Datenanalysen zum Ziel. Die Anforderungen werden in informeller Form gesammelt und als Zielstellungen formuliert. Diese Aufgabe bearbeitet der operative Logistiker in Zusammenarbeit mit dem Softwareentwickler in Workshops, in denen Ermittlungstechniken aus Abbildung 4.3 verwendet werden sollten. Abschließend werden die Anforderungen nach Wichtigkeit sortiert und in einer Anforderungsliste aufbereitet.

### **Anforderungsanalyse**

In der Anforderungsanalyse wird jede informelle Anforderung als Durchführung einer oder mehrerer Datenanalysen verstanden. Diesbezüglich muss zuerst geprüft werden, welches Ziel die Anforderung beschreibt. Dieses muss dann als Ergebnis einer Datenanalyse (Ausgabe) formuliert werden. Anschließend können die Methode zur Datenanalyse sowie die notwendigen Eingabedaten identifiziert und festgelegt werden. Im letzten Schritt werden die Anforderungen detaillierter, je nach Methodenanwendung, betrachtet.

**Grobe Systematisierung der Anforderungen nach Eingabe, Methode und Ausgabe** In der Aufgabe der groben Systematisierung der Anforderungen nach der Struktur einer Datenanalyse (Eingabe, Methode, Ausgabe) ist die Übertragung der Zielstellung der Anforderung in das Ausgabeformat einer Datenanalyse der erste Schritt. Ausgabeformate einer Datenanalyse können Abweichungen, spezifische Zustände, Ereignisse, Situationen, Transaktionen, Sequenzen oder Kennzahlen sowie Abhängigkeiten, Cluster oder Ausreißer sein. Wenn eine oder mehrere der Ausprägungen ausgewählt wurden, wird anschließend unter Verwendung von Tabelle 5.4 abgeleitet, welche möglichen Methoden zur Datenanalyse verwendet werden können. Außerdem muss identifiziert werden, welche Eingabedaten notwendig sind, um die richtigen Ergebnisse zu erhalten. Bei der Bestimmung der Eingabedaten, Methoden und Ausgabeformate kann es vorkommen, dass diese noch nicht eindeutig bestimmt werden können und somit mehrere Ausprägungen aufweisen. Abschließend werden die Anforderungen nach den verschiedenen Verfahrensgruppen aus Kapitel 5.4.3 sortiert. Die Vorgehensweise der Aufgabe ist als Schrittfolge in Abbildung 6.8 dargestellt. Die Aufgabe bearbeitet der Softwareentwickler ohne den operativen Logistikmanager.

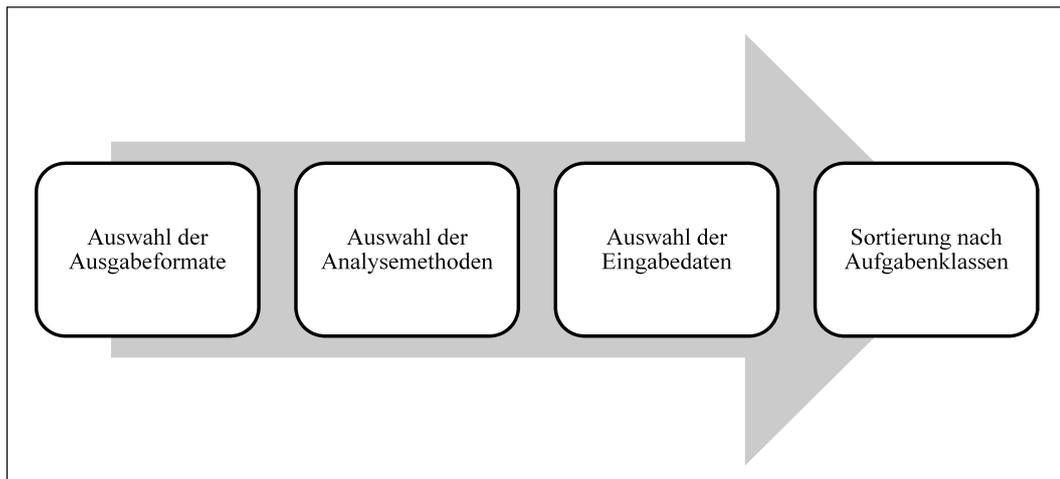


Abbildung 6.8: Vorgehensweise der groben Systematisierung der Anforderungen

**Detaillierte Analyse der Anforderungen nach Eingabe, Methode und Ausgabe** In dieser Aufgabe werden die Anforderungen und somit die Eingabedaten, Methoden und Ausgabeformate detailliert betrachtet. Je nach gewünschtem Ergebnis einer Datenanalyse und entsprechender Methode müssen verschiedene Vorbereitungen zur Spezifikation und Validierung der Anforderungen bzw. Methoden getroffen werden. Es ist wichtig, dass der operative Logistiker mit einbezogen wird, denn der Fokus der detaillierten Analyse liegt darauf, dass die Ergebnisse der Datenanalysen später auch logistisch interpretierbar sind. Die Vorgehensweise der detaillierten Analyse hängt von den Methoden ab, daher werden im Folgenden für ausgewählte Methoden Handlungsempfehlungen gegeben, nach denen die Anforderungen analysiert werden sollten.

### **Berechnung von Kennzahlen**

1. Schritt: Es muss genau definiert werden, welche Kennzahlen zu welchen Objekten über welche Zeiträume berechnet werden sollen. Zusätzlich muss festgelegt werden, ob die Kennzahlen ausgewertet werden sollen.
2. Schritt: Anschließend muss geprüft werden, aus welchen Eingabedaten die Kennzahlen berechnet werden können.
3. Schritt: Als letzten Schritt muss festgelegt werden, ob die Kennzahlen numerisch oder grafisch aufbereitet werden sollen.

### **Soll-Ist-Vergleich zur Identifikation von Abweichungen**

1. Schritt: Für jede Sollvorgabe muss geprüft werden, in welcher Form diese vorliegt und welche Eingabedaten mit dieser verglichen werden können.

Tabelle 6.2: Analysetabelle für Abweichungen einer Sollvorgabe

<b>Name der Sollvorgabe</b>	
<b>Inhalt</b>	Kurze Beschreibung des Inhalts der Sollvorgabe
<b>Abweichung</b>	Beschreibung der Abweichung je nach Datenformat
<b>Eingabe</b>	Eingabedaten für den Soll-Ist-Vergleich
<b>Methode</b>	Soll-ist-Vergleich
<b>Ausgabe</b>	Ausgabedaten des Soll-Ist-Vergleichs
<b>Wirkung</b>	Abweichung mit Handlungsspielraum oder mit Handlungszwang
<b>Eintreffen</b>	Gemeldetes oder nicht-gemeldetes Ereignis
<b>Abweichungsrichtung</b>	Positive oder negative Abweichung
<b>Ursachen</b>	Interne oder externe Abweichung

2. Schritt: Anschließend muss für jede Sollvorgabe definiert werden, welche möglichen Abweichungen auftreten können.
3. Schritt: Die Abweichungen müssen nach den Kategorien Wirkung, Eintreffen, Abweichungsrichtung und Ursachen eingeteilt werden (vgl. Abbildung 5.4). In der Kategorie Wirkung müssen für Abweichungen mit Handlungszwang Maßnahmen definiert werden. In der Kategorie Ursachen müssen mögliche Ursachen gesammelt und z. B. in Form eines Ursache-Wirkungs-Diagramms aufbereitet werden.
4. Schritt: Für alle Soll-Vorgaben und deren Abweichungen müssen die Ergebnisse der detaillierten Analyse in Form einer Tabelle aufbereitet werden, siehe Tabelle 6.2.

### **Bildung von Abfragen**

1. Schritt: Es muss definiert werden, nach welchen Formaten die Abfragen suchen sollen (z. B. Zustände, Ereignisse, Situationen, Transaktionen, Sequenzen oder Kennzahlen) und ob spezifische oder freie Abfragen durchgeführt werden sollen.
2. Schritt: Anschließend muss geprüft werden, ob die spezifischen Abfragen mit den Zustands- und Ereignisdaten, Transaktionen, Sequenzen und Situationen beantwortet werden können. Für freie Abfragen muss eine Abfragestruktur entwickelt werden, denn die Zustands- und Ereignisdaten bzw. Transaktionen, Sequenzen und Situationen können nur eingeschränkt beliebige Fragen beantworten.
3. Schritt: Für freie Abfragen müssen vom operativen Logistiker Abfrageszenarien entwickelt werden, die für die spätere Validierung verwendet werden können.

### **Durchführung einer Abhängigkeitsanalyse**

1. Schritt: Es muss definiert werden, ob zwischen Attributen oder Attributwerten Zusammenhänge aufgedeckt werden sollen. Anschließend müssen die gewünschten Attribute ausgewählt werden.
2. Schritt: Die Skalentypen der Attribute müssen bestimmt und darauf aufbauend die entsprechende Methode gewählt werden. Die Methode ist danach zu wählen, ob der Zusammenhang als numerischer Wert, als Diagramm oder als Regel abgebildet werden soll.

### **Durchführung von Clusteranalysen**

1. Schritt: Es muss zu Beginn definiert werden, welche Fragestellungen beantwortet werden sollen. Anschließend muss geprüft werden, ob die Lösung der Fragestellung als Cluster oder Ausreißer dargestellt werden kann.
2. Schritt: Die Eingabedaten müssen so gewählt werden, dass die Fragestellung auch beantwortet werden kann. Es ist darauf zu achten, dass die Methoden der Clusteranalyse die Ähnlichkeit der Daten bewertet und somit auch ein passendes Maß für die Ähnlichkeit ausgewählt werden muss.
3. Schritt: Abschließend muss die Methode der Clusteranalyse ausgewählt werden und geprüft werden, ob für diese weitere Vorbereitungen notwendig sind.

Die vorgestellten Schrittfolgen sind Empfehlungen zur Durchführung der detaillierten Analyse und sehr allgemein dargestellt. Je nach Anwendungsfall können diese variieren und zusätzliche Schritte beinhalten.

### **Anforderungsspezifikation**

Im Aufgabenbereich der Spezifikation muss formal beschrieben werden, wie die Methoden angewendet werden sollen. Dies kann z. B. in Form eines Flussdiagramms, in UML-Diagrammen oder in mathematischen Formeln erfolgen. Diesen Aufgabenbereich beschreibt der Softwareentwickler ohne den operativen Logistiker und arbeitet die Methoden so auf, dass diese beim späteren Entwurf des Informationssystems ohne größeren Aufwand übernommen werden können.

### **Anforderungvalidierung**

Die Anforderungvalidierung dient dazu, zu überprüfen, ob die ausgewählten Methoden auch die gewünschten Ergebnisse liefern. Die Methoden der Anforderungen werden auf den Test-Zustands- und -Ereignisdatenmengen ausgeführt. Die Ergebnisse müssen je nach Anforderung entsprechend der Wünsche des operativen Logistikers aufbereitet werden. Anschließend werden die Ergebnisse dem operativen Logistiker präsentiert, so dass bewertet werden kann, ob diese seinen Anforderungen gerecht werden

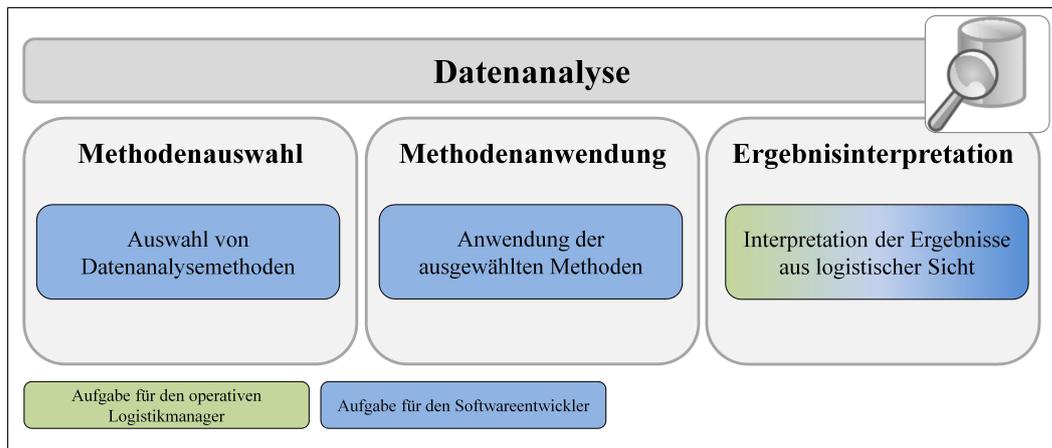


Abbildung 6.9: Aufgabenbereiche der Datenanalyse

oder nicht. Ist das nicht der Fall und die Anforderung wurde negativ validiert, muss mit der ersten Aufgabe, der Anforderungsermittlung, neu begonnen werden. Sind die Anforderungen positiv validiert, können die spezifizierten und validierten Anforderungen an die Phase des Entwurfs der Entwicklung des Informationssystems übergeben werden.

Damit ist die Beschreibung der Entwicklungsphase der Anforderungsbestimmung abgeschlossen und es wird mit der Darstellung der Datenanalyse begonnen.

### 6.2.3 Datenanalyse

Die Datenanalyse dient dazu, Analyseverfahren auf den Daten zu testen, die bisher noch nicht verwendet wurden. Dabei ist es das Ziel, die Analysepotentiale der Daten weiter auszuschöpfen und Informationen aus den Daten zu generieren, die bisher noch nicht in den Anforderungen des operativen Logistikers enthalten sind. Es werden drei Aufgabenbereiche bearbeitet: die Auswahl der Datenanalysemethoden, die Anwendung der ausgewählten Methoden und die Interpretation der Ergebnisse aus logistischer Sicht. Für die dritte Aufgabe zieht der Softwareentwickler den operativen Logistiker hinzu. Dieser muss die Ergebnisse der Analysen dahingehend interpretieren und bewerten, ob neue Informationen generiert werden oder nicht. Wenn eine Methode neue Informationen liefert, sollte diese in Form einer Anforderung formuliert werden und die zweite Entwicklungsphase muss für die neue Anforderung noch einmal durchlaufen werden, vgl. Abbildung 6.1. Die Aufgaben der Datenanalyse sind in Abbildung 6.9 dargestellt.

#### Methodenauswahl

Zur Auswahl der Methoden eignen sich Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4. Es sollten die Methoden ausgewählt werden, die bei der Anforderungsbestimmung bisher noch nicht verwendet wurden. Es kann so vorgegangen werden, dass von jeder Aufgabenklasse zwei Verfahrensgruppen gewählt werden und von diesen

dann jeweils ein Verfahren. Wie viele Methoden gewählt werden, bleibt dem Softwareentwickler selbst überlassen.

### **Methodenanwendung**

In diesem Aufgabenbereich müssen die Methoden auf den Test-Zustands- und -Ereignisdatenmengen durchgeführt und die Ergebnisse aufbereitet werden. Der Aufwand für die Anwendung der Methode hängt vom jeweiligen Verfahren ab. Es können auch Variationen verschiedener Verfahren durchgeführt werden, wenn die ersten Ergebnisse schon neue Informationen liefern.

### **Ergebnisinterpretation**

Die Ergebnisse der Methoden müssen abschließend in einem Workshop mit dem operativen Logistiker interpretiert und bewertet werden. Zielstellung ist es, die Ergebnisse der verwendeten Verfahren zu ermitteln, die neue Informationen über die logistischen Objekte liefern. Wenn Verfahren aufgedeckt werden, die neue Informationen aus den Daten generieren, sollten diese als Anforderungen des operativen Logistikers an das Informationssystem formuliert werden.

## **6.3 Ergebnisse des ganzheitlichen Konzepts**

Mit diesen drei Entwicklungsphasen ist das ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustands- und Ereignisdaten abgeschlossen. Es wurde ein konzeptionelles Modell des realen logistischen Systems erstellt, ein Datenmodell für die Zustands- und Ereignisdaten entwickelt und eine Transformation der vorhandenen Rohdaten in die Struktur der Zustands- und Ereignisdaten vorgenommen. In der zweiten Entwicklungsphase wurden die Anforderungen des operativen Logistikers in Datenanalysemethoden übersetzt und validiert. Die dritte Phase bietet die Möglichkeit weitere Potentiale zur Informationsgewinnung aus den Daten auszuschöpfen und bisher noch unbekannte Anforderungen abzuleiten. Damit wird die Phase des Requirements Engineering während der Entwicklung eines Informationssystems für das operative Logistikmanagements unterstützt und die Zusammenarbeit zwischen dem Softwareentwickler und operativen Logistiker gefördert. Außerdem wurde eine Vorgehensweise entwickelt, die dabei hilft die Datenflut zu sortieren und deren Analysepotentiale weiter auszuschöpfen.

Die wichtigsten Ergebnisse, die das ganzheitliche Konzept nach erfolgreicher Durchführung liefert, sind

- das konzeptionelle Modell des realen Systems,
- das Datenmodell der Zustands- und Ereignisdaten der logistischen Objekte,
- die Vorgaben zur Transformation der Rohdaten in das Datenmodell,
- die Identifizierung von fehlenden und nicht notwendigen Rohdaten,

- Empfehlungen für die Auswahl der Analysemethoden zur Erfüllung der Anforderungen des operativen Logistikers sowie
- Empfehlungen für Analysemethoden zur Ausschöpfung weiterer Potentiale zur Informationsgenerierung aus den Zustands- und Ereignisdaten.

# Kapitel 7

## Anwendungsbeispiele

In diesem Kapitel wird das ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte an zwei Beispielen demonstriert und validiert. Im ersten Beispiel wird als logistisches System ein Frachtflughafen behandelt, an dem die Prozesse Transport, Umschlag und Lagerung von Flugzeugcontainern überwacht werden. Die notwendige Test-Zustandsdatenmenge zur Anwendung der ausgewählten Analyseverfahren wurde aus einem ereignisdiskreten Simulationsmodell des Frachtflughafens gewonnen. Der Fokus des Beispiels liegt auf der Demonstration der beiden Entwicklungsphasen Anforderungsbestimmung und Datenanalyse. Das zweite Beispiel ist aus dem Bereich der Wäschereilogistik und behandelt als logistisches System einen Wäschereikreislauf. Die Test-Zustandsdatenmenge besteht aus realen Rohdaten, die mit der implementierten RFID-Technologie erzeugt wurden. Der Fokus der Betrachtung liegt in der Darstellung, wie mit Hilfe des ganzheitlichen Konzepts, Handlungsempfehlungen zur Implementierung weiterer Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien gewonnen werden.

### 7.1 Anwendungsbeispiel Frachtflughafen

Als logistisches System dient in diesem ersten Anwendungsbeispiel ein vereinfachtes Modell eines realen deutschen Frachtflughafens. Auf dem Flughafen werden Flugzeugcontainer aus den ankommenden Flugzeugen entladen, im Lager eingelagert und anschließend in die abfliegenden Flugzeuge verladen. Die betrachteten Container sind zum Teil Kühlcontainer und enthalten zerbrechliche Waren. Es wird angenommen, dass die logistischen Objekte des Frachtflughafens mit Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien ausgestattet sind und somit Zustandsdaten zur Überwachung des Systems vorhanden sind. Das strategische Flughafenmanagement hat beschlossen ein Informationssystem zur operativen Überwachung des Flughafens zu entwickeln und zu implementieren. Das ganzheitliche Konzept wird in der Phase des Requirements Engineering vom operativen Logistikmanager zusammen mit dem Softwareentwickler durchgeführt.

Da der Frachtflughafen in der hier dargestellten Form nicht real existiert, wurde ein ereignisdiskretes

Simulationsmodell entwickelt. Dieses bildet das Verhalten der bewegten Objekte auf dem Flughafen ab und erzeugt als Ausgangsgrößen die Zustandsdaten der logistischen Objekte. Im Simulationsmodell wurden Störungen wie Ausfall der Kühlung und Erschütterung der Container als stochastische Einflüsse implementiert. Eingangsgrößen des Simulationsmodells sind Ankunfts- und Abflugzeiten der Flugzeuge sowie deren Ladung, die am Flughafen umgeschlagen wird.

Die Rahmenbedingungen auf dem Frachtflughafen sind realitätsnah gewählt. Das Layout ist an einen realen Frachtflughafen angelehnt, daher entsprechen die Entfernungen zwischen den stationären Objekten realistischen Entfernungen. Die maximalen Kapazitäten der bewegten Objekte sowie auch die Größe und die Ladung der Flugzeuge gleichen realen Werten. Die maximalen Kapazitäten der stationären Objektmengen sind Annahmen, die sich aber an realen Werten und dem maximalen Durchsatz des Systems orientieren. Die Prozesszeiten wurden entsprechend den Entfernungen und Geschwindigkeiten bestimmt und bei Umschlagprozessen mit Erfahrungswerten abgeschätzt. Die Validierung und Verifikation des Simulationsmodells wurde mittels Begutachtung, Dimensionstests, Vergleich von Ergebnissen aus Überschlagsrechnungen und Trace-Analysen durchgeführt.

### 7.1.1 Situationsanalyse des Frachtflughafens

Die Situationsanalyse ist die erste Entwicklungsphase des ganzheitlichen Konzepts, welche der operative Logistikmanager zusammen mit dem Softwareentwickler bearbeitet. Die Phase beginnt mit der Zielbeschreibung, im Anschluss daran folgt die Hintergrundanalyse und darauf aufbauend die Wissensorganisation, vgl. Kapitel 6.2.1.

#### Zielbeschreibung

Den Aufgabenbereich der Zielbeschreibung erarbeitet der operative Logistikmanager ohne den Software-Ingenieur. Es werden zuerst die Ziele des operativen Betriebs definiert und anschließend mögliche Probleme beschrieben.

**Zieldefinition** Das übergeordnete Ziel des operativen Logistikmanagements wird mit Hilfe der 6+2 Richtigen der Logistik definiert, vgl. Tabelle 6.1. Die ersten vier Richtigen der Logistik beziehen sich auf das Objekt, die Anzahl, den Ort und die Zeit. Der Umschlag der Flugzeugcontainer stellt die Logistikleistung des Flughafens dar. Daher ist die Bereitstellung des richtigen Containers (Einzahl) zur richtigen Zeit im richtigen Flugzeug das Ziel des operativen Logistikmanagements. Die weiteren vier Richtigen der Logistik beziehen sich auf die Kriterien Kosten, Qualität, Ökologie und Informationen. In diesem Beispiel wird nur die Qualität der Container betrachtet. Da Kühlcontainer und auch Container mit zerbrechlicher Ware umgeschlagen werden, werden für die richtige Qualität die richtige Temperatur und die Unversehrtheit der Ware als Qualitätsziele definiert. Die Zielstellung des operativen Logistikmanagements ist in Tabelle 7.1 dargestellt.

Tabelle 7.1: Zielstellung des Frachtflughafens

Die 6+2 Richtigen		Ziel
1	Das richtige Objekt	Der richtige Container
2	In der richtigen Anzahl	Einzahl
3	Am richtigen Ort	Im richtigen Flugzeug
4	Zur richtigen Zeit	Zum richtigen Zeitpunkt
<b>Prozessaspekte</b>		
5	Zu den richtigen Kosten	-
6	Mit der richtigen Qualität	Mit der richtigen Temperatur und unversehrt
+1	Ökologisch richtig	-
+1	Mit den richtigen Informationen	-

**Problembeschreibung** Entsprechend Abbildung 6.3 und aufbauend auf Tabelle 7.1 sammelt der operative Logistikmanager mögliche Probleme, die in Bezug zur Zielstellung auftreten. In Abbildung 7.1 sind die wichtigsten Probleme aufgelistet.

Der Aufgabenbereich der Zielbeschreibung ist abgeschlossen und die Ergebnisse werden dem Software-Ingenieur in einem Workshop übergeben.

### Hintergrundanalyse

Die Hintergrundanalyse ist in sechs Aufgaben unterteilt, von denen die ersten vier vom operativen Logistikmanager erarbeitet werden. Zur Bearbeitung der letzten zwei Aufgaben wird der Software-Ingenieur hinzugezogen.

**Objekttypen und -mengen** In dieser Aufgabe müssen alle Objekttypen und -mengen des Frachtflughafens definiert werden. Wie in Kapitel 6.2.1 beschrieben, wird dazu Tabelle 2.4 hinzugezogen. Der kleinste physische und bewegte Objekttyp ist der Flugzeugcontainer, auch Unit Load Device (ULD) genannt. Der ULD-Container ist eine Ladeinheit, die nicht geöffnet, sondern am Flughafen mit bleibendem Inhalt umgeschlagen wird. Die Transportmittel sind an- und abfliegende Flugzeuge sowie Schlepper (Tug) mit Anhängern (Dolly). Auf dem Flughafen befinden sich ein Lager für die ULD-Container sowie Standplätze der Flugzeuge (Stand), auf denen die ULD-Container von einem Flugzeug auf einen Dolly umgeschlagen werden. Transportwege befinden sich zwischen den Standplätzen der Flugzeuge und dem Lager. Für die Tugs und Dollys befindet sich auf dem Vorfeld ein Bereich zum Parken (Pool) sowie eine Werkstatt und Tankstelle. In Tabelle 7.2 sind die Objektmengen mit deren Eigenschaften dargestellt.

**Relationen** Wie in Kapitel 6.2.1 beschrieben, lassen sich Relationen zwischen Objekten aus den Klassen der Objekttypen ableiten. Aus der Klasse der verschachtelten Objekttypen lässt sich die Relation *beinhaltet* ableiten. Diese Relation besteht zwischen einer Vielzahl von Objekttypen, wie z. B. zwischen

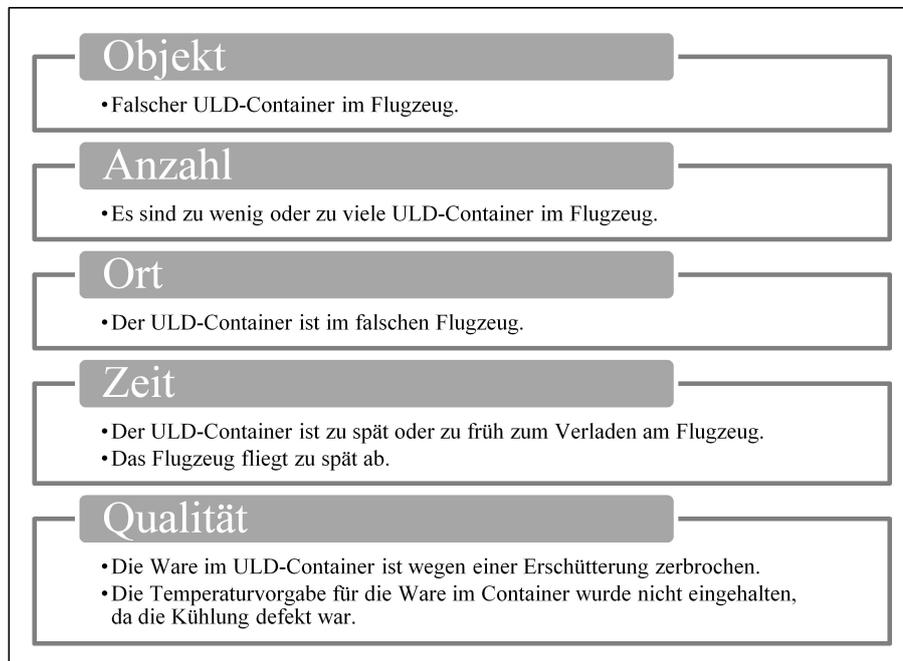


Abbildung 7.1: Probleme des operativen Logistikmanagements am Frachtflughafen

Tabelle 7.2: Physische Objekttypen und -mengen des Frachtflughafens

<b>Objekttyp</b>	<b>Objektmengen</b>	<b>bewegt</b>	<b>stationär</b>	<b>verschachtelt</b>	<b>nicht verschachtelt</b>
Ladeinheit	ULD-Container	x			x
Transportmittel	Flugzeug	x		x	
	Tug	x		x	
	Dolly	x		x	
Transportkanal	Transportweg		x	x	
Lager	Lager		x	x	
Umschlagpunkt	Stand		x	x	
Standplatz	Pool		x	x	
	Werkstatt		x	x	
	Tankstelle		x	x	

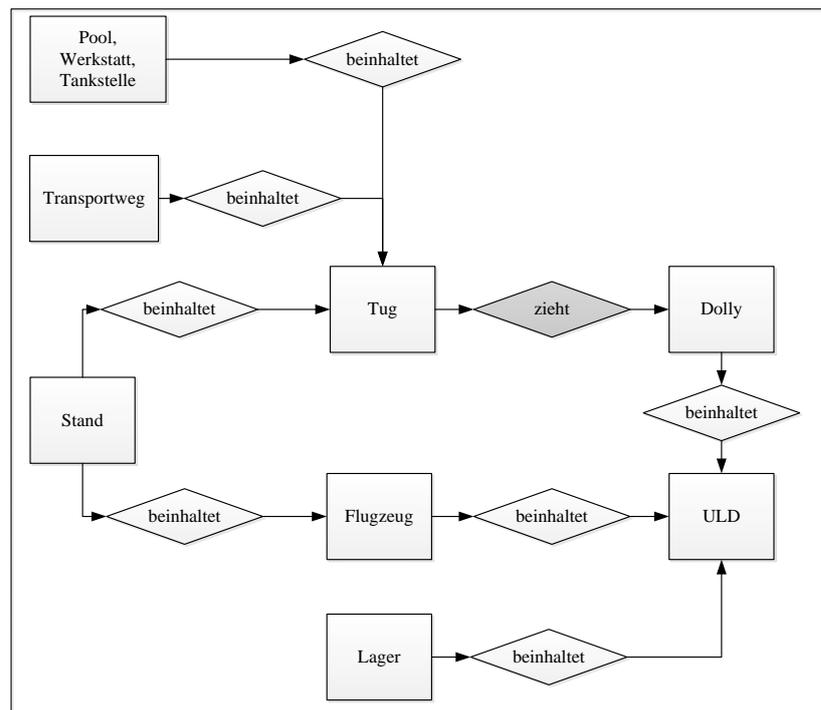


Abbildung 7.2: Relationen zwischen den Objektmengen des Frachtflughafens

dem Stand und den Flugzeugen, Tugs, Dollys und ULD-Containern. Da der Schlepper den Anhänger zieht, besteht zwischen diesen beiden Objektmengen zusätzlich die Relation *zieht*. Eine Übersicht über die Relationen ist in Abbildung 7.2 dargestellt.

**Systemstruktur und Objektfluss** In dieser Aufgabe muss die Anordnung der stationären Objektmengen im System aufbereitet werden. Eine Strukturdarstellung des Frachtflughafens ist in Abbildung 7.3 dargestellt. Diese ist schematisch und bildet daher nicht alle Einzelheiten ab. Durch verschiedenfarbige Pfeile sind die Flüsse der bewegten Objektmengen gekennzeichnet.

**Prozesse der bewegten Objektmengen** Für alle bewegten Objektmengen müssen deren Prozessschritte definiert werden. Der ULD-Container wird mit einem Flugzeug am Frachtflughafen angeliefert und auf einen Anhänger (Dolly) verladen. Der Anhänger ist an einen Schlepper (Tug) angekoppelt, der diesen zusammen mit dem ULD-Container zum Lager transportiert. Dort wird der ULD-Container eingelagert. Wenn ein Flugzeug vollständig entladen ist, muss dieses nach den Planvorgaben des taktischen Logistikmanagements mit neuen ULD-Containern beladen werden. Die vorgeschriebenen ULD-Container werden aus dem Lager ausgelagert und auf Anhänger verladen. Mit Schleppern werden diese Anhänger dann zu dem entsprechenden Flugzeug transportiert. Dort werden die ULD-Container in das Flugzeug verladen. Die Prozesse der Objektmengen sind in Abbildung 7.4 als Prozessketten dargestellt.

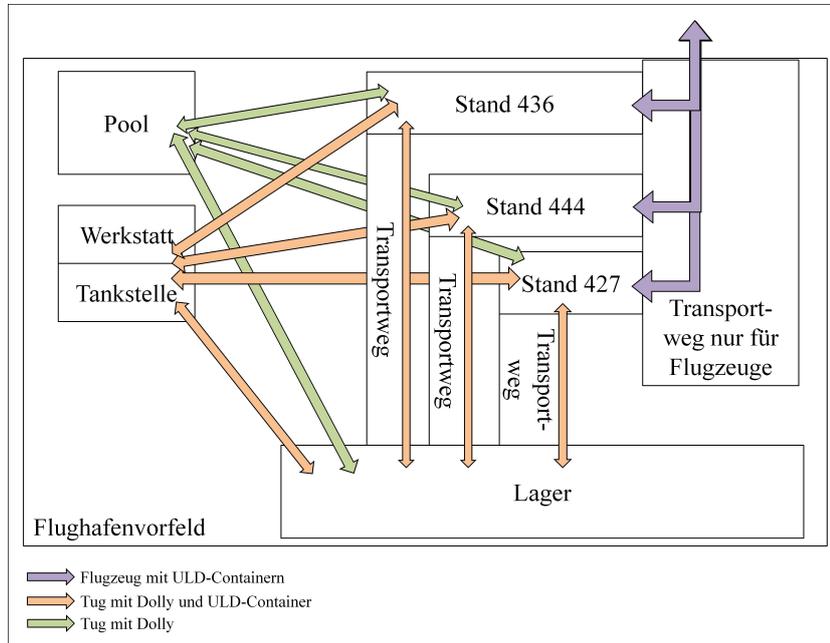


Abbildung 7.3: Systemstruktur und Objektfluss des Frachtflughafens

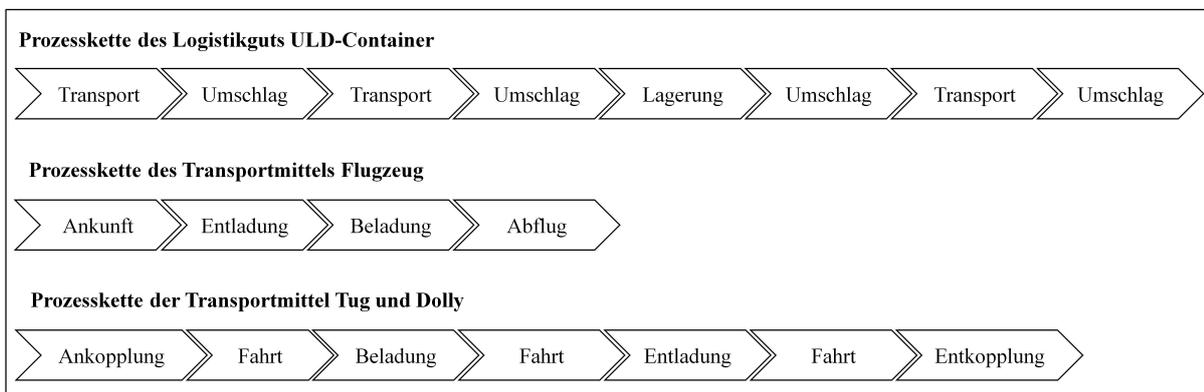


Abbildung 7.4: Prozesse der bewegten Objekttypen

Tabelle 7.3: Identifikationsnummern der Objektmengen des Frachtflughafens

<b>Bewegte Objektmengen</b>		<b>Identifikationsnummern</b>
$ID_{ULD}$	ULD-Container	ULD001, ULD003, ULD005, ULD007, ...
$ID_{FLZ}$	Flugzeug	FLZ1, FLZ2, FLZ3, FLZ4, FLZ5, FLZ6, ...
$ID_{Tug}$	Tug	Tug01, Tug02, Tug03, Tug04, Tug05, ...
$ID_{Dolly}$	Dolly	Dolly01, Dolly02, Dolly03, Dolly04, Dolly05, ...
<b>Stationäre Objektmengen</b>		<b>Identifikationsnummern</b>
$ID_{TW}$	Transportweg	Weg St427-W, Weg W-St427, Weg St436-W, Weg W-St436, Weg St444-W, Weg W-St444
$ID_W$	Lager	W
$ID_{St}$	Stand	St427, St436, St444
$ID_P$	Pool	Pool
$ID_G$	Werkstatt	G
$ID_{GS}$	Tankstelle	GS

**Stammdaten und Sollvorgaben** Zur Bearbeitung der fünften Aufgabe zieht der operative Logistiker den Software-Ingenieur hinzu. In dieser Aufgabe müssen Stammdaten und Sollvorgaben der Objektmengen definiert werden. Damit jedes Objekt eindeutig identifizierbar ist, wird diesem eine Identifikationsnummer zugewiesen. In Tabelle 7.3 sind diese nach Objektmengen sortiert aufgelistet.

Die ULD-Container sind nicht-verschachtelte, bewegte Objektmengen, deren Außenmaße und Gewichte beim Verladen in die verschachtelten Objektmengen berücksichtigt werden müssen. Außerdem sind ein Teil der ULD-Container Kühlcontainer. Diese Eigenschaften werden in Form von Containertypen in den Stammdaten definiert. Zum besseren Verständnis sind in Abbildung 7.5 verschiedene Containertypen dargestellt.

Im nächsten Schritt werden die Stammdaten der verschachtelten und bewegten Objekte (Flugzeuge, Schlepper und Anhänger) definiert. Da Flugzeuge und Anhänger nur mit einer begrenzten Anzahl an Containern beladen werden können, müssen deren maximale Ladekapazitäten in den Stammdaten festgelegt werden. Verschiedene ULD-Containertypen können in verschiedenen Mengen in Flugzeuge verladen werden, daher wird für ULD-Container in den Stammdaten eine Einteilung nach Flugzeugtypen vorgenommen. Die Anhänger haben eine maximale Ladekapazität von jeweils einem ULD-Container beliebigen Typs. Ein Schlepper (Tug) kann maximal vier Anhänger gleichzeitig ziehen.

Als letzte Klasse werden die verschachtelten, stationären Objektmengen betrachtet. Neben der Identifikationsnummer wird in deren Stammdaten festgelegt, wie viele Objektmengen sich gleichzeitig an diesen Standorten aufhalten können. Jeder Standplatz ist für ein Flugzeug und jeder Transportweg ist für die gleichzeitige Nutzung durch maximal vier Schlepper (zzgl. je vier Anhängern) ausgelegt. Das Lager hat 250 Stellplätze für ULD-Container. An der Tankstelle und der Werkstatt können maximal drei Schlepper gleichzeitig bedient werden. Da die Objekte stationär sind, ändert sich deren Ort nicht. Deswegen werden Stammdaten hinterlegt, die deren geografische Lage auf dem Frachtflughafen abbilden.

Damit sind die notwendigen Stammdaten der Objektmengen ermittelt und beschrieben. In Abbildung 7.6

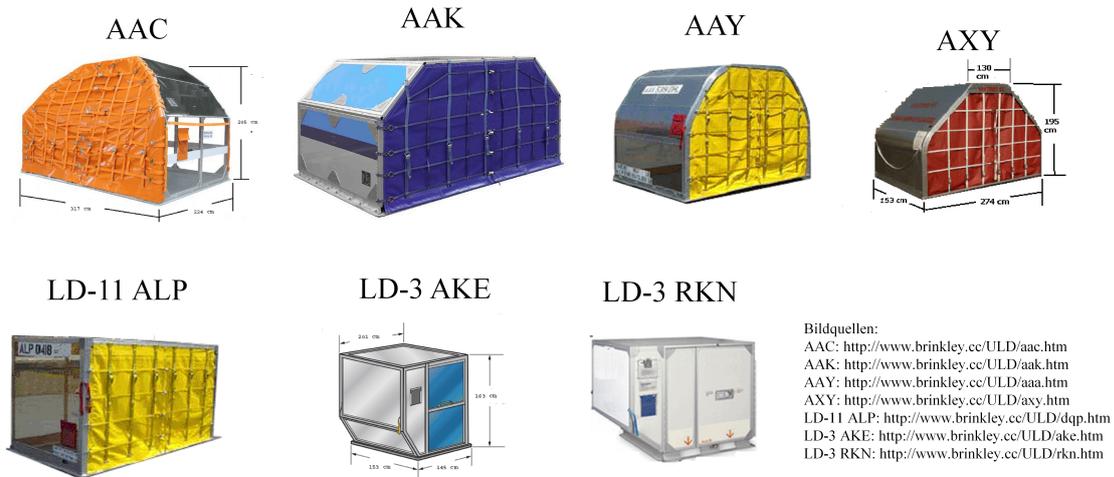


Abbildung 7.5: Übersicht über eine Auswahl an ULD-Containern

sind die Stammdaten als Datenmodell zur Übersicht dargestellt. Die einzelnen Entitäten sind mit Namen, Primärschlüssel und Attributen nach bewegten und stationären Objektmengen sortiert. Zwischen den Stammdaten der Containertypen und den Stammdaten der ULD-Container sowie zwischen den Stammdaten der Flugzeugtypen und den Stammdaten der Flugzeuge besteht jeweils eine 1:n Beziehung. Damit ist die Teilaufgabe der Definition der Stammdaten abgeschlossen. Nun werden Sollvorgaben der Objektmengen definiert.

Die Sollvorgaben werden auf Basis der internen Aufträge des taktischen Logistikmanagements und Vorgaben der Kunden erstellt. Die Kunden des Frachtflughafens fordern, dass die ULD-Container während des Umschlags keinen starken Erschütterungen ausgesetzt sind und die Kühlung dauerhaft funktioniert, vgl. Tabelle 7.1. In den ULD-Containern sind Waren (z. B. Festplatten) enthalten, die nicht stärker als 800 G pro 1 ms (ca. 30 km/h) beschleunigt werden dürfen. Daher gilt für die Erschütterung als Sollvorgabe ein Toleranzbereich zwischen  $[0, 800 G]$  bei 1 ms. Die Waren in den Kühlcontainern (z. B. Medikamente) müssen dauerhaft zwischen  $2^{\circ}$  und  $8^{\circ} C$  gekühlt werden. Falls die Kühlung ausfällt und die Temperatur der Ware außerhalb des Toleranzbereichs gerät, ist die Ware verdorben und kann nicht mehr verwendet werden. Diese Qualitätsvorgaben sind in Abbildung 7.7 auf der linken Seite nach den 6+2 Richtigen der Logistik dargestellt.

Die Kunden des Frachtflughafens geben Liefertermine für ULD-Container vor, aus denen das operative Management Vorgaben für Abflugzeiten und Ladungen der Flugzeuge bestimmen. Diese müssen zwingend eingehalten werden. Die Sollvorgabe, die die pünktliche Bereitstellung der Flugzeuge beschreibt, ist in Abbildung 7.7 auf der rechten Seite dargestellt. Außerdem ergeben sich daraus auch Sollvorgaben für die Flugzeuge. Diese beinhalten vorgeschriebene Ankunfts- und Abflugzeiten sowie Vorgaben, auf welchem Standplatz das jeweilige Flugzeug be- und entladen wird. In Abbildung 7.8 ist diese Sollvorgabe auf der linken Seite abgebildet.

Damit die Prozesse am Flughafen reibungslos ablaufen, müssen die Tugs dauerhaft funktionstüchtig

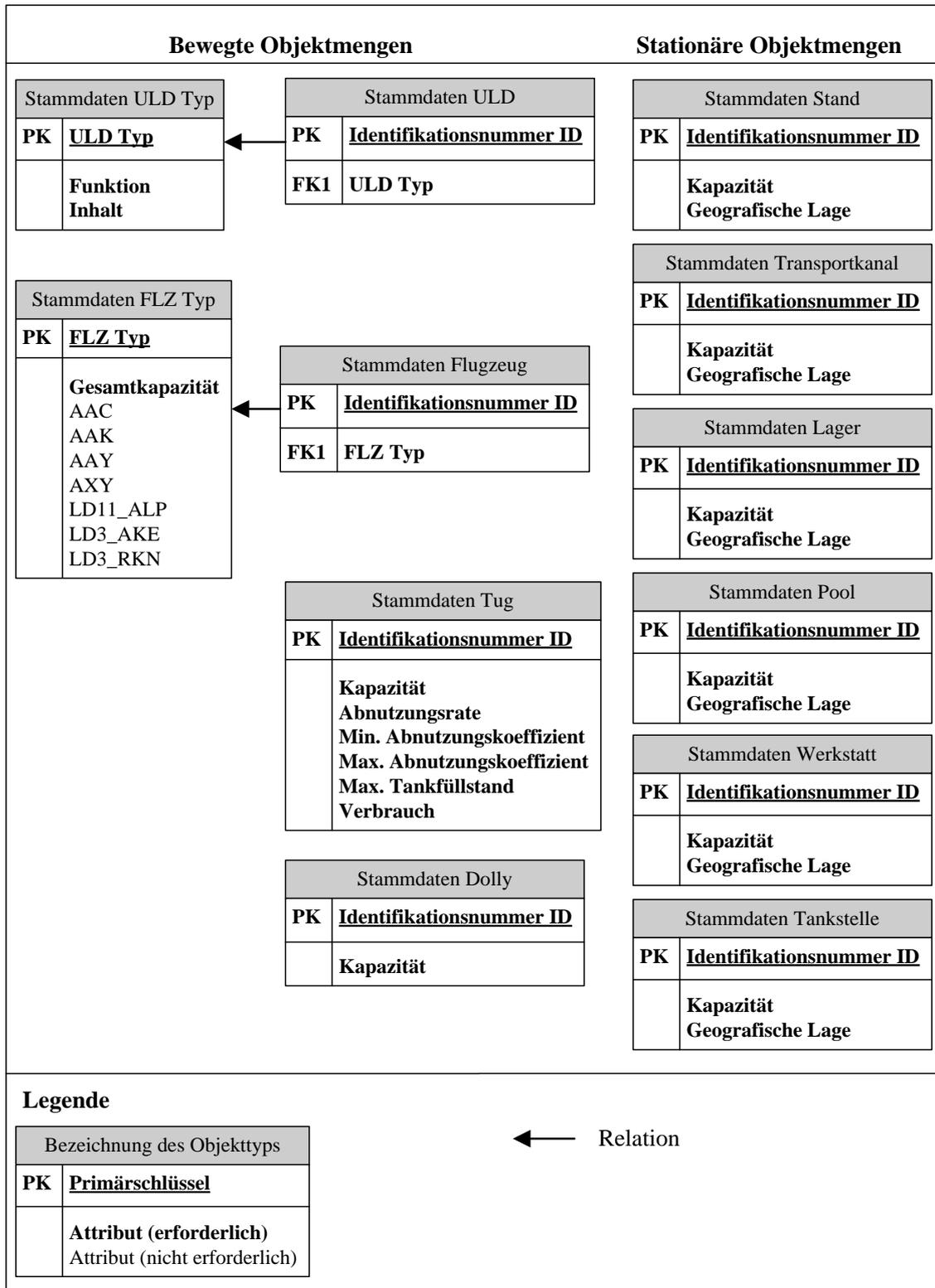


Abbildung 7.6: Datenmodell der Stammdaten der Objektmengen des Frachtflughafens

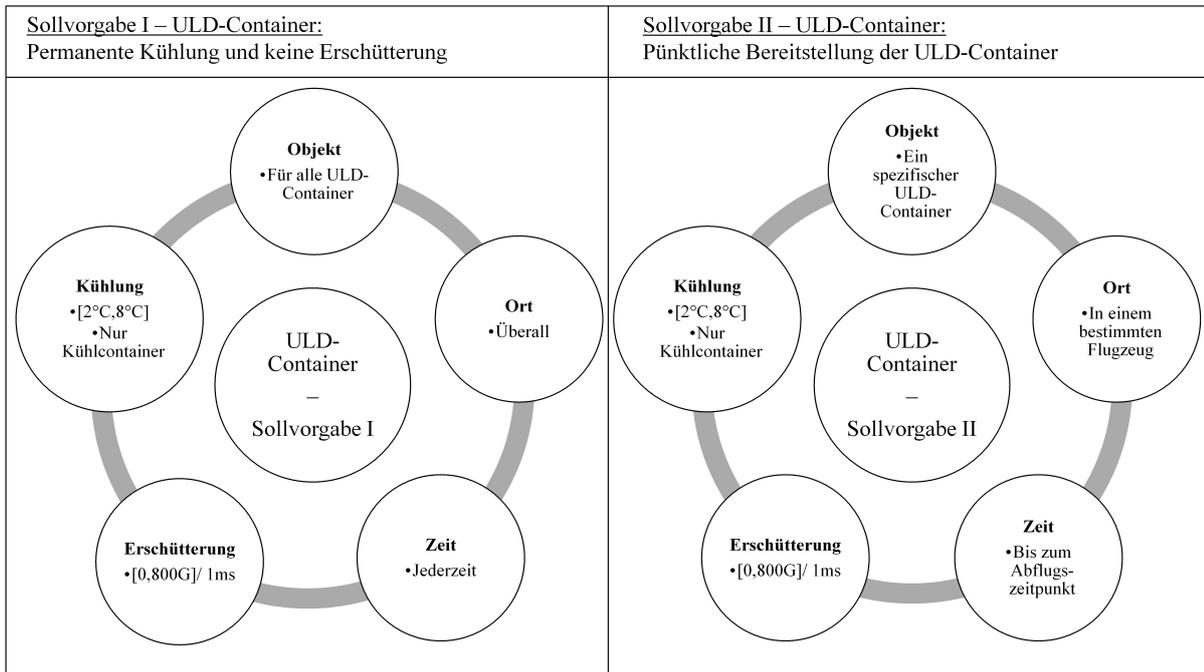


Abbildung 7.7: Sollvorgaben für die ULD-Container

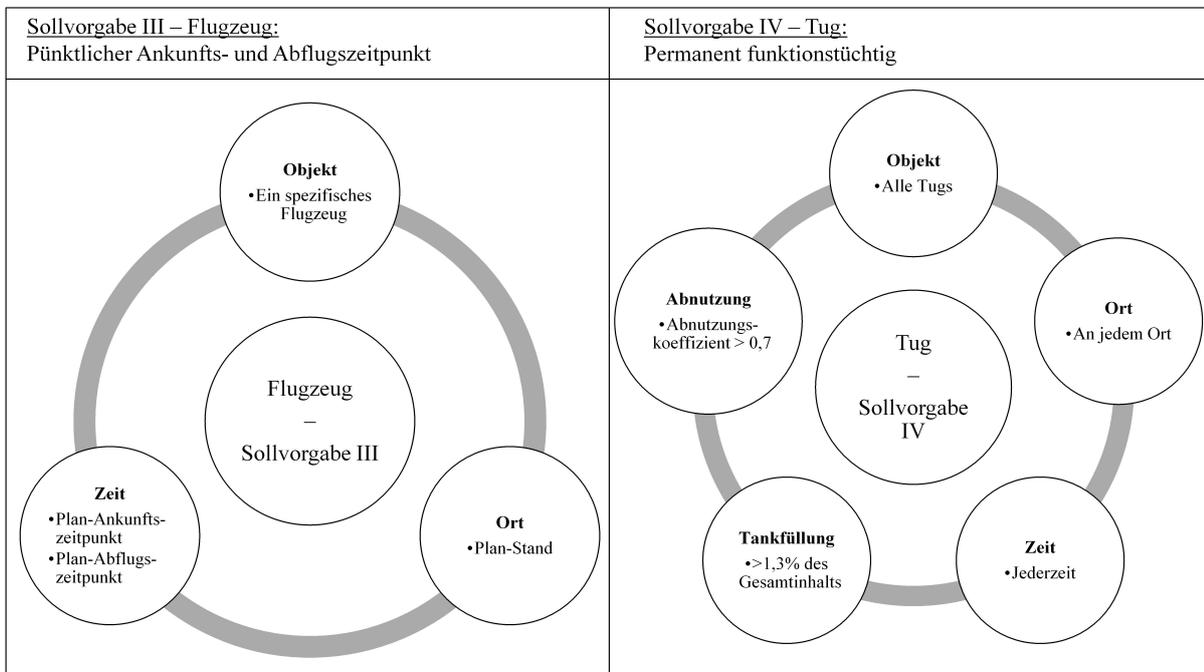


Abbildung 7.8: Sollvorgaben für Flugzeuge und Schlepper

sein. Daher werden Sollvorgaben für deren Tankfüllung und deren Abnutzungskoeffizienten bestimmt. Es werden Toleranzgrenzen definiert, bei deren Unterschreitung die Schlepper umgehend betankt bzw. gewartet werden müssen. Der untere Grenzwert für die Tankfüllung liegt bei 1,3 % des Gesamtinhalts. Der restliche Tankinhalt genügt, um den aktuellen Prozess zu beenden und zur Tankstelle zu fahren. Für den Abnutzungskoeffizienten (Wert liegt zwischen 0 und 1) liegt der Grenzwert bei 0,7. Dieser wurde so hoch gewählt, da die Schlepper sehr stark beansprucht werden und ein Ausfall die Einhaltung der Liefertermine der Kunden verzögern würde. Die Sollvorgabe der Schlepper ist in Abbildung 7.8 auf der rechten Seite dargestellt.

Damit ist die fünfte Aufgabe abgeschlossen und das konzeptionelle Modell vollständig. Im nächsten Schritt bearbeitet der operative Logistiker gemeinsam mit dem Software-Ingenieur die sechste Aufgabe, bei der die vorhandenen Informationssysteme und Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien des Frachtflughafens aufbereitet werden.

**Bestehende Informationssysteme & Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien** Als Informationssystem wird am Frachtflughafen ein ERP-System verwendet, das Kunden- und interne Aufträge verwaltet. In dem zugehörigen DW-System sind alle Kunden- und Auftragsdaten gespeichert. Auch die notwendigen Stammdaten liegen dort vollständig vor.

Die Überwachung der Prozesse wird mit Hilfe verschiedener Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien durchgeführt. Die bewegten Objekte, wie ULD-Container, Tug, Dolly und Flugzeuge, sind mit RFID-Transpondern ausgestattet, welche über Antennensysteme ausgelesen werden. Der Zustand der ULD-Container wird über der gesamten Prozesskette verfolgt. In Abbildung 7.9 ist schematisch dargestellt, wie die Überwachung der ULD-Container umgesetzt ist. Wenn ein Flugzeug auf dem Frachtflughafen landet, ist die ID des Flugzeugs mit den IDs der ULD-Container, die im Flugzeug enthalten sind, im DW-System verheiratet. Nachdem der ULD-Container auf den Dolly verladen wurde, liest der Mitarbeiter mit Hilfe eines Handlesegeräts den Transponder am ULD-Container sowie den am Dolly aus und bestätigt den Umschlag des Containers. In der Datenbank wird die ID des ULD-Containers von der ID des Flugzeugs geschieden und mit der ID des Dollys verheiratet. Analog laufen diese Informationsprozesse auch bei allen weiteren Umschlagprozessen ab. Damit lässt sich über die gesamte Prozesskette hinweg ablesen, wann der ULD-Container sich wo aufgehalten hat. Weitere Technologien, die zur Überwachung der ULD-Container eingesetzt werden, sind Sensoren. An jedem ULD-Container ist ein Sensor befestigt, der die Erschütterung des ULD-Containers misst. Wenn die definierte Toleranzgrenze überschritten wird, meldet der Sensor dieses Ereignis an das DW-System. Analog wird auch die Temperatur in den Kühlcontainern mit einem Temperatursensor überwacht. Steigt bzw. fällt die Temperatur über bzw. unter die Toleranzgrenzen, wird dieser Vorfall an das DW-System gemeldet.

Zur Überwachung der Positionen der Flugzeuge und Schlepper sind in den Objekten GPS-Sender eingebaut. Sobald die Objekte den Bereich eines stationären Objekts betreten, meldet der Sender seine Position an das DW-System. Damit wird die Position der bewegten Objekte dauerhaft überwacht und kontrolliert. Die Positionsüberwachung der Anhänger erfolgt mit der Positionsüberwachung der Schlepper. Denn nur

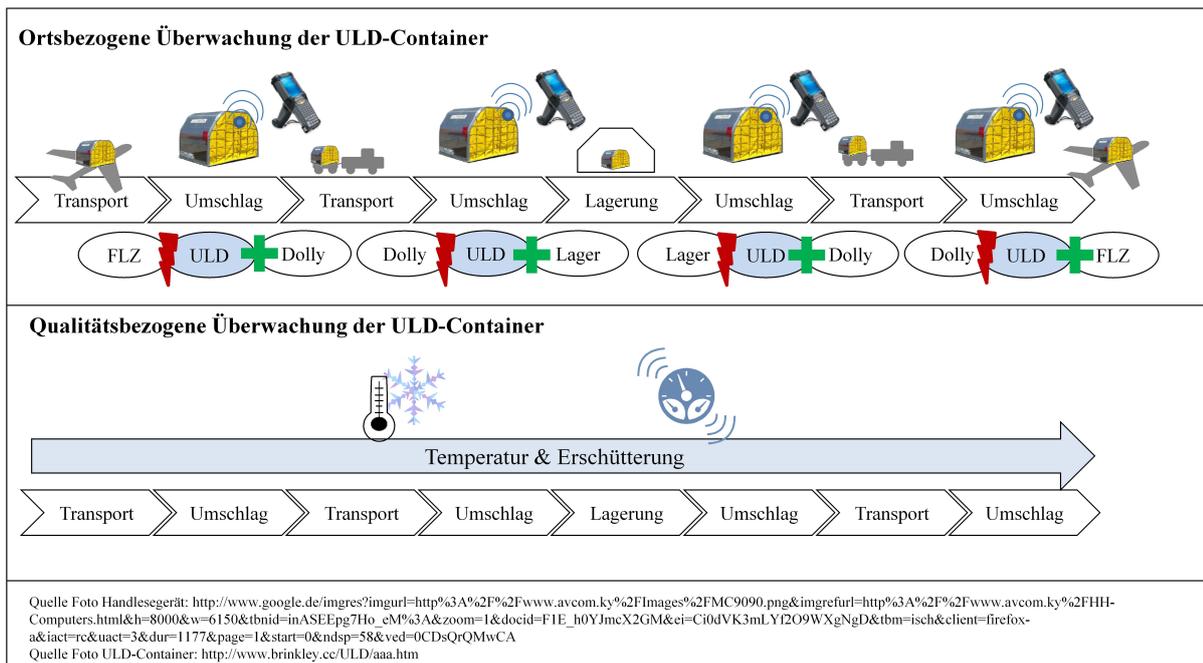


Abbildung 7.9: Orts- und qualitätsbezogene Überwachung der ULD-Container am Frachtflughafen

mit einem Schlepper kann ein Anhänger seine Position verändern. Daher werden bei Ankopplung des Anhängers an den Schlepper beide Transponder mit einem Handlesegerät ausgelesen und deren IDs im DW-System verheiratet. Nach Entkopplung, erfolgt über eine wiederholte Auslesung beider Transponder die Scheidung der IDs im DW-System. Der Tankfüllstand der Schlepper wird über einen Sensor im Tank überwacht. Ändert der Schlepper seinen Ort, wird der aktuelle Tankfüllstand an das DW-System gemeldet. Der Abnutzungskoeffizient wird über die gefahrene Strecke bestimmt. Für jeden gefahrenen Kilometer verringert sich der Abnutzungskoeffizient um den Wert  $10^{-4}$ . Diese technische Umsetzung der Überwachung der Flugzeuge und Schlepper ist in Abbildung 7.10 schematisch dargestellt.

Damit ist die Hintergrundanalyse für den Frachtflughafen erfolgreich abgeschlossen und es wird mit dem Aufgabenbereich der Wissensorganisation begonnen. Für die ersten zwei Aufgaben, die Entwicklung der Struktur der Zustandsdaten und die Definition der Wertebereiche der Attribute, wird als Wissensgrundlage das konzeptionelle Modell des Frachtflughafens verwendet, vgl. Abbildung 6.2.

### Wissensorganisation

Im Aufgabenbereich der Wissensorganisation wird das Wissen über das logistische System gebündelt und in ein Datenmodell übertragen. Die erste Aufgabe ist die Entwicklung der Struktur der Zustandsdaten.

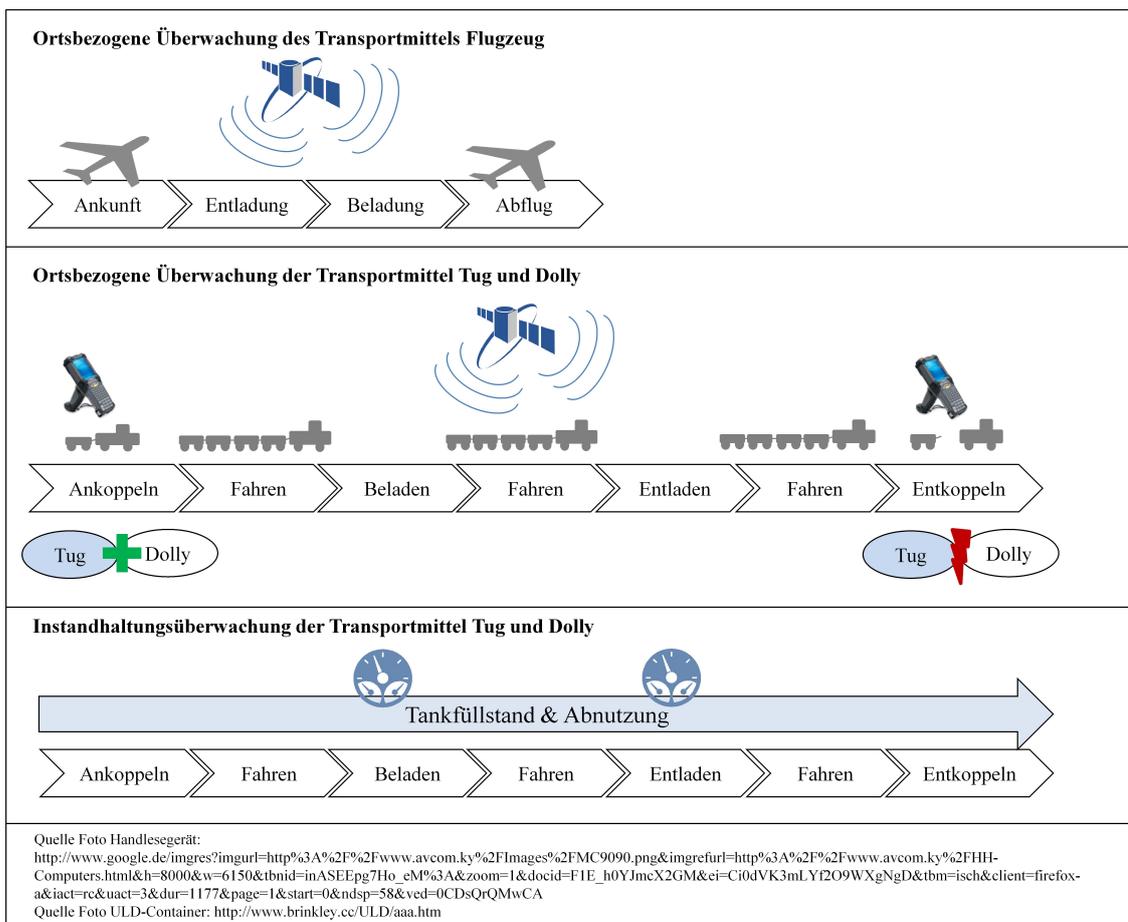


Abbildung 7.10: Orts- und instandhaltungsbezogene Überwachung der Flugzeuge und Schlepper am Frachtflughafen

**Struktur der Zustandsdaten** Zur Entwicklung der Struktur der Zustandsdaten der logistischen Objekte werden die 6+2 Richtigen der Logistik betrachtet. Jede Objektmenge hat als ersten Eintrag im Zustandsvektor die entsprechende Identifikationsnummer. Diese wurde bei der Definition der Stammdaten festgelegt, vgl. Tabelle 7.3. Der zweite Eintrag ist der Zeitstempel. Dieser wird eingetragen, wenn ein Ereignis (Änderung eines Attributwerts, vgl. Gleichung 2.2) eintritt. Die anderen Komponenten der Zustandsvektoren sind Attribute, die aus den Kriterien der 6+2 Richtigen der Logistik, den Relationen und den Prozessen abgeleitet werden, vgl. Abbildung 6.6. Der Ort ist für alle bewegten Objektmengen als Attribut notwendig, da die Objekte sich durch das System bewegen. Für die ULD-Container und Schlepper muss die Qualität berücksichtigt werden. Der Inhalt der ULD-Container darf keiner starken Erschütterung ausgesetzt sein und muss gekühlt werden. Daher werden für die ULD-Container zwei Attribute festgelegt, eins für die Temperatur und eins für den Wert der Erschütterung. Für die Schlepper wurden Toleranzgrenzen zum Tankfüllstand und zur Abnutzungsrate definiert. Diese werden als Attribute im Zustandsvektor der Schlepper mit aufgenommen.

Der nächste Schritt zur Ableitung weiterer Attribute ist die Betrachtung der Relationen aus Abbildung 7.2. Die Relation *beinhaltet* bedeutet, dass eine Objektmenge eine andere enthalten kann. Demzufolge wird aus dieser Relation das Attribut Inhalt abgeleitet. Die zweite Relation stellt dar, dass ein Schlepper bis zu vier Dollys ziehen kann. Daher wird für diese das Attribut Anhänger definiert.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von Attributen sind die zuvor definierten Prozesse der bewegten Objekte, vgl. Abbildung 7.4. Um Überwachen zu können, ob die Reihenfolge der Prozesse eingehalten wurde, werden die Prozesse als Status der Objekte in der Menge der Attribute abgebildet.

In Abbildung 7.11 ist die Struktur der Zustandsvektoren aller Objektmengen in einem Datenmodell dargestellt. Die Relationen *beinhaltet* und *zieht* werden durch Pfeile dargestellt. Die Pfeile beschreiben, welche Objektmenge als Wert für welche Attribute anderer Objekte auftritt. Beispielsweise ist der ULD-Container Inhalt des Anhängers, der Anhänger ist aber gleichzeitig der Aufenthaltsort der ULD-Container.

**Wertebereiche der Attribute** Um die idealen Wertebereiche der Attribute bestimmen zu können, müssen Zustands- und Attributsfunktionen der Entitätstypen definiert werden. Die Objektmengen, die die Identifikationsnummern der einzelnen Objekte beinhalten, siehe Tabelle 7.3, sind die Entitätstypen. Das Zeitintervall  $T$  ist variabel und entspricht der Darstellung aus Kapitel 5.3. Für jede Objektmenge müssen die Zustandsfunktion zusammen mit den Attributsfunktionen und deren idealen Wertebereichen definiert werden.

Exemplarisch wird dies im Folgenden für den ULD-Container dargestellt. Die Herleitung der Zustandsfunktionen und idealen Wertebereiche der anderen Objektmengen ist in Anhang A.1 dargestellt.

Der Zustand der ULD-Container wird durch die Attributsfunktionen Ort  $A_{ULD}^{Ort}$ , Status  $A_{ULD}^{Status}$ , Temperatur  $A_{ULD}^{Temp}$  und Erschütterung  $A_{ULD}^{shock}$  beschrieben, vgl. Abbildung 7.11. Diese bilden jeweils die *ID* des

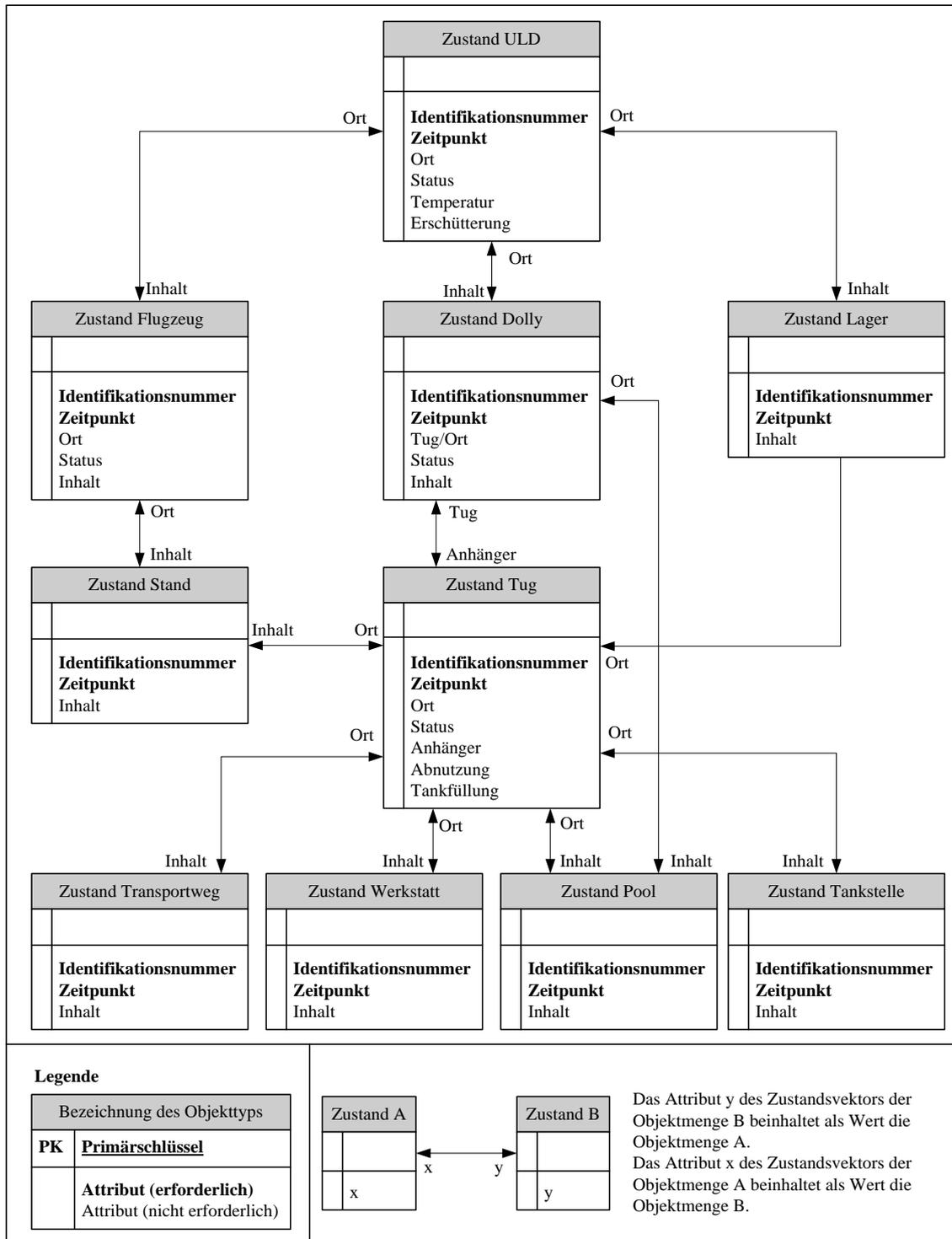


Abbildung 7.11: Darstellung der Struktur der Zustandsdaten des Frachtflughafens

Objekts zusammen mit dem Zeitpunkt  $t$  auf den Wert des Attributs ab, d.h.

$$A_{ULD}^{Ort} : ID_{ULD} \times T \longrightarrow W_{ULD}^{Ort,ideal} \quad (7.1)$$

$$(ID, t) \mapsto A_{ULD}^{Ort}(ID, t),$$

$$A_{ULD}^{Status} : ID_{ULD} \times T \longrightarrow W_{ULD}^{Status,ideal} \quad (7.2)$$

$$(ID, t) \mapsto A_{ULD}^{Status}(ID, t),$$

$$A_{ULD}^{Temp} : ID_{ULD} \times T \longrightarrow W_{ULD}^{Temp,ideal} \quad (7.3)$$

$$(ID, t) \mapsto A_{ULD}^{Temp}(ID, t),$$

$$A_{ULD}^{shock} : ID_{ULD} \times T \longrightarrow W_{ULD}^{shock,ideal} \quad (7.4)$$

$$(ID, t) \mapsto A_{ULD}^{shock}(ID, t),$$

wobei  $W_{ULD}^{Ort,ideal}$ ,  $W_{ULD}^{Status,ideal}$ ,  $W_{ULD}^{Temp,ideal}$  und  $W_{ULD}^{shock,ideal}$  die idealen Wertebereiche der entsprechenden Attribute sind. Die idealen Wertebereiche werden aus dem konzeptionellen Modell abgeleitet und enthalten alle Werte, die aus konzeptioneller Sicht sinnvoll sind.

Die Attributsfunktion Ort  $A_{ULD}^{Ort}$  wurde aus der Relation *beinhaltet* abgeleitet. Die ULD-Container können sich somit in einem Flugzeug, im Lager oder auf einem Anhänger befinden. Daraus ergibt sich für den idealen Wertebereich des Attributs Ort:

$$W_{ULD}^{Ort,ideal} = ID_{FLZ} \cup ID_{Dolly} \cup ID_W. \quad (7.5)$$

Das Attribut Ort hat einen nominalen Skalentyp mit Äquivalenzrelation „=“. Die Werte bestehen aus maximal sieben Zeichen. Es gibt keine Wiederholungen, da jeder ULD-Container sich jeweils nur an einem Ort aufhalten kann.

Die Attributsfunktion Status  $A_{ULD}^{Status}$  spiegelt den Prozessstatus der ULD-Container wider. Die Prozessschritte aus Abbildung 7.4 sind somit Elemente des Wertebereichs. Daraus ergibt sich für den idealen Wertebereich des Attributs Status folgende Menge:

$$W_{ULD}^{Status,ideal} = \{Transport, Umschlag, Lagerung\}. \quad (7.6)$$

Der Skalentyp des Attributs Status ist nominal mit Äquivalenzrelation „=“. Der Wert des Attributs besteht aus maximal neun Zeichen und es gibt keine Wiederholungen, da der ULD-Container immer nur einen Prozessschritt durchläuft.

Die Attributsfunktionen Temperatur  $A_{ULD}^{Temp}$  und Erschütterung  $A_{ULD}^{shock}$  beschreiben die Qualität des Objekts. Es kommt darauf an, wie die Messung und Meldung dieser beiden Attribute im realen System vorgenommen werden. Es wird angenommen, dass die Temperatur in °C gemessen wird und die Erschütterung in  $\frac{m}{s^2}$  bzw. in Abhängigkeit der Erdbeschleunigung  $G$ . Daraus ergeben sich folgende Werte-

bereiche für die Attribute Temperatur und Erschütterung:

$$W_{ULD}^{Temp,ideal} = [-40, 40] \subset \mathbb{R}, \quad (7.7)$$

$$W_{ULD}^{shock,ideal} \subset \mathbb{R}_0^+. \quad (7.8)$$

Die beiden Wertebereiche sind Teilmengen von  $\mathbb{R}$  und haben somit einen metrischen Skalentypen. Es gibt keine Wiederholungen, da die Qualitätsmerkmale messbare Größen sind und immer nur ein Messwert pro Zeitpunkt gilt.

Aus den Attributsfunktionen kann die Zustandsfunktion der ULD-Container definiert werden. Die Zustandsfunktion bildet Objekte aus der Objektmenge der ULD-Container  $ID_{ULD}$  zusammen mit Zeitpunkten aus dem Zeitintervall  $T$  auf Elemente des Wertebereichs der vier Attributsfunktionen ab. Für die Zustandsfunktion der ULD-Container gilt:

$$\begin{aligned} z_{ULD} : ID_{ULD} \times T &\longrightarrow W_{ULD}^{Ort,ideal} \times W_{ULD}^{Status,ideal} \times W_{ULD}^{Temp,ideal} \times W_{ULD}^{shock,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto (A_{ULD}^{Ort}(ID, t), A_{ULD}^{Status}(ID, t), A_{ULD}^{Temp}(ID, t), A_{ULD}^{shock}(ID, t)). \end{aligned} \quad (7.9)$$

Damit sind die Struktur der Zustandsdaten sowie die idealen Wertebereiche der Attribute definiert. Im Folgenden wird geprüft, welche Rohdatensätze welche Attributwerte erzeugen.

**Ableitung von Zuständen aus Rohdaten** In Abbildung 7.9 und Abbildung 7.10 ist dargestellt, mit welchen Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien die Zustände der Objekte überwacht werden. Aus den gewonnenen Rohdaten werden die Zustandsdaten der Objekte erzeugt. Im Folgenden wird exemplarisch dargestellt, wie aus den Rohdatensätzen die Zustandsdaten der ULD-Container abgeleitet werden. Die Erzeugung der Zustandsdaten der anderen Objektmengen lässt sich analog durchführen. Der Prozess Umschlag der ULD-Container wird mit Auto-ID-Technologien überwacht, vgl. Abbildung 7.9. Nach Entladung des ULD-Containers aus dem verschachtelten Objekt, werden das verschachtelte Objekt und der ULD-Container mit einem Handlesegerät identifiziert und der Mitarbeiter bestätigt, dass der Anhänger entladen wurde. Demzufolge wird ein Rohdatensatz erzeugt, der folgende Form hat:

$$U(ULD, Ort, t_1, t_2) := \begin{pmatrix} Ort & t_1 & 1 \\ ULD & t_2 & 0 \end{pmatrix}, \quad (7.10)$$

wobei  $ULD \in ID_{ULD}$  die Identifikationsnummer des ULD-Containers darstellt und  $Ort \in ID_{FLZ} \cup ID_{Dolly} \cup ID_W$  das verschachtelte Objekt bezeichnet, aus dem der ULD-Container verladen wurde. Die Zeitpunkte  $t_1, t_2 \in T$  entsprechen den Zeitpunkten der Auslesung des jeweiligen Transponders.

Analog lässt sich der Rohdatensatz für die Verladung des ULD-Containers in ein verschachteltes Objekt

Tabelle 7.4: Ableitung von Attributwerten der Objekte aus den Rohdaten Entladung und Beladung

<b>Entladung:</b> $U(ULD, Ort, t_1, t_2) = \begin{pmatrix} Ort & t_1 & 1 \\ ULD & t_2 & 0 \end{pmatrix}$	
Wenn $Ort \in ID_{FLZ}$	Dann $A_{FLZ}^{Status}(Ort, t_2) = Entladung$ $A_{FLZ}^{Inhalt}(Ort, t_2) \in (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\}) \times \dots \times \{0\} \times \dots \times (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\})$
Wenn $Ort \in ID_{Dolly}$	Dann $A_{Dolly}^{Status}(Ort, t_2) = Entladen$ $A_{Dolly}^{Inhalt}(Ort, t_2) = 0$
Wenn $Ort \in ID_W$	Dann $A_W^{Inhalt}(Ort, t_2) \in (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\}) \times \dots \times \{0\} \times \dots \times (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\})$
<b>Beladung:</b> $U(ULD, Ort, t_1, t_2) = \begin{pmatrix} Ort & t_1 & 1 \\ ULD & t_2 & 1 \end{pmatrix}$	
Wenn $Ort \in ID_{FLZ}$	Dann $A_{ULD}^{Ort}(ULD, t_2) = Ort$ $A_{ULD}^{Status}(ULD, t_2) = Transport$ $A_{FLZ}^{Status}(Ort, t_2) = Beladung$ $A_{FLZ}^{Inhalt}(Ort, t_2) \in (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\}) \times \dots \times \{ULD\} \times \dots \times (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\})$
Wenn $Ort \in ID_{Dolly}$	Dann $A_{ULD}^{Ort}(ULD, t_2) = Ort$ $A_{ULD}^{Status}(ULD, t_2) = Transport$ $A_{Dolly}^{Status}(Ort, t_2) = Beladen$ $A_{Dolly}^{Inhalt}(Ort, t_2) = ULD$
Wenn $Ort \in ID_W$	Dann $A_{ULD}^{Ort}(ULD, t_2) = Ort$ $A_{ULD}^{Status}(ULD, t_2) = Lagerung$ $A_W^{Inhalt}(Ort, t_2) \in (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\}) \times \dots \times \{ULD\} \times \dots \times (ID_{ULD} \setminus \{ULD\} \cup \{0\})$

definieren:

$$U(ULD, Ort, t_1, t_2) := \begin{pmatrix} Ort & t_1 & 1 \\ ULD & t_2 & 1 \end{pmatrix}. \quad (7.11)$$

Diese beiden Ausprägungen der Rohdaten müssen nun in die Struktur der Zustandsdaten transformiert werden. Dazu wird aus dem jeweiligen Rohdatensatz abgeleitet, welche Werte die Attribute der am Prozess Umschlag beteiligten Objekte aus dem idealen Wertebereich annehmen. Eine Übersicht ist in Tabelle 7.4 dargestellt.

Es muss unterschieden werden, aus welchem verschachtelten Objekt der Container entladen wird. Wenn das Objekt ein Flugzeug ist, wird dessen Attribut Status auf Entladung gesetzt und im mehrdimensionalen Attributwert Inhalt wird die ID des entsprechenden ULD-Containers durch den Wert 0 ersetzt. Ist der Ort ein Anhänger, wird dessen Status auf Entladen gesetzt und der Inhalt auf den Wert 0. Das Lager

hat nur ein Attribut, den Inhalt, für diesen Wert wird die Komponente, die die ID des ULD-Containers enthält, durch den Wert 0 ersetzt.

Wenn ein ULD-Container in ein Objekt verladen wird, ändern sich die Attribute Ort und Status. Der Ort wird mit der Identifikationsnummer des entsprechenden verschachtelten Objekts belegt. Der Status eines Objekts hängt davon ab, welcher Prozessschritt gerade absolviert wird. Jedoch lässt sich dieser nicht direkt aus den Rohdaten der Auto-ID-Technologien bestimmen. Wenn ein Datensatz Beladung aufgenommen wird, lässt sich daraus folgern, dass der Prozess Umschlag abgeschlossen ist und somit der Folgeprozess begonnen hat. Aus diesem logischen Zusammenhang heraus wird das Attribut Status gebildet. Wenn der neue Ort ein Transportmittel ist, wird der Wert des Attributs auf Transport gesetzt. Ist es das Lager, ist der Wert Lagerung. Es ist zu beachten, dass dieses Attribut implizit gebildet wird und es sein kann, dass der Container den Status Transport hat, aber das Transportmittel noch gar nicht losgefahren ist. Dies zeigt, dass es wichtig ist, den operativen Logistikmanager in die Aufgabe mit einzubeziehen. Ansonsten kann es später zu falschen Interpretationen der Ergebnisse der Zustandsdatenanalyse führen. Die Qualitätsattribute Temperatur und Erschütterung der ULD-Container werden mit Sensortechnologien überwacht, vgl. Abbildung 7.9. Für das Beispiel wird angenommen, dass beide Merkmale kontinuierlich gemessen werden und somit in kurzen Zeitabständen für die Temperatur folgender Datensatz erzeugt wird:

$$T(ULD, t) := \begin{pmatrix} ULD \\ t \\ Temp \end{pmatrix}, \quad (7.12)$$

wobei  $ULD \in ID_{ULD}$  den ULD-Container bezeichnet und  $t \in T$  den Zeitpunkt der Messung. Mit  $Temp \in \mathbb{R}$  ist der Messwert der Temperatur in °C gemeint. Für die Erschütterung wird in kurzen Zeitabständen folgender Datensatz erzeugt:

$$A(ULD, t) := \begin{pmatrix} ULD \\ t \\ a \end{pmatrix}, \quad (7.13)$$

wobei  $a \in \mathbb{R}$  den Messwert der Erschütterung in  $\frac{m}{s^2}$  bezeichnet. Diese Rohdaten ergeben Wertebereiche, die den idealen Wertebereichen der Attribute Temperatur und Erschütterung entsprechen. Jedoch führt die Form der Wertebereiche dazu, dass bei jeder Änderung ein neuer Zustandsdatensatz erzeugt wird. Das hat zur Folge, dass auch bei Änderungen, die innerhalb der erlaubten Toleranzbereiche liegen, Ereignisse erzeugt werden. Um zu verhindern, dass die Anzahl der Ereignisse rapide ansteigt, werden die Rohdaten aggregiert. Für das Attribut Temperatur wird ein binärer Wertebereich definiert. Liegt die Temperatur des ULD-Containers im Toleranzbereich, wird der Wert des Attributs auf 0 gesetzt. Ist der Temperaturwert außerhalb des Toleranzbereichs, ist der Wert 1. Für das Attribut Erschütterung wird ähnlich vorgegangen. Es wird die Anzahl der Erschütterungen außerhalb des Toleranzbereichs gezählt. Wenn eine Erschütterung außerhalb des Toleranzbereichs gemessen wird, wird der Wert des Attributs jeweils um 1 erhöht.

Die Aggregation von Rohdaten hat zur Folge, dass Datensätze vernachlässigt werden. Dies kann Nachteile haben, wenn detaillierte Analysen der aggregierten Attribute durchgeführt werden sollen. Die Entscheidung der Aggregation von Rohdaten muss der Software-Ingenieur zusammen mit dem operativen Logistiker treffen. Denn der Konflikt zwischen den Zielen so viele Informationen wie möglich und so viele Daten wie nötig, muss für diesen Fall gelöst werden.

**Vergleich der Wertebereiche** In dieser Aufgabe wird abschließend verglichen, ob alle Elemente der idealen Wertebereiche durch die Rohdaten abgedeckt sind. Ziel ist es, fehlende Attributwerte zu identifizieren und zu überprüfen, ob diese implizit über die anderen Attributwerte oder durch Implementierung neuer Technologien im realen System erzeugt werden können.

Nach Vergleich der Wertebereiche ist erkennbar, dass nur sehr wenige Elemente der idealen Wertebereiche fehlen. Diese lassen sich implizit ableiten und werden daher vernachlässigt. In Tabelle 7.5 sind die Ergebnisse des Vergleichs und somit abschließenden Wertebereiche dargestellt. Da nur eine geringe Anzahl an Werten der idealen Wertebereiche nicht erzeugt werden, ist es nicht notwendig zusätzliche Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien im realen System zu implementieren.

Mit Abschluss dieser Aufgabe können die Test-Zustands- und Ereignisdaten für den Frachtflughafen auf Basis der Rohdaten erzeugt werden. Im Anhang A.2 in Tabelle A.1 ist ein Ausschnitt der Test-Zustandsdaten der ULD-Container dargestellt.

**Aufbereitung der Soll-Zustände** In der letzten Aufgabe der Situationsanalyse werden die Sollvorgaben in Soll-Zustände transformiert und so aufbereitet, dass diese in die späteren Analysen einbezogen werden können. Die erste Sollvorgabe betrifft die ULD-Container, vgl. Abbildung 7.7. Es wird gefordert, dass diese permanent gekühlt werden und keine Erschütterung erfahren dürfen. Demzufolge gelten folgende Soll-Zustände für die ULD-Container:

**Soll-Vorgabe I - ULD-Container:**

Für alle  $ULD \in ID_{ULD}$  soll zu jedem Zeitpunkt  $t \in T$ , an jedem Ort  $Ort \in ID_{FLZ} \cup ID_{Dolly} \cup ID_W$  und mit jedem Status  $Status \in \{Transport, Lagerung\}$  folgendes gelten:

$$Z(ULD, t) = (ULD, t, Ort, Status, 0, 0). \quad (7.14)$$

Alle weitere Sollvorgaben lassen sich analog in Soll-Zustände für die entsprechenden Objekte transformieren.

Damit ist der Aufgabenbereich der Wissensorganisation abgeschlossen und demzufolge auch die Entwicklungsphase der Situationsanalyse. Es lassen sich folgende Ergebnisse aus der Situationsanalyse nennen:

Tabelle 7.5: Wertebereiche der Attribute der Test-Zustandsdaten für das Flughafenbeispiel

<b>ULD-Container</b>	
Ort	$ID_{FLZ} \cup ID_{Dolly} \cup ID_W$
Status	$\{Transport, Lagerung\}$
Temperatur	$\{0, 1\}$
Erschütterung	$\mathbb{N}$
<b>Flugzeug</b>	
Ort	$ID_{St} \cup \{0\}$
Status	$\{Ankunft, Entladung, Beladung, Abflug\}$
Inhalt	$\underbrace{(ID_{ULD} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{ULD} \cup \{0\})}_{n \text{ mal}}$
<b>Dolly</b>	
Tug/Ort	$ID_{Tug} \cup ID_P$
Status	$\{Ankoppeln, Beladen, Entladen, Entkoppeln\}$
Inhalt	$ID_{ULD} \cup \{0\}$
<b>Tug</b>	
Ort	$ID_{St} \cup ID_{TW} \cup ID_W \cup ID_G \cup ID_P \cup ID_{GS}$
Status	$\{Ankoppeln, Fahren, Entkoppeln, Wartung, Tanken\}$
Anhänger	$(ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times (ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times (ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times (ID_{Dolly} \cup \{0\})$
Abnutzung	$[0, 1]$
Tankfüllung	$[0, 100]$
<b>Lager</b>	
Inhalt	$\underbrace{(ID_{ULD} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{ULD} \cup \{0\})}_{250 \text{ mal}}$
<b>Stand</b>	
Inhalt	$(ID_{FLZ} \cup \{0\}) \times \underbrace{(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Tug} \cup \{0\})}_{10 \text{ mal}}$
<b>Transportweg</b>	
Inhalt	$(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\})$
<b>Werkstatt</b>	
Inhalt	$(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\})$
<b>Pool</b>	
Inhalt	$\underbrace{(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Tug} \cup \{0\})}_{10 \text{ mal}} \times \underbrace{ID_{Dolly} \cup \{0\} \times \dots \times (ID_{Dolly} \cup \{0\})}_{40 \text{ mal}}$
<b>Tankstelle</b>	
Inhalt	$(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\})$

- Das konzeptionelle Modell des Frachtflughafens wurde entwickelt und nach den Vorgaben des ganzheitlichen Konzepts aufbereitet.
- Die Datenmodelle der Zustands- und Ereignisdaten wurden aus dem konzeptionellen Modell abgeleitet und aufbereitet.
- Die bestehenden Informationssysteme und Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien wurden identifiziert und deren Rohdaten analysiert. Alle Rohdaten sind zur Erzeugung der Zustandsdaten notwendig. Da alle Werte der Attribute entweder durch die vorhandenen Rohdaten oder implizit gewonnen werden können, müssen keine weiteren Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien am Frachtflughafen implementiert werden.
- Die Test-Zustands- und Ereignisdatenmengen wurden nach den Vorgaben der Datenmodelle aufbereitet und liegen vollständig vor.

### 7.1.2 Anforderungsbestimmung am Frachtflughafen

In der zweiten Entwicklungsphase werden die Anforderungen des operativen Logistikmanagers an das Informationssystem ermittelt, analysiert, spezifiziert und validiert.

#### Anforderungsermittlung

Zur Ermittlung der Anforderungen wendet der operative Logistikmanager zusammen mit dem Softwareentwickler verschiedene Techniken aus Abbildung 4.3 an. Die Anforderungen werden als Zielstellungen formuliert. Das Informationssystem soll folgende Anforderungen erfüllen:

1. Anforderung: Das Informationssystem soll warnen, wenn die Zielstellung des Systems sowie die definierten Sollvorgaben nicht erreicht wurden.
2. Anforderung: Falls die Zielstellung nicht erreicht wurde oder Abweichungen von den Sollvorgaben auftreten, soll automatisch eine Ursachenanalyse angestoßen und durchgeführt werden.
3. Anforderung: Das Informationssystem soll Kennzahlen, wie Auslastung der Betriebsmittel, Lagerbestände und Durchlaufzeiten, berechnen und visualisieren.

#### Anforderungsanalyse

In dieser Aufgabe werden die drei Anforderungen zuerst grob systematisiert und anschließend im Detail analysiert.

**Grobe Systematisierung der Anforderungen nach Eingabe, Methode und Ausgabe** Als ersten Aufgabenteil der Anforderungsanalyse werden die drei formulierten Anforderungen nach der Vorgehensweise aus Abbildung 6.8 systematisiert.

Die erste Anforderung beinhaltet, dass eine Warnung gemeldet werden soll, wenn die Zielerreichung des Systems und somit die Sollvorgaben nicht erreicht wurden. Demzufolge ist die Identifikation von Abweichungen das Ziel der Analyse der Zustandsdaten. Nach Tabelle 5.4 eignet sich dazu als Methode der Soll-Ist-Vergleich. Als Eingabedaten werden Soll-Zustände sowie Zustands- und Ereignisdaten verwendet.

Die zweite Anforderung beschreibt, dass bei Abweichungen eine Ursachenanalyse durchgeführt werden soll. Ursachen können in verschiedenen Datenformaten auftreten und sind für den Frachtflughafen noch nicht bekannt. Daher können die Ausgabeformate der Anforderungen noch nicht spezifiziert werden. Ohne ein eindeutiges Ausgabeformat, lässt sich keine spezielle Methode auswählen. Auch die Eingabedaten können noch nicht explizit angegeben werden, beinhalten aber auf jeden Fall die Abweichungen. Die dritte Anforderung beschreibt die Berechnung und Visualisierung von Kennzahlen. Die Ausgabeformate der Datenanalyse sind somit Kennzahlen und die Methode Berechnung von Kennzahlen. Als Eingabeformate werden Zustands- und Ereignisdaten ausgewählt.

Die Anforderungen für die ein Datenanalyseverfahren ausgewählt wurde, können nun in die Verfahrensgruppen eingeteilt werden. Die erste Anforderung gehört zur Verfahrensgruppe Klassifikation und die dritte zur Zusammenfassung. Die Ergebnisse der groben Systematisierung sind in Tabelle 7.6 dargestellt.

**Detaillierte Analyse der Anforderungen nach Eingabe, Methode und Ausgabe** Für diese Analyse müssen die Anforderungen detaillierter betrachtet werden. Je nach ausgewählter Analyseverfahren werden die Schrittfolgen aus Kapitel 6.2.2 angewendet.

**Anforderung I** Für die erste Anforderung wurde als Methode der Soll-Ist-Vergleich ausgewählt, vgl. Tabelle 7.6. Die Sollvorgaben des Frachtflughafens wurden in Kapitel 7.1.1 als Soll-Zustände definiert. Für jede der vier Sollvorgaben müssen im Folgenden alle möglichen Abweichungen definiert, systematisiert und nach Tabelle 6.2 aufbereitet werden.

**Abweichungen von der Sollvorgabe I - ULD-Container:** Die erste Soll-Vorgabe für die ULD-Container fordert zu jeder Zeit und an jedem Ort bzw. zu jedem Status eine funktionierende Kühlung und keine Erschütterung, vgl. Gleichung 7.14. Eine Abweichung tritt auf, wenn für ein ULD-Container  $ULD$  zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  an einem bestimmten Ort mit einem bestimmten Status eine der beiden Ereignisse auftreten:

$$E_{A_{Temp}}(ULD, t) = (ULD, t, 0, 1) \quad (7.15)$$

$$E_{A_{shock}}(ULD, t) = (ULD, t, n, n + 1), \quad \text{mit } n \in \mathbb{N}, \quad (7.16)$$

Tabelle 7.6: Grobe Systematisierung der drei Anforderungen des Frachtflughafens

<b>Anforderung I</b>	Das Informationssystem soll warnen, wenn die Zielstellung des Systems sowie die definierten Sollvorgaben nicht erreicht wurden.
<b>Eingabe</b>	Zustands- und Ereignisdaten
<b>Methode</b>	Soll-Ist-Vergleich
<b>Ausgabe</b>	Abweichungen
<b>Methodenklasse</b>	Klassifikation
<b>Anforderung II</b>	Wenn die Zielstellung nicht erreicht wurde oder Abweichungen von den Sollvorgaben auftreten, soll automatisch eine Ursachenanalyse angestoßen und durchgeführt werden.
<b>Eingabe</b>	Abweichungen, Zustandsdaten, Ereignisdaten, Situationen, Sequenzen, Transaktionen, Kennzahlen
<b>Methode</b>	Vereinigung, Bildung von Folgen, Berechnung von Kennzahlen, Soll-Ist-Vergleich, Abfragen, Abhängigkeitsanalyse, Clustering
<b>Ausgabe</b>	Abweichungen, spezifische Zustände, Ereignisse, Situationen, Transaktionen, Sequenzen und Kennzahlen sowie Abhängigkeiten, Cluster oder Ausreißer
<b>Methodenklasse</b>	Zusammenfassung, Klassifikation, Abhängigkeitsanalysen, Clustering
<b>Anforderung III</b>	Das Informationssystem soll Kennzahlen, wie Auslastung der Betriebsmittel, Lagerbestände und Durchlaufzeiten, berechnen und visualisieren.
<b>Eingabe</b>	Zustands- und Ereignisdaten
<b>Methode</b>	Berechnung von Kennzahlen
<b>Ausgabe</b>	Kennzahlen
<b>Methodenklasse</b>	Zusammenfassung

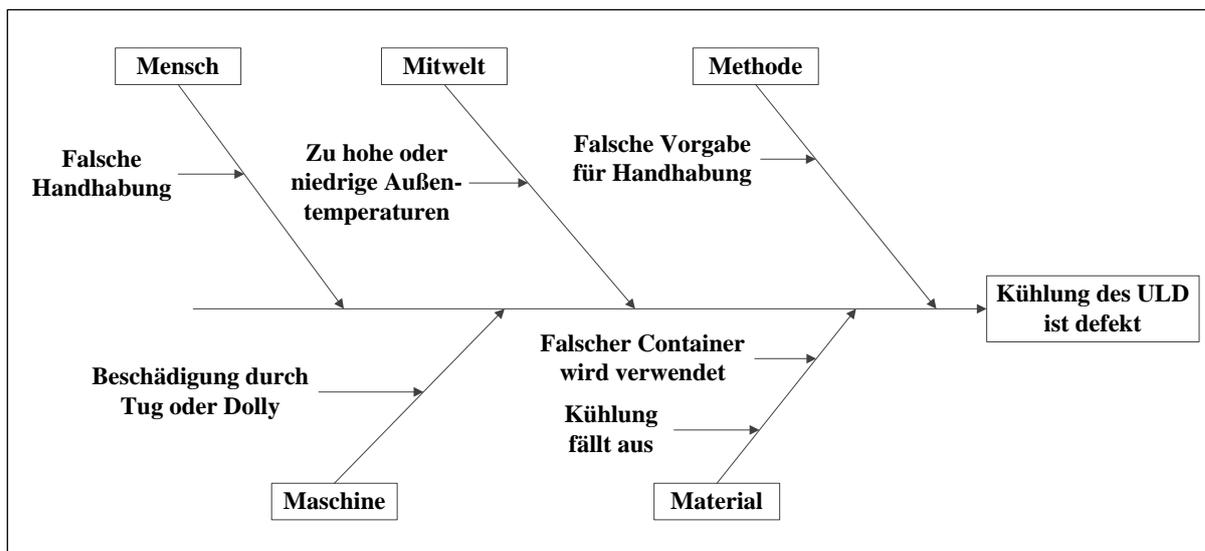


Abbildung 7.12: Ursache-Wirkungs-Diagramm für das Ereignis Kühlung defekt

wobei das erste Ereignis eine defekte Kühlung und das zweite eine Erschütterung darstellt. Für beide alarmierenden Abweichungen müssen nun im Folgenden die Kategorien aus Abbildung 5.4 betrachtet werden.

Eine defekte Kühlung ist eine Abweichung mit Handlungsdruck. Als Handlungsmaßnahme wird definiert, dass bei Auftreten des Ereignisses aus Gleichung 7.15 ein Prozess zur Reparatur der Kühlung angestoßen wird. Da die Soll-Vorgabe keinem Meilenstein im Prozessablauf entspricht, kann nicht nach der Kategorie „Eintreffen“ eingeteilt werden. Außerdem hat diese Abweichung auch keine Richtung, da der Wertebereich des Attributs binominal ist. Die Ursachen für eine defekte Kühlung sind vielfältig und müssen vom operativen Logistikmanager gesammelt werden. Zur Darstellung von Ursachen bietet sich ein Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm) an. In diesem werden Ursachen nach den Kategorien Mensch, Mitwelt, Methode, Maschine und Material sortiert. Eine defekte Kühlung kann z. B. durch falsche Handhabung (Kategorie Mensch), zu hohe oder zu niedrige Außentemperaturen (Kategorie Mitwelt) oder auf Grund eines unvorhergesehen technischen Defekts (Kategorie Material) auftreten. Alle Kategorien, bis auf die Mitwelt, beinhalten interne Störungen. Die Ursachen der Kategorie Mitwelt sind externe Störungen und können nur schwer verhindert werden. Das Ursache-Wirkungs-Diagramm einer defekten Kühlung ist in Abbildung 7.12 dargestellt.

Das zweite Ereignis in Gleichung 7.16 beschreibt eine Erschütterung. Da in diesem Fall kein Eingreifen in den Prozess vorgesehen ist, hat das Ereignis keine Wirkung. Es ist auch kein Meilenstein im Prozessablauf, weswegen nicht nach der Kategorie „Eintreffen“ eingeteilt wird. Da die Anzahl der Erschütterungen gezählt werden, ist die Richtung der Abweichung positiv. Die Ursachen werden in einem Ursache-Wirkungs-Diagramm gesammelt und können z. B. eine zu starke Beschleunigung verursacht durch den Schlepper (Kategorie Maschine) oder ein unebener Boden (Kategorie Mitwelt) sein. Das Ursache-Wirkungs-Diagramm für die Abweichung Erschütterung ist in Abbildung 7.13 dargestellt. Die Analyse dieser Sollvorgabe ist somit abgeschlossen. Die Ergebnisse sind in einer Analysematrix, vgl.

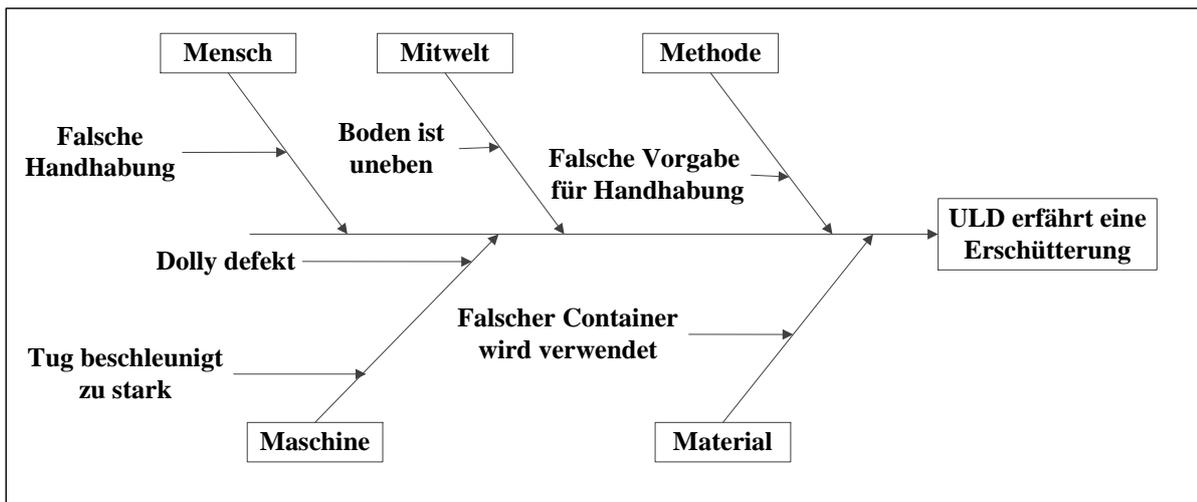


Abbildung 7.13: Ursache-Wirkungs-Diagramm für das Ereignis Erschütterung

Tabelle 7.7 aufbereitet.

Als nächsten Schritt muss die zweite Sollvorgabe der ULD-Container analysiert werden, dies ist in Anhang A.3 dargestellt. Die Analyse der Sollvorgaben für das Flugzeug und den Tug werden analog durchgeführt.

**Anforderung II** Die zweite Anforderung beschreibt, dass bei Eintreffen einer Abweichung eine Ursachenanalyse durchgeführt werden soll. Die Ausgaben der Datenanalysen sind somit Ursachen. Die grobe Systematisierung hat ergeben, dass das Eingabeformat, die Methode und auch die Ausgaben noch nicht genau genug spezifiziert sind und noch alle Ausgabeformate zur Auswahl stehen. Zur Spezifizierung der Ausgaben müssen die Datenformate der Ursachen genauer betrachtet werden. Die detaillierte Analyse der ersten Anforderung hat eine Vielzahl von Ursachen ergeben, vgl. Abbildung 7.12, Abbildung 7.13 und Abbildung A.1. Die Ermittlung der Ausgabeformate und Analyseverfahren wird im Folgenden exemplarisch für die Abweichung Erschütterung der Soll-Vorgabe I durchgeführt. Alle weitere Abweichungen lassen sich analog analysieren.

Zur Spezifizierung der Ursachen müssen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wer: Wer ist der Verursacher der Abweichung?
- Was: Welche Eigenschaft des Verursachers hat die Abweichung ausgelöst?
- Wo: An welchem Ort ist die Abweichung eingetroffen?
- Prozess: Bei welchem Prozessschritt ist die Abweichung eingetroffen?
- Mit wem: Welche anderen Objekte waren an dem Prozessschritt beteiligt?

Tabelle 7.7: Analysetabelle zu Abweichungen von der Soll-Vorgabe I

<b>Abweichungen von der Soll-Vorgabe I - ULD-Container</b>	
<b>Inhalt</b>	Keine Erschütterung und dauerhafte Kühlung der ULD-Container
<b>Abweichung I</b>	Kühlung defekt
<b>Eingabe</b>	Ereignisdaten der ULD-Container
<b>Methode</b>	Soll-ist-Vergleich
<b>Ausgabe</b>	Auftreten des Ereignisses Kühlung defekt
<b>Wirkung</b>	Ereignis mit Handlungszwang - Reparaturprozess anstoßen
<b>Eintreffen</b>	-
<b>Abweichungsrichtung</b>	-
<b>Ursachen</b>	Internes und externes Ereignis
<b>Abweichung II</b>	Erschütterung
<b>Eingabe</b>	Ereignisdaten der ULD-Container
<b>Methode</b>	Soll-ist-Vergleich
<b>Ausgabe</b>	Auftreten des Ereignisses Erschütterung
<b>Wirkung</b>	-
<b>Eintreffen</b>	-
<b>Abweichungsrichtung</b>	Positives Ereignis
<b>Ursachen</b>	Internes Ereignis

- Wer noch: Sind andere Objekte zum gleichen oder einem früherem Zeitpunkt von der gleichen Abweichung betroffen?

Die Antworten zu den sechs Fragestellungen sind für die Ursachen einer Erschütterung in Tabelle 7.8 dargestellt. Aus den Antworten zu den Fragen wer und was, lässt sich ableiten, ob sich die Ursachen direkt aus den Ereignisdaten abfragen lassen. Dies ist der Fall, wenn die Eigenschaft des verursachenden Objekts als Attribut im Zustandsvektor abgebildet ist. Bei der Abweichung Erschütterung ist das nicht der Fall, denn z. B. werden die Mitarbeiter und deren Tätigkeiten nicht überwacht sowie auch nicht die Beschleunigung der Schlepper und Abnutzungsrate der Anhänger. Die einzige Ursache, die die Möglichkeit einer direkten Abfrage liefert, ist die Ursache des falschen Containertyps. Diese lässt sich aus den Stammdaten abfragen, denn dort wird der verwendete Containertyp vermerkt. Die anderen Ursachen müssen implizit gewonnen werden.

Die dritte Frage bezieht sich auf den Ort und die vierte auf den Zustand. Somit lässt sich durch Abfragen der Attribute Ort und Status des betroffenen ULD-Containers eine erste Klassifizierung der Ursachen durchführen. Die Klassifizierung ist aber nicht eindeutig, weswegen weitere Fragen einbezogen werden müssen. Der Prozess eines ULD-Containers ist abhängig vom Ort und bietet somit keine weiteren Möglichkeiten zur Klassifizierung. Zusätzlich zur Abfrage nach dem Ort ist zur Identifizierung der Ursache notwendig zu wissen, welche weiteren Objekte am Prozess der ULD-Container beteiligt und ob bei diesen Abweichungen aufgetreten sind. Daher muss der Zustand dieser Objekte mit dargestellt werden. Diese Informationen genügen aber noch nicht, die Ursachen eindeutig zu identifizieren. Es ist außerdem wichtig zu wissen, ob andere ULD-Container, die sich am selben Ort befinden oder auch befunden ha-

Tablle 7.8: Ursachenanalyse nach den sechs Fragestellungen für die Abweichung Erschütterung

<b>Mensch</b>						
Falsche Handhabung						
Wer	Was	Wo	Prozess	Mit wem	Wer noch	
Mensch	Handhabung	Stand	Umschlag	Flugzeug, Dolly	Keiner	
<b>Mitwelt</b>						
Boden ist uneben						
Wer	Was	Wo	Prozess	Mit wem	Wer noch	
Transportkanal	Beschaffenheit	Transportkanal	Transport	Tug, Dolly	Alle weiteren ULD auf den Anhängern des Tug sowie an dem Ort	
<b>Methode</b>						
Falsche Vorgabe für Handhabung						
Wer	Was	Wo	Prozess	Mit wem	Wer noch	
Mensch	Handhabung	Stand, Lager	Umschlag	Flugzeug, Dolly	Alle weiteren ULD an dem Ort	
<b>Maschine</b>						
Dolly defekt						
Wer	Was	Wo	Prozess	Mit wem	Wer noch	
Dolly	Abnutzung	Transportkanal	Transport	Tug, Dolly	Keiner	
Tug beschleunigt zu stark						
Wer	Was	Wo	Prozess	Mit wem	Wer noch	
Tug	Beschleunigung	Transportkanal	Transport	Tug, Dolly	Alle weiteren ULD auf den Anhängern des Tug	
<b>Material</b>						
Falscher Container wurde verwendet						
Wer	Was	Wo	Prozess	Mit wem	Wer noch	
ULD-Container	Typ	-	-	-	Keiner	

ben, dieselbe Abweichung aufweisen. Dies ist z. B. der Fall, wenn andere ULD-Container zur selben Zeit erschüttert wurden und diese sich auf Anhängern befanden, die vom selben Schlepper gezogen wurden. Dies ist dann ein Indiz dafür, dass der Schlepper entweder zu stark beschleunigt hat oder der Boden des Transportkanals uneben ist. Um diesen Fall weiter zu spezifizieren, muss abgefragt werden, ob Container, die vorher durch den Transportkanal transportiert wurden, auch erschüttert wurden. Wenn ja, deutet dies auf einen unebenen Belag im Transportkanal hin.

Über die Abfrage von Ereignissen und Zuständen lassen sich somit Ursachen identifizieren. Für diese Abweichung ist die Ursachenanalyse eine Abfrage, die als Ergebnisse Zustände und Ereignisse liefert.

**Anforderung III** Die dritte Anforderung impliziert die Berechnung von Kennzahlen. Es sollen Auslastung der Betriebsmittel, Lagerbestände und Durchlaufzeiten berechnet und visualisiert werden.

**Kennzahl: Auslastung der Betriebsmittel** Die Auslastung  $AL$  eines Betriebsmittels beschreibt das Verhältnis zwischen der Zeit, in der das Betriebsmittel belegt war (Leistung  $L$ ) zur maximal möglichen Belegungszeit (maximale Leistung  $L_{max}$ ) in einem vordefinierten Zeitraum und wird wie folgt berechnet:

$$AL = \frac{L}{L_{max}} \cdot 100. \quad (7.17)$$

Im Beispiel des Frachtflughafens sind Betriebsmittel Schlepper und Anhänger. Für jedes Objekt dieser Objektmengen soll für einen betrachteten Zeitraum die Auslastung berechnet werden. Die tatsächliche Leistung der Schlepper beschreibt deren Belegungszeit in dem betrachteten Zeitraum, d. h. die Summe der Zeiträume in denen diese mit mindestens einem Anhänger belegt waren. Außerdem werden die Zeiten zur Betankung und Wartung zur Leistung hinzugezählt. Für die Anhänger beschreibt die Leistung die Zeiträume, in denen diese einen ULD-Container geladen haben. Bei der Validierung der Anforderung wird für beide Objektmengen angenommen, dass die maximale Leistung der gesamte betrachtete Zeitraum ist. Zur Berechnung der Auslastung für die Betriebsmittel können die Zustands- und Ereignisdaten der Schlepper und Anhänger verwendet werden. Die Ergebnisse werden in Säulendiagrammen visualisiert.

**Kennzahl: Lagerbestand** In vordefinierten Zeiträumen soll der Bestand im Lager sowie der Zugang und Abgang berechnet werden. Diese Kennzahlen lassen sich aus den Ereignisdaten für das Attribut Ort der ULD-Container sowie über die Zustandsdaten des Lagers berechnen. Der Bestand wird als Säulendiagramm und der Zugang und Abgang als Durchlaufdiagramm dargestellt.

**Kennzahl: Durchlaufzeit** Für jeden ULD-Container soll die Durchlaufzeit am Frachtflughafen berechnet werden. In diesem Beispiel wird festgelegt, dass der geladene ULD-Container das System betritt, wenn das Flugzeug am Flughafen ankommt. Sobald der Container in einem neuen Flugzeug verladen ist, verlässt der Container das System. Damit ist die Durchlaufzeit die Differenz dieser beiden Zeitpunk-

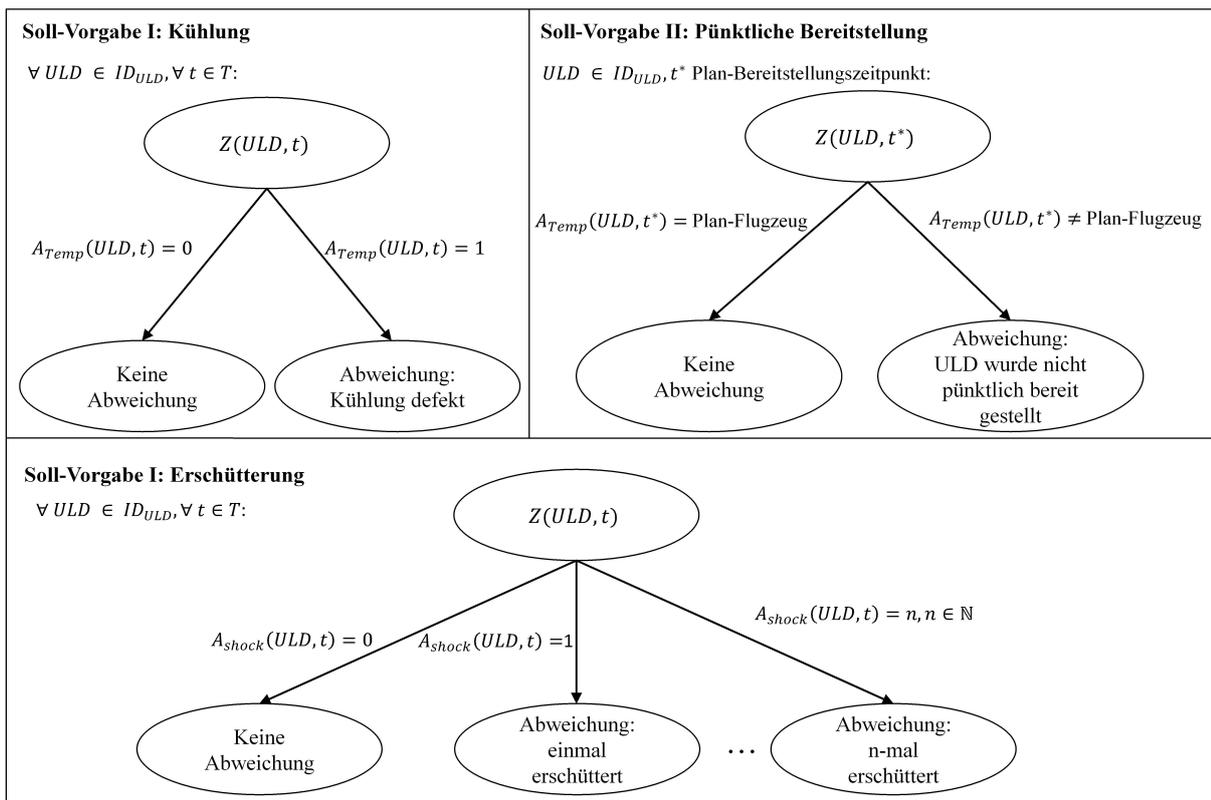


Abbildung 7.14: Entscheidungsbäume für den Soll-Ist-Vergleich der Sollvorgaben I und II

te. Zur Bestimmung dieser Kennzahl werden somit Zustandsdaten der Flugzeuge und ULD-Container verwendet. Die Durchlaufzeiten werden mit Säulendiagrammen visualisiert.

Damit ist die Aufgabe der Anforderungsanalyse abgeschlossen und mit der dritten Aufgabe der Anforderungsspezifikation wird begonnen. Diese bearbeitet der Softwareentwickler ohne den operativen Logistikmanager.

### Anforderungsspezifikation

In der Aufgabe der Anforderungsspezifikation müssen die analysierten Anforderungen als Flussdiagramme oder Formeln dargestellt werden. Dies erleichtert die Validierung und spätere Implementierung der Anforderungen.

**Anforderung I** Zur Erfüllung der ersten Anforderung wird der Soll-Ist-Vergleich angewendet. Dieser wird zur Verfahrensgruppe der Klassifikation gezählt (vgl. Tabelle 5.4) und kann als Entscheidungsbaum dargestellt werden. Die Entscheidungsbäume der Soll-Ist-Vergleiche der Sollvorgaben I und II ist in Abbildung 7.14 abgebildet.

Tabelle 7.9: Auswahl der Zustandsdaten der Klasse „Abweichung: Kühlung defekt“ für die Abweichung von der Soll-Vorgabe I im Attribut Kühlung

Identifikator	Zeitpunkt	Ort	Status	Erschütterung	Kühlung
ULD121	13.10.2009 00:27:00	Dolly22	Transport	0	1
ULD123	13.10.2009 00:28:00	Dolly23	Transport	0	1
ULD125	13.10.2009 00:29:00	Dolly24	Transport	0	1
ULD127	13.10.2009 00:30:00	Dolly25	Transport	0	1
ULD129	13.10.2009 00:31:00	Dolly26	Transport	0	1
ULD123	13.10.2009 00:42:43	W	Lagerung	0	1
ULD127	13.10.2009 00:43:43	W	Lagerung	0	1
ULD129	13.10.2009 00:44:13	W	Lagerung	0	1
ULD123	13.10.2009 00:44:43	Dolly23	Transport	0	1
ULD129	13.10.2009 00:46:13	Dolly26	Transport	1	1
ULD211	13.10.2009 01:10:30	Dolly30	Transport	0	1
ULD259	13.10.2009 01:30:30	Dolly10	Transport	0	1
ULD261	13.10.2009 01:31:30	Dolly11	Transport	0	1
ULD263	13.10.2009 01:32:30	Dolly12	Transport	0	1

**Anforderung II** Die Ursachenanalyse wird durch Abfragen von Zustands- und Ereignisdaten gelöst. In Abbildung 7.15 ist exemplarisch ein Flussdiagramm der Abfrage nach Ursachen einer Erschütterung dargestellt.

**Anforderung III** Die Spezifikation der Berechnung der Kennzahlen wird über Formeln dargestellt. Für die Auslastung der Schlepper und Anhänger wird Gleichung 7.17 verwendet. Die Berechnung von Zugang, Abgang und Bestand des Lagers wird nach Gleichung 5.14, 5.15 und 5.16 durchgeführt. Die Durchlaufzeit berechnet sich nach Gleichung 5.21.

Damit sind die Anforderungen spezifiziert und können in der nächsten Aufgabe mit Hilfe der Test-Zustands- und Ereignisdaten validiert werden.

### Anforderungvalidierung

In der Aufgabe der Anforderungvalidierung werden die ausgewählten Analyseverfahren auf den Test-Zustands- und Ereignisdaten angewendet.

**Anforderung I** Für die erste Anforderung wurde der Soll-Ist-Vergleich als Methode identifiziert. Im Folgenden wird diese exemplarisch für die erste Sollvorgabe durchgeführt.

Die Zustandsdaten werden mit Entscheidungsbäumen verschiedenen Klassen zugeordnet, vgl. Abbildung 7.14. In Tabelle 7.9 ist eine Auswahl der Zustandsdaten der ULD-Container dargestellt, die nach Anwendung des Entscheidungsbaums, der Klasse „Kühlung defekt“ zugeordnet wurden. Aus den Zustandsdaten dieser Klasse lässt sich ablesen, welche Kühlung welcher ULD-Container zu welchem Zeit-

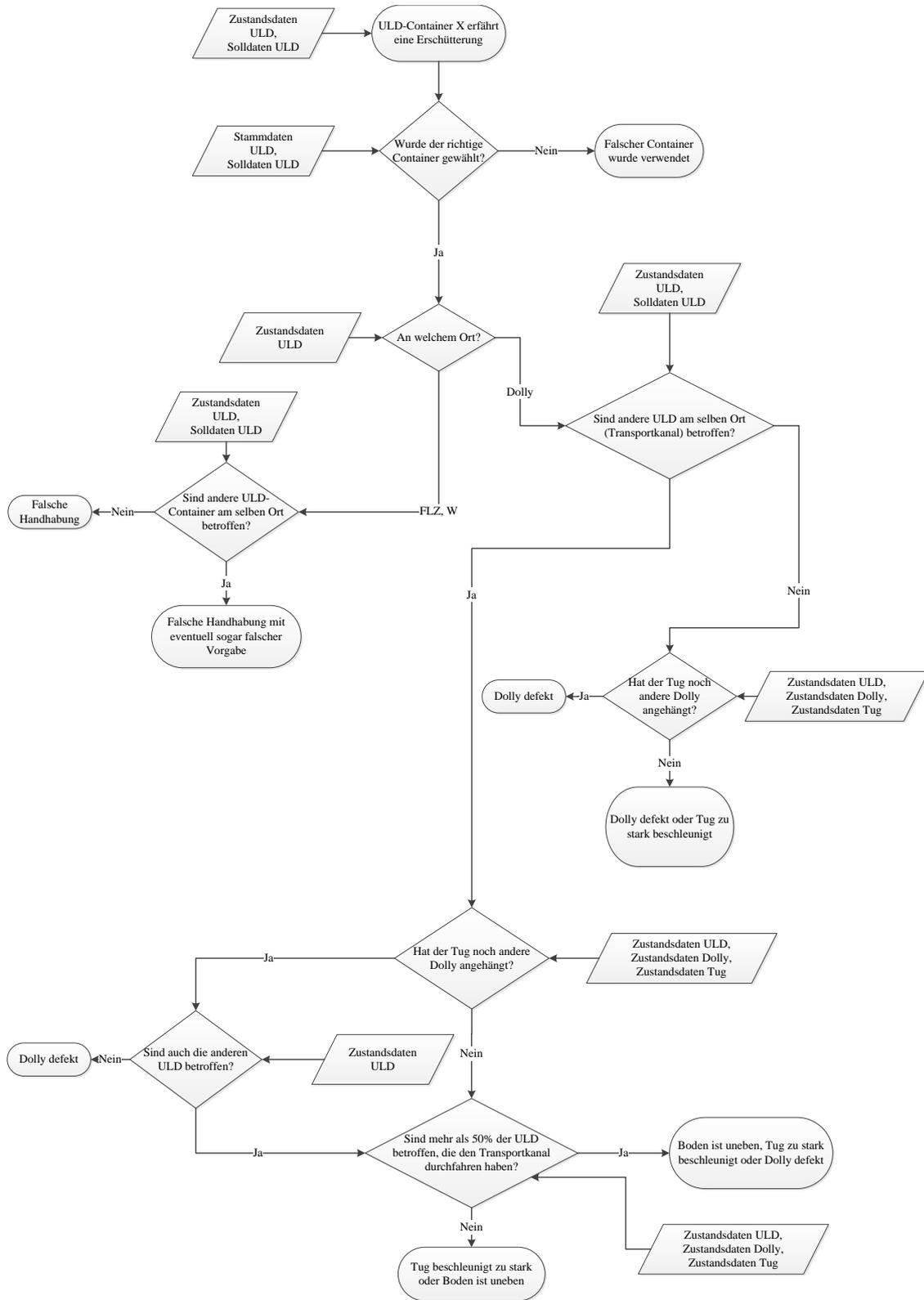


Abbildung 7.15: Flussdiagramm der Abfrage nach Ursachen einer Erschütterung

Tabelle 7.10: Zustände der Klasse „Abweichung: mindestens einmal erschüttert“ für die Abweichung von der Soll-Vorgabe I im Attribut Erschütterung

<b>Identifikator</b>	<b>Zeitpunkt</b>	<b>Ort</b>	<b>Status</b>	<b>Erschütterung</b>	<b>Kühlung</b>
<b>ULD051</b>	12.10.2009 23:52:00	Dolly26	Transport	1	0
<b>ULD053</b>	12.10.2009 23:52:00	Dolly27	Transport	1	0
<b>ULD055</b>	12.10.2009 23:52:00	Dolly28	Transport	1	0
<b>ULD057</b>	12.10.2009 23:52:00	Dolly29	Transport	1	0
<b>ULD057</b>	12.10.2009 23:57:03	Dolly29	Transport	2	0
<b>ULD051</b>	12.10.2009 23:57:03	Dolly26	Transport	2	0
<b>ULD053</b>	12.10.2009 23:57:03	Dolly27	Transport	2	0
<b>ULD055</b>	12.10.2009 23:57:03	Dolly28	Transport	2	0
<b>ULD067</b>	13.10.2009 00:00:00	Dolly34	Transport	1	0
<b>ULD069</b>	13.10.2009 00:00:00	Dolly35	Transport	1	0
<b>ULD129</b>	13.10.2009 00:46:13	Dolly26	Transport	1	1
<b>ULD123</b>	13.10.2009 00:46:13	Dolly23	Transport	1	0
<b>ULD181</b>	13.10.2009 00:57:00	Dolly11	Transport	1	0
<b>ULD183</b>	13.10.2009 00:57:00	Dolly12	Transport	1	0
<b>ULD185</b>	13.10.2009 00:57:00	Dolly18	Transport	1	0
<b>ULD213</b>	13.10.2009 01:09:15	Dolly23	Transport	1	0
<b>ULD215</b>	13.10.2009 01:09:15	Dolly24	Transport	1	0
<b>ULD217</b>	13.10.2009 01:09:15	Dolly25	Transport	1	0
<b>ULD219</b>	13.10.2009 01:09:15	Dolly26	Transport	1	0
<b>ULD229</b>	13.10.2009 01:25:45	Dolly35	Transport	1	0
<b>ULD231</b>	13.10.2009 01:25:45	Dolly36	Transport	1	0
<b>ULD233</b>	13.10.2009 01:25:45	Dolly37	Transport	1	0
<b>ULD235</b>	13.10.2009 01:25:45	Dolly38	Transport	1	0

punkt, an welchem Ort und mit welchem Status defekt war. Erkennbar ist, dass der Container ULD129 zusätzlich zu einer defekten Kühlung auch erschüttert wurde. Wann aber die Erschütterung eingetreten ist, lässt sich daraus nicht ableiten. Das Attribut Erschütterung zählt die Anzahl der Erschütterungen und somit kann ohne den vorherigen Zustandsdatensatz des Containers nicht entschieden werden, ob die Erschütterung zum gleichen Zeitpunkt eingetreten ist.

Wann und wie oft ein ULD-Container erschüttert wurde, kann mit dem unteren Entscheidungsbaum in Abbildung 7.14 ermittelt werden. In Tabelle 7.10 ist eine Auswahl der Zustandsdaten der ULD-Container dargestellt, die der Klasse „mindestens einmal erschüttert“ zugeordnet wurden. Hieraus lässt sich ableiten, dass der ULD129 zu dem Zeitpunkt der defekten Kühlung auch gleichzeitig erschüttert wurde.

Somit ist das ausgewählte Analyseverfahren der ersten Anforderung erfolgreich validiert. Die Anwendung von Entscheidungsbäumen auf den Zustandsdaten erfüllt die Forderungen des operativen Logistikers.

**Anforderung II** Die Validierung der zweiten Anforderung wird beispielhaft für die Abweichung Erschütterung vorgestellt. Der ULD-Container mit der Identifikationsnummer ULD051 wird während des Transports auf dem Anhänger Dolly26 um 23:52 Uhr erschüttert, vgl. Tabelle 7.10. Für diesen ULD-Container muss nun im Folgenden die Abfrage aus Abbildung 7.15 schrittweise durchlaufen werden.

1. Frage: Wurde der richtige Container gewählt? Ja, der Containertyp ist AAC, dieser ist für zerbrechliche Güter geeignet.
2. Frage: An welchem Ort? Dolly26
3. Frage: Sind andere ULD am selben Ort (Transportkanal) betroffen? Der Anhänger Dolly26 ist zu diesem Zeitpunkt am Schlepper Tug08 angehängt (Zustand Dolly), der sich im Transportkanal WegSt436-W (Zustand Tug) befindet, also zwischen dem Stand 436 und dem Lager. Im Transportkanal halten sich zu diesem Zeitpunkt keine weiteren Schlepper auf (Zustand Transportkanal). Am Schlepper sind drei weitere Anhänger angehängt, Dolly27, Dolly28 und Dolly29 (Zustand Tug). Diese drei Anhänger haben die ULD-Container ULD053, ULD055 und ULD057 geladen (Zustand Dolly). Die Zustandsdaten der ULD-Container sind in der Klasse „Abweichung: mindestens einmal erschüttert“ enthalten. Somit wurden diese ULD-Container auch erschüttert.
4. Hat der Tug noch andere Dolly angehängt? Ja (siehe Punkt 3)
5. Sind auch die anderen ULD betroffen? Ja (siehe Punkt 3)
6. Sind mehr als 50 % der ULD betroffen, die den Transportkanal durchfahren haben? Nein, der ULD-Container ULD051 war der erste der eine Erschütterung in dem betrachteten Zeitraum erfahren hat.

**Ausgabe der Abfrage: Die Ursache war entweder, dass der Schlepper zu stark beschleunigt hat oder der Boden des Transportkanals uneben ist.**

Damit wurden zwei mögliche Ursachen identifiziert, die mit den vorhandenen Zustands- und Ereignisdaten nicht weiter analysiert werden können. Die Ergebnisse der Ursachenanalyse entsprechen den Anforderungen des operativen Logistikers und die Abfrage als Verfahren der Datenanalyse ist erfolgreich validiert.

**Anforderung III** Zur Validierung der dritten Anforderung wurden mit den Test-Zustands- und Ereignisdaten die gewünschten Kennzahlen berechnet und in Diagrammen aufbereitet. In Abbildung 7.16 ist der zeitliche Verlauf des Lagerbestands am Frachtflughafen aufbereitet und in Abbildung 7.17 ist ein Durchlaufdiagramm für das Lager zwischen 23:35 Uhr und 23:47 Uhr dargestellt. Es ist erkennbar, dass das Lager keinen Engpass darstellt, da die maximale Anzahl an Lagerplätzen zu keinem Zeitpunkt voll ausgeschöpft wird.

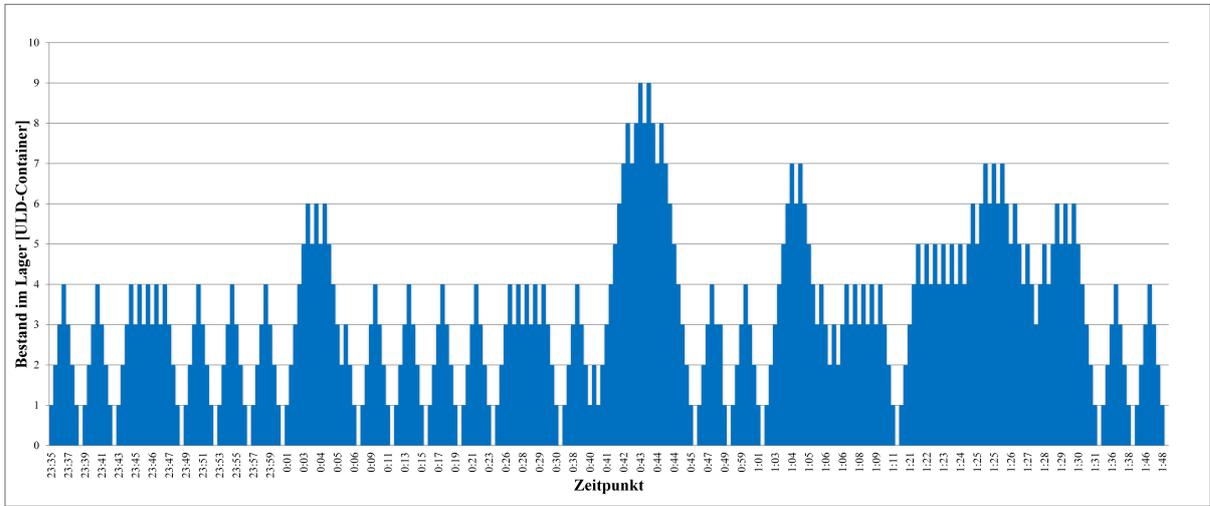


Abbildung 7.16: Zeitlicher Verlauf des Lagerbestands am Frachtflughafen

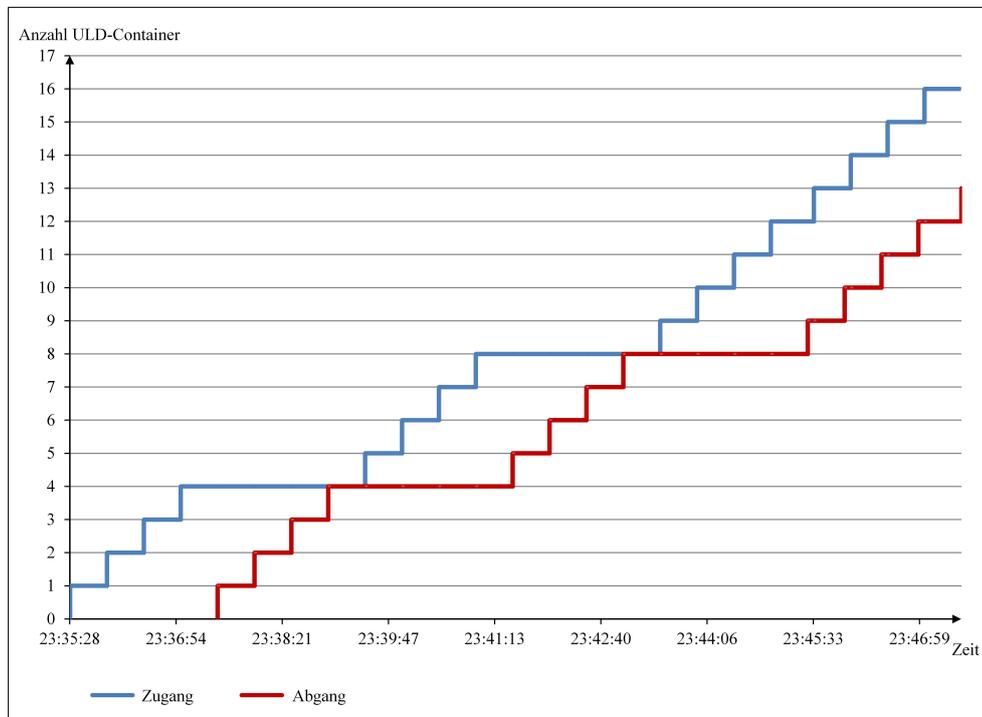


Abbildung 7.17: Durchlaufdiagramm des Lagers am Frachtflughafen

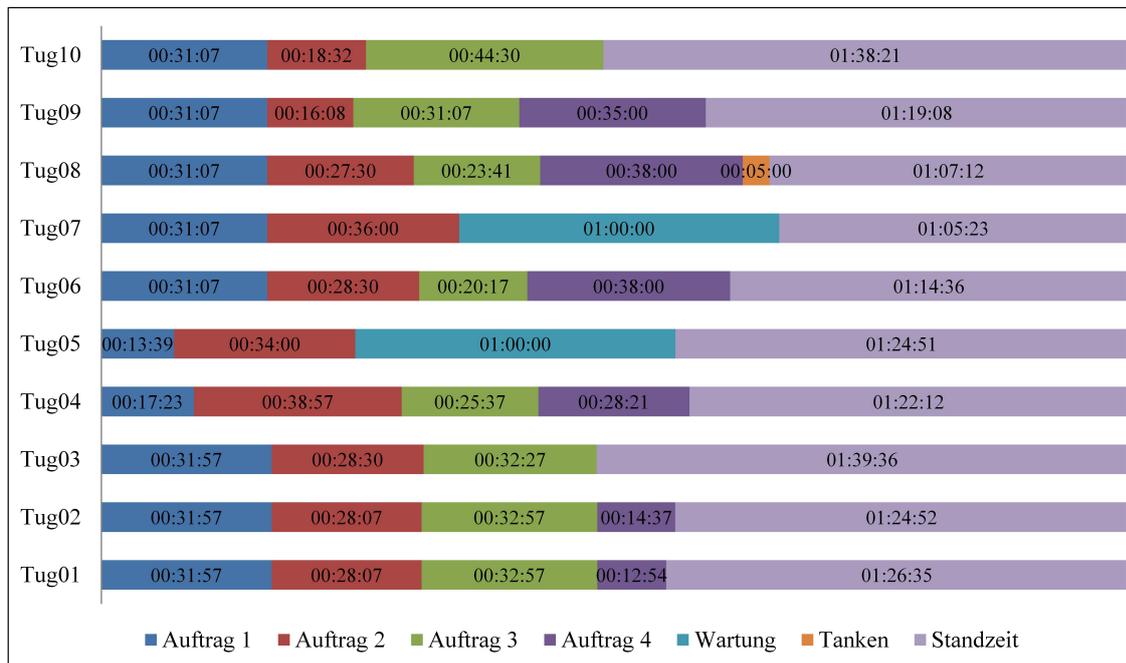


Abbildung 7.18: Leistung und Standzeiten der Schlepper im betrachteten Zeitraum

Die Leistung der Schlepper ist in Abbildung 7.18 dargestellt. Die Zusammensetzung der Leistung, also die Zeiträume für die Aufträge, Wartung und Betankung, sowie die Standzeiten sind farblich unterschieden. Es ist erkennbar, dass zwei Schlepper eine Stunde in der Werkstatt waren. Diese Verzögerung kann in dem Zeitraum zu einem Engpass an zur Verfügung stehenden Schleppern geführt haben. Die relative Auslastung der Schlepper ist in Abbildung 7.19 dargestellt. Diese liegt bei allen Schleppern nur zwischen 50-60 %.

Die Durchlaufzeiten der ULD-Container sind in Abbildung 7.20 dargestellt. Die Reihenfolge der ULD-Container ist nach ankommenden Flugzeugen geordnet. Die Säulen stellen die gesamte Durchlaufzeit der einzelnen Container dar. Der grüne Anteil einer Säule beschreibt die Zeit, die ein ULD-Container bei einem störungsfreien Durchlauf für den Umschlag benötigt. Der Anteil der Säule in Orange ist die Differenz zwischen tatsächlicher und minimal möglicher Durchlaufzeit und entspricht somit den Liege- und Wartezeiten der ULD-Container. Es ist erkennbar, dass die Prozesse der ULD-Container nicht reibungslos abgelaufen sind. Die Durchlaufzeit der ULD-Container steigt im Zeitverlauf an.

Alle dargestellten Diagramme entsprechen den Anforderungen des operativen Logistikers. Somit ist die Kennzahlenbestimmung zur Erfüllung der dritten Anforderung validiert.

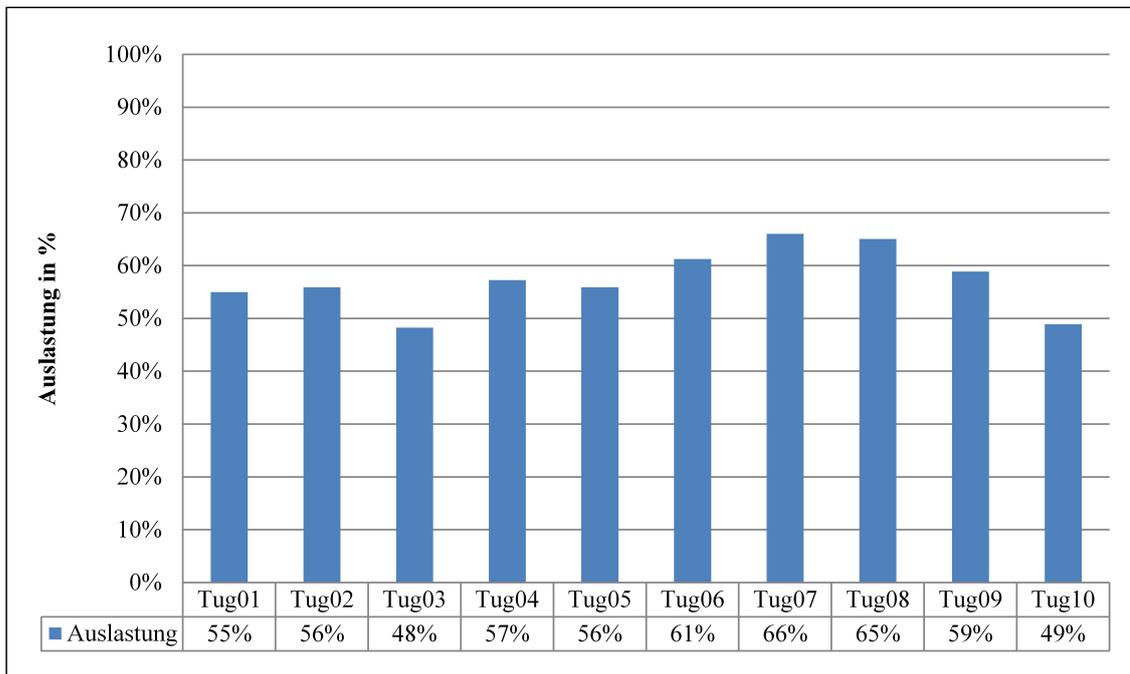


Abbildung 7.19: Relative Auslastung der Schlepper am Frachtflughafen

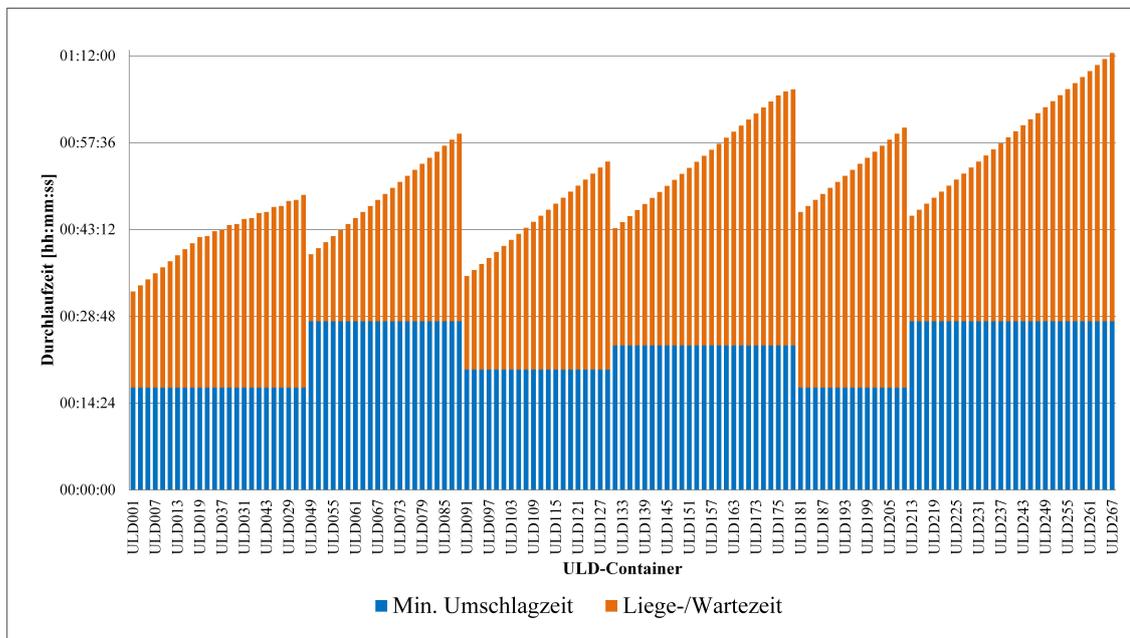


Abbildung 7.20: Durchlaufzeiten der ULD-Container am Frachtflughafen

Damit ist die zweite Entwicklungsphase der Anforderungsbestimmung abgeschlossen und alle drei Anforderungen wurden erfolgreich spezifiziert und validiert. Die Ergebnisse der Entwicklungsphase sind folgende:

- Es wurden drei informelle Anforderungen des operativen Logistikers an die Datenanalyse ermittelt.
- Diese wurden analysiert und als Datenanalysemethoden mit Eingaben und Ausgaben spezifiziert.
- Alle drei Anforderungen wurden erfolgreich validiert und müssen entsprechend der Spezifikation in das zukünftige Informationssystem implementiert werden.

### 7.1.3 Datenanalyse des Frachtflughafens

In der dritten Entwicklungsphase wählt der Software-Ingenieur verschiedene Methoden zur Datenanalyse aus und wendet diese auf den Zustandsdaten an. Ziel ist es, durch Anwendung bisher nicht genutzter Verfahren, neue Informationen aus den Zustandsdaten zu ermitteln.

#### Methodenauswahl

Im ersten Schritt wird in Tabelle 5.4 geprüft, welche Analysemethoden bisher noch nicht genutzt wurden. Diese Verfahren werden zur Anwendung ausgewählt. Für den Frachtflughafen ist es die Abhängigkeitsanalyse sowie das Clustering.

**Abhängigkeitsanalyse** Zur Auswahl eines bestimmten Verfahrens der Abhängigkeitsanalyse, werden die Skalentypen der Attribute überprüft. Diese sind überwiegend nominal. Daher wird als Verfahren die Assoziationsanalyse gewählt. Die Assoziationsanalyse wird auf den Zustandsdaten der ULD-Container ausgeführt. Zum einen sollen für das Attribut Ort Assoziationsregeln aufgedeckt werden, die das typische Verhalten der Container auf dem Frachtflughafen abbilden. Und zum anderen sollen für die Zustände der ULD-Container Zusammenhänge ermittelt werden.

**Clustering** Die Methoden des Clusterings haben zum Ziel, Gruppen von Datensätzen mit ähnlichen Eigenschaften aufzudecken. Als Datensätze werden die Zustandsdaten der ULD-Container gewählt. Es sollen eine Struktur sowie Ausreißer aufgedeckt werden. Es wird angenommen, dass eine optimale Partition in den Zustandsdaten vorliegt. Daher wird als Verfahren ein partitionierendes Verfahren gewählt. Da die meisten Attribute nominal sind, wird das k-Medoid-Verfahren angewendet.

Tabelle 7.11: Auszug aus der Menge der Transaktionen des Attributs Ort der ULD-Container

ID	item 1	item 2	item 3	item 4
ULD001	FLZ1	Dolly01	W	
ULD003	FLZ1	Dolly02	W	
ULD005	FLZ1	Dolly03	W	
ULD007	FLZ1	Dolly04	W	
ULD009	FLZ1	Dolly05	W	
ULD011	FLZ1	Dolly06	W	
ULD013	FLZ1	Dolly07	W	
ULD015	FLZ1	Dolly08	W	
ULD031	FLZ1	Dolly16	W	Dolly17
ULD033	FLZ1	Dolly17	W	Dolly16
ULD209	FLZ5	Dolly29	W	
ULD211	FLZ5	Dolly30		
ULD213	FLZ6	Dolly23	W	
ULD267	FLZ6	Dolly19	W	

### Methodenanwendung und Ergebnisinterpretation

Der nächste Aufgabenbereich ist die Methodenanwendung. Die Assoziationsanalyse sowie das k-Medoid-Verfahren werden auf den Zustandsdaten der ULD-Container angewendet. Die Ergebnisse werden anschließend mit dem operativen Logistiker interpretiert und diskutiert. Da die Aufgabenbereiche Methodenanwendung und Ergebnisinterpretation sehr eng verbunden sind, werden diese als ein Unterpunkt dargestellt. Die Analyse der Zustandsdaten wurde mit der Software *RapidMiner Studio 6.0.008*<sup>7</sup> durchgeführt.

**Abhängigkeitsanalyse** Die Assoziationsanalyse wird zuerst nur für das Attribut Ort der ULD-Container durchgeführt. Die Aufenthaltsorte je eines ULD-Containers bilden die Transaktionen. Ein Auszug aus der Menge der Transaktionen ist in Tabelle 7.11 dargestellt. Der ULD-Container *ULD01* war in dem betrachteten Zeitraum an drei Orten (siehe erste Zeile), in dem Flugzeug *FLZ1*, auf dem Anhänger *Dolly01* und im Lager *W*. Die ULD-Container *ULD31* und *ULD33* waren in dem betrachteten Zeitraum an vier verschiedenen Orten.

Insgesamt liegen 134 Transaktionen vor, die zwischen zwei bis vier items beinhalten. Wegen der geringen Anzahl an Transaktionen im Vergleich zur hohen Anzahl an verschiedenen Elementen im Wertebereich des Attributs Ort, ist nicht gesichert, dass unbekannte Zusammenhänge aufgedeckt werden können. Daher wird der minimale Support zur Bildung der large itemsets sehr niedrig gewählt ( $support_{min} = 0, 1$ ). Zur Bestimmung der large itemsets wurde der FP-growth-Algorithmus (siehe Tabelle 5.2) angewendet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7.12 auf der linken Seite dargestellt. Darauf aufbauend wurde der Support

<sup>7</sup>Die Datenanalysesoftware *RapidMiner Studio* wurde unter dem Namen *YALE* am Lehrstuhl für künstliche Intelligenz an der Technischen Universität Dortmund entwickelt und wird jetzt als kommerzielle Software unter htt-

Tabelle 7.12: Large itemsets und Assoziationsregeln der Transaktionen zum Attribut Ort der ULD-Container

Large itemsets mit Support > 0, 1			Assoziationsregeln mit Support und Konfidenz > 0, 1				
Item 1	Item 2	Support	Nr.	Prämisse	Konklusion	Support	Konfidenz
W		0,993	1	FLZ6	W	0,209	1,000
FLZ6		0,209	2	FLZ2	W	0,209	1,000
FLZ2		0,209	3	W	FLZ6	0,209	0,211
W	FLZ6	0,209	4	W	FLZ2	0,209	0,211
W	FLZ2	0,209	5	FLZ4	W	0,179	1,000
FLZ4		0,179	6	W	FLZ4	0,179	0,180
W	FLZ4	0,179	7	FLZ3	W	0,149	1,000
FLZ3		0,149	8	W	FLZ3	0,149	0,150
W	FLZ3	0,149	9	FLZ1	W	0,127	1,000
FLZ5		0,127	10	W	FLZ1	0,127	0,128
FLZ1		0,127	11	FLZ5	W	0,119	0,941
W	FLZ1	0,127	12	W	FLZ5	0,119	0,120
W	FLZ5	0,119					

und die Konfidenz für Assoziationsregeln auf den Elementen der large itemsets berechnet. Die Assoziationsregeln mit Support und Konfidenz größer 0, 1 sind auf der rechten Seite der Tabelle 7.12 abgebildet. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus logistischer Sicht interpretiert.

Es werden zuerst die Elemente der large itemset betrachtet. Am häufigsten, mit knapp 99 %, tritt das item Lager *W* auf. Dies bedeutet, dass fast alle ULD-Container in dem betrachteten Zeitraum in das Lager eingelagert wurden. Die Flugzeuge *FLZ6* und *FLZ2* hatten jeweils 21 % der ULD-Container geladen. Der Anteil der ULD-Container, die sowohl im Lager als auch in einen der beiden Flugzeuge enthalten waren, liegt auch bei 21 %. Diese Ergebnisse sind keine neuen Informationen für den operativen Logistiker, da nach den Vorgaben der Sollprozesse alle ULD-Container eingelagert werden müssen und die Flugzeuge *FLZ6* und *FLZ2* die meisten ULD-Container laden können. Die Elemente der large itemset bestätigen somit die Einhaltung der Sollvorgaben.

Zur Interpretation der Assoziationsregeln muss überprüft werden, welche Regeln eine hohe Konfidenz aufweisen. Es wurden zwölf Assoziationsregeln ermittelt. Die ersten vier Assoziationsregeln haben den höchsten Support ( $support = 0,209$ ). Von diesen vier Regeln weisen die ersten beiden die höchste Konfidenz ( $confidence = 1$ ) auf. Daraus lässt sich ableiten, dass alle ULD-Container, die mit den Flugzeugen *FLZ6* und *FLZ2* an- oder abgeflogen sind, ins Lager *W* eingelagert wurden. Umgekehrt ist diese Regel nicht anwendbar, denn das würde bedeuten, dass alle ULD-Container die ins Lager eingelagert wurden, Ladung der Flugzeuge *FLZ6* und *FLZ2* waren (siehe dritte und vierte Regel). Für diese Regeln hat die Konfidenz nur den Wert 0,211. Die Umkehrung der Regel macht auch aus logistischer Sicht keinen Sinn, da in das Lager alle ULD-Container eingelagert werden und nicht nur die Ladung der beiden Flugzeuge. Dieser Zusammenhang gilt auch für alle weiteren Flugzeuge. Für das Flugzeug *FLZ5* (Regel 12)

hat die Konfidenz jedoch nur den Wert 0,941 und nicht den Wert 1. Dies bedeutet, dass ein Teil der ULD-Container, die Ladung des Flugzeugs *FLZ5* waren, nicht eingelagert wurden. In Tabelle 7.11 ist erkennbar, dass der nicht eingelagerte ULD-Container der Container mit der ID *ULD211* war. Dieser hat sich im betrachteten Zeitraum nur an zwei Orten aufgehalten, Flugzeug *FLZ5* und Anhänger *Dolly30*. Die Prozessschritte des ULD-Containers waren entweder noch nicht abgeschlossen, weil Störungen aufgetreten sind oder der betrachtete Zeitraum zu kurz gewählt war.

Die Anwendung der Assoziationsanalyse auf das Attribut Ort der ULD-Container hat ergeben, dass die Ergebnisse dazu genutzt werden können, Sollvorgaben der Aufenthaltsorte zu überprüfen. Die Analysen haben entweder Sollvorgaben bestätigt, wie z. B. die Einlagerung eines großen Anteils der ULD-Container, oder Ausreißer aufgedeckt, wie die Identifizierung eines ULD-Containers, der noch nicht alle Prozessschritte abgeschlossen hat. Daher bietet es sich an, dieses Verfahren, zusätzlich zum Verfahren des Soll-Ist-Vergleichs, zur Erfüllung der ersten Anforderung des operativen Logistikers zu nutzen.

Die zweite Anwendung der Assoziationsanalyse beinhaltet die Aufdeckung von Zusammenhängen in den Zustandsdaten der ULD-Container. Die Menge der Zustandsdaten der ULD-Container ist die Menge der Transaktionen. Eine Transaktion besteht aus der ID des Containers, dem Ort, dem Status sowie den Werten der Erschütterung und Temperatur und hat z. B. die Form  $\{ULD51, Dolly26, Transport, 1, 0\}$  (vgl. Tabelle 7.10 erste Zeile). Die large itemsets und Assoziationsregeln werden analog der vorherigen Vorgehensweise bestimmt. Für den Mindestsupport und die Mindestkonfidenz wurde jeweils der Wert 0,5 gewählt. Die Ergebnisse sind im Anhang A.4 in Tabelle A.3 und Tabelle A.4 dargestellt.

Aus den Ergebnissen lassen sich keine signifikanten Zusammenhänge in den Zustandsdaten ableiten. Es ist lediglich erkennbar, dass der größte Anteil der Transaktionen in den Attributen Erschütterung und Temperatur den Wert 0 haben. Dies zeigt, dass der größte Anteil der ULD-Container nicht erschüttert wurde und eine funktionstüchtige Kühlung hatte. Das Ergebnis ist eine Bestätigung der Sollvorgabe und das Verfahren kann in die Gruppe der Verfahren, die die erste Anforderung erfüllen, mitaufgenommen werden.

Ziel der Anwendung der Assoziationsanalyse auf den Zustandsdaten ist die Aufdeckung von Zusammenhängen. Da die Anwendung auf allen Zustandsdaten keine signifikanten Zusammenhänge geliefert hat, wird das Verfahren noch einmal mit nur einem Teil der Zustandsdaten durchgeführt. Ziel ist es für die Abweichungen in den Attributen Erschütterung und Temperatur Zusammenhänge in den Zustandsdaten aufzudecken. Im Folgenden wird somit die Assoziationsanalyse nur auf der Menge der Zustandsdaten angewendet, bei denen die Werte im Attribut Erschütterung und Temperatur ungleich 0 sind.

Die Ergebnisse der Assoziationsanalyse sind im Anhang A.4 in Tabelle A.5 dargestellt. Das item Transport tritt in den Transaktionen mit einer Häufigkeit von 85 % auf. Dies ist ein Hinweis darauf, dass während des Transports Störgrößen aufgetreten sind. Das item Erschütterung 1 tritt in den Transaktionen mit einer Häufigkeit von 74 % auf. Da das Attribut Erschütterung im Gegensatz zum Attribut Kühlung die Anzahl an Erschütterungen zählt, weisen alle Zustandsdaten eines ULD-Containers, die nach einer Erschütterung erzeugt wurden, im Attribut Erschütterung einen Wert ungleich null auf. Aus dem häufigen Auftreten des items Erschütterung 1 lässt sich somit nicht schließen, dass mehr ULD-Container

Tabelle 7.13: Ausschnitt aus den Transaktionen, die die Orte enthalten, an denen eine Erschütterung eingetreten ist

<b>ID</b>	<b>item 1</b>	<b>item 2</b>	<b>item 3</b>
<b>ULD051</b>	Dolly26	Tug08	Weg W-St436
<b>ULD053</b>	Dolly27	Tug08	Weg W-St436
<b>ULD055</b>	Dolly28	Tug08	Weg W-St436
<b>ULD057</b>	Dolly29	Tug08	Weg W-St436
<b>ULD067</b>	Dolly34	Tug10	Weg W-St436

erschüttert wurden als dass eine Kühlung defekt war.

Die ersten beiden Assoziationsregeln zeigen einen Zusammenhang zwischen den items Erschütterung 1 und Kühlung 0 auf. Dieser Zusammenhang ist aber keine Abhängigkeit, da im realen System die Erschütterung eines ULD-Containers unabhängig von einer funktionierenden Kühlung ist. Die Regeln 5-12 implizieren das häufige Auftreten einer Erschütterung zusammen mit dem Status Transport. Auch die Werte der Konfidenz liegen bei allen Regeln über 0,7. Dies deutet auf einen Zusammenhang zwischen einem Transport und einer Erschütterung hin. Daher wird im Folgenden eine weitere Assoziationsanalyse durchgeführt, die diesen Zusammenhang spezifizieren soll.

Es werden neue Transaktionen gebildet, die zum einen aus dem Ort und Status der erschütterten ULD-Container bestehen und zum anderen weitere Orte enthalten, falls der Ort der Erschütterung des ULD-Containers nicht stationär war. Das bedeutet, dass, falls der Ort ein bewegtes Objekt ist, wie z. B. ein Anhänger, dieser bis zu einem stationären Objekt weiter aufgeschlüsselt wird. Wenn z. B. ein ULD-Container auf einem Anhänger erschüttert wurde, wird der Ort des Anhängers ergänzt. Ist dieser Ort ein Schlepper, wird auch dessen Ort in die Transaktion mit aufgenommen. In Tabelle 7.13 ist ein Ausschnitt der neuen Transaktionen dargestellt. Für diese Transaktionen wurde eine Assoziationsanalyse durchgeführt und die Ergebnisse sind in Tabelle 7.14 dargestellt.

Das item WegW-St436 tritt mit einer Häufigkeit von 50% auf. Dieses item ist der Transportweg zwischen dem Lager und dem Standplatz 436. Daraus lässt sich schließen, dass die Hälfte der erschütterten ULD-Container auf diesem Weg erschüttert wurden. Das deutet darauf hin, dass der Transportweg die Ursache der Erschütterung ist.

In den Assoziationsregeln wird ein Zusammenhang zwischen dem Schlepper Tug 10 und dem Transportweg Lager-Stand 444 aufgedeckt (erste und zweite Regel). Der Wert des Supports liegt bei 0,25 und der Wert der Konfidenz bei 0,667. Da die Assoziationsregeln in beide Richtungen die gleichen Werte aufweisen, kann nicht spezifiziert werden, ob die Erschütterung durch den Transportweg oder den Schlepper verursacht wurde.

Die Anzahl der Transaktionen für die Assoziationsanalyse ist sehr gering, daher sind die Zusammenhänge nur Vermutungen. Das Verfahren kann aber dazu genutzt werden, die Abfrage zur Ursachenanalyse (Anforderung II) zu unterstützen. Wenn die Menge dieser Transaktionen mehr Datensätze beinhaltet, haben die Ergebnisse mehr Aussagekraft. Dies würde aber auch bedeuten, dass mehr ULD-Container erschüttert wurden und das ist eigentlich nicht Ziel des operativen Logistikmanagements.

Tabelle 7.14: Large itemsets und Assoziationsregeln der Transaktionen, die die Orte enthalten, an denen eine Erschütterung eingetreten ist

Large itemsets mit Support > 0,1			Assoziationsregeln mit Support und Konfidenz > 0,1				
Item 1	Item 2	Support	Nr.	Prämisse	Konklusion	Support	Konfidenz
WegW-St436		0,500	1	WegW-St444	Tug10	0,250	0,667
WegW-St444		0,375	2	Tug10	WegW-St444	0,250	0,667
Tug10		0,375	3	Tug09	WegW-St436	0,125	1,000
Tug02		0,250	4	Tug08	WegW-St436	0,125	1,000
WegW-St444	Tug10	0,250	5	Tug07	WegW-St444	0,125	1,000
WegW-St427		0,125	6	WegW-St427	Tug02	0,125	1,000
Tug09		0,125	7	Tug02	WegW-St436	0,125	0,500
Tug08		0,125	8	Tug02	WegW-St427	0,125	0,500
Tug07		0,125	9	Tug10	WegW-St436	0,125	0,333
WegW-St436	Tug10	0,125	10	WegW-St444	Tug07	0,125	0,333
WegW-St436	Tug02	0,125	11	WegW-St436	Tug10	0,125	0,250
WegW-St436	Tug09	0,125	12	WegW-St436	Tug02	0,125	0,250
WegW-St436	Tug08	0,125	13	WegW-St436	Tug09	0,125	0,250
WegW-St444	Tug07	0,125	14	WegW-St436	Tug08	0,125	0,250
Tug02	WegW-St427	0,125					

**Clustering** Im Folgenden wird der k-Medoid-Algorithmus auf den Zustandsdaten der ULD-Container angewendet. Vor der Durchführung des k-Medoid-Verfahrens muss die Clusteranzahl gewählt werden. Diese bestimmt wie viele Cluster berechnet werden sollen. Für das Beispiel wurde das Verfahren für die Clusteranzahlen  $k = 2, \dots, 6$  durchgeführt, da der Zustandsdatensatz aus der ID, dem Zeitpunkt und vier Attributen besteht. Das k-Medoid-Verfahren wählt als Zentroid einen Datensatz aus dem Cluster, der dieses am besten repräsentiert. Das Verfahren wurde bei jeder Clusteranzahl 100 mal durchgeführt und als Abbruchkriterium wurden 100 Durchläufe gewählt. Da insgesamt 599 Datensätze vorliegen, genügen 100 Durchläufe um ein stabiles Ergebnis zu erhalten. Die Ergebnisse der Clusteranalyse ist in Tabelle 7.15 dargestellt. Für jede Clusteranzahl ist angegeben, wie viele Elemente die Cluster enthalten und welcher Zustand als Zentroid des jeweiligen Clusters bestimmt wurde.

Es ist erkennbar, dass das Cluster 0 für alle Clusteranzahlen den gleichen Zentroid und die gleiche Anzahl an Elementen aufweist. Das lässt darauf schließen, dass viele Attribute der Zustände des Clusters übereinstimmen. Da der Zentroid des Cluster 0 als Ort das Lager und als Status die Lagerung hat, kann abgeleitet werden, dass alle weiteren Elemente die gleichen Einträge haben. Jedoch ist dies nicht sicher, da auf Grund der nominalen Skalentypen keine Kennzahlen zur Bewertung der Cluster berechnet werden können und somit der Zentroid nicht zwingend repräsentativ für die Eigenschaften des Clusters ist.

Der Zentroid von Cluster 1 ist auch bei allen Clusteranzahlen gleich, jedoch verringert sich die Anzahl an Elementen in dem Cluster bei Erhöhung der Clusteranzahl. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei Erhöhung der Clusteranzahl dieses Cluster jeweils weiter unterteilt wird. Die gleiche Schlussfolgerung kann auch für Cluster 2 getroffen werden, jedoch besitzt hier der Zentroid im Attribut Erschütterung eine 1. Dieser Attributwert unterscheidet den Zentroid von allen anderen. Vermutlich haben eine Vielzahl der

Tabelle 7.15: Zentroide der Cluster der Zustandsdaten für verschiedene Clusteranzahlen  $k = 2, \dots, 6$ 

<b>k=2</b>	<b>Cluster 0</b>	<b>Cluster 1</b>				
<b>Anzahl Elemente</b>	135	464				
<b>ID</b>	ULD261	ULD267				
<b>Zeitpunkt</b>	13.10.2009 01:47:51	13.10.2009 02:12:30				
<b>Ort</b>	W	FLZ6				
<b>Status</b>	Lagerung	Transport				
<b>Erschütterung</b>	0	0				
<b>Kühlung</b>	0	0				
<b>k=3</b>	<b>Cluster 0</b>	<b>Cluster 1</b>	<b>Cluster 2</b>			
<b>Anzahl Elemente</b>	135	379	85			
<b>ID</b>	ULD261	ULD267	ULD235			
<b>Zeitpunkt</b>	13.10.2009 01:47:51	13.10.2009 02:12:30	13.10.2009 01:56:30			
<b>Ort</b>	W	FLZ6	FLZ6			
<b>Status</b>	Lagerung	Transport	Transport			
<b>Erschütterung</b>	0	0	1			
<b>Kühlung</b>	0	0	0			
<b>k=4</b>	<b>Cluster 0</b>	<b>Cluster 1</b>	<b>Cluster 2</b>	<b>Cluster 3</b>		
<b>Anzahl Elemente</b>	135	355	85	24		
<b>ID</b>	ULD261	ULD267	ULD235	ULD177		
<b>Zeitpunkt</b>	13.10.2009 01:47:51	13.10.2009 02:12:30	13.10.2009 01:56:30	13.10.2009 01:25:27		
<b>Ort</b>	W	FLZ6	FLZ6	FLZ4		
<b>Status</b>	Lagerung	Transport	Transport	Transport		
<b>Erschütterung</b>	0	0	1	0		
<b>Kühlung</b>	0	0	0	0		
<b>k=5</b>	<b>Cluster 0</b>	<b>Cluster 1</b>	<b>Cluster 2</b>	<b>Cluster 3</b>	<b>Cluster 4</b>	
<b>Anzahl Elemente</b>	135	352	74	16	22	
<b>ID</b>	ULD261	ULD267	ULD235	ULD209	ULD081	
<b>Zeitpunkt</b>	13.10.2009 01:47:51	13.10.2009 02:12:30	13.10.2009 01:56:30	13.10.2009 01:40:07	13.10.2009 00:35:07	
<b>Ort</b>	W	FLZ6	FLZ6	FLZ5	FLZ2	
<b>Status</b>	Lagerung	Transport	Transport	Transport	Transport	
<b>Erschütterung</b>	0	0	1	0	0	
<b>Kühlung</b>	0	0	0	0	0	
<b>k=6</b>	<b>Cluster 0</b>	<b>Cluster 1</b>	<b>Cluster 2</b>	<b>Cluster 3</b>	<b>Cluster 4</b>	<b>Cluster 5</b>
<b>Anzahl Elemente</b>	135	344	68	20	21	11
<b>ID</b>	ULD261	ULD267	ULD235	ULD209	ULD033	ULD259
<b>Zeitpunkt</b>	13.10.2009 01:47:51	13.10.2009 02:12:30	13.10.2009 01:56:30	13.10.2009 01:40:07	13.10.2009 00:18:57	13.10.2009 01:44:09
<b>Ort</b>	W	FLZ6	FLZ6	FLZ5	FLZ1	Dolly10
<b>Status</b>	Lagerung	Transport	Transport	Transport	Transport	Transport
<b>Erschütterung</b>	0	0	1	0	0	0
<b>Kühlung</b>	0	0	0	0	0	0

Zustände aus diesem Cluster auch im Attribut Erschütterung eine 1. Cluster 3, 4 und 5 variieren je nach Clusteranzahl und es lassen sich aus den Zentroiden keine Eigenschaften ableiten.

Daher müssen zur Ermittlung der Clustereigenschaften, die einzelnen Zustände der Cluster analysiert werden. Dies wurde für alle Clusteranzahlen durchgeführt und ist in einem Flussdiagramm in Abbildung 7.21 dargestellt.

Alle Elemente des Cluster 0 sind in den Attributen Ort und Status gleich und entsprechen dem Zentroid. Damit beinhaltet das Cluster alle Zustandsdaten, die darstellen, dass sich der jeweilige ULD-Container im Lager befindet. Da das Cluster 0 bei allen Clusteranzahlen auftritt, ist dies die erste Eigenschaft, nach der die Zustandsdaten klassifiziert werden.

Die zweite Eigenschaft nach der unterteilt wird, ist der Eintrag im Attribut Erschütterung. Bei den Clusteranzahlen 3 und 4 enthält das Cluster 2 nicht nur Zustände von erschütterten ULD-Containern, sondern auch die Zustände des spezifischen ULD-Containers *ULD235*. Der Zustand dieses ULD-Containers, der die Erschütterung repräsentiert, bildet den Zentroid von Cluster 2.

Alle weiteren Unterteilung erfolgen nach bestimmten Orten, einem bestimmten Status oder einer ID. Die Orte sind je nach Clusteranzahl die Flugzeuge *FLZ1*, *FLZ2*, *FLZ4* und *FLZ5* und die ULD-Container *ULD033*, *ULD081*, *ULD177* und *ULD209*. Alle ULD-Container, bis auf *ULD081*, hatten im betrachteten Zeitraum eine defekte Kühlung. Daher liegen von diesen Ausprägungen mehr Zustandsdatensätze vor, als von denen ohne defekte Kühlung, und wurden als Zentroide des jeweiligen Clusters bestimmt. Warum der ULD-Container *ULD081* als Zentroid gewählt wurde und warum nach dessen Ort *FLZ2* klassifiziert wurde, kann nicht direkt aus den Eigenschaften der Clusterelemente abgeleitet werden.

In diesem Anwendungsfall bildet die Clusteranalyse Gruppen von Zustandsdaten, die keine neuen Informationen über das Verhalten der Objekte liefern. Dies ist darin begründet, dass die Skalentypen der Attribute nominal sind. Deshalb wird die Anwendung der Clusteranalyse auf den Zustandsdaten der ULD-Container nicht als Anforderung aufgenommen.

Die dritte Entwicklungsphase für den Frachtflughafen ist abgeschlossen. Es lassen sich folgende Ergebnisse nennen:

- **Verfahrensgruppe Abhängigkeitsanalyse:** Die Anwendung der Assoziationsanalyse auf dem Attribut Ort der Zustandsdaten der ULD-Container sowie auf der gesamten Zustandsdatenmenge der ULD-Container eignet sich zur Überprüfung der Sollvorgaben. Somit können diese beiden Verfahrensanwendungen zur Aufdeckung von Abweichungen genutzt werden und müssen in die Gruppe der ausgewählten Verfahren zur Erfüllung der ersten Anforderung mit aufgenommen werden. Eine Assoziationsanalyse auf Zuständen, die im Attribut eine Erschütterung aufweisen, sowie auf spezifischen Transaktionen, die die Orte der Erschütterung repräsentieren, eignet sich zur Ursachenanalyse und sollte nach der Abfrage aus Abbildung 7.15 zur Spezifizierung der Ursache genutzt werden. Daher sollten diese Anwendungen der Assoziationsanalyse in die Gruppe der Verfahren zur Erfüllung der zweiten Anforderung mit aufgenommen werden.

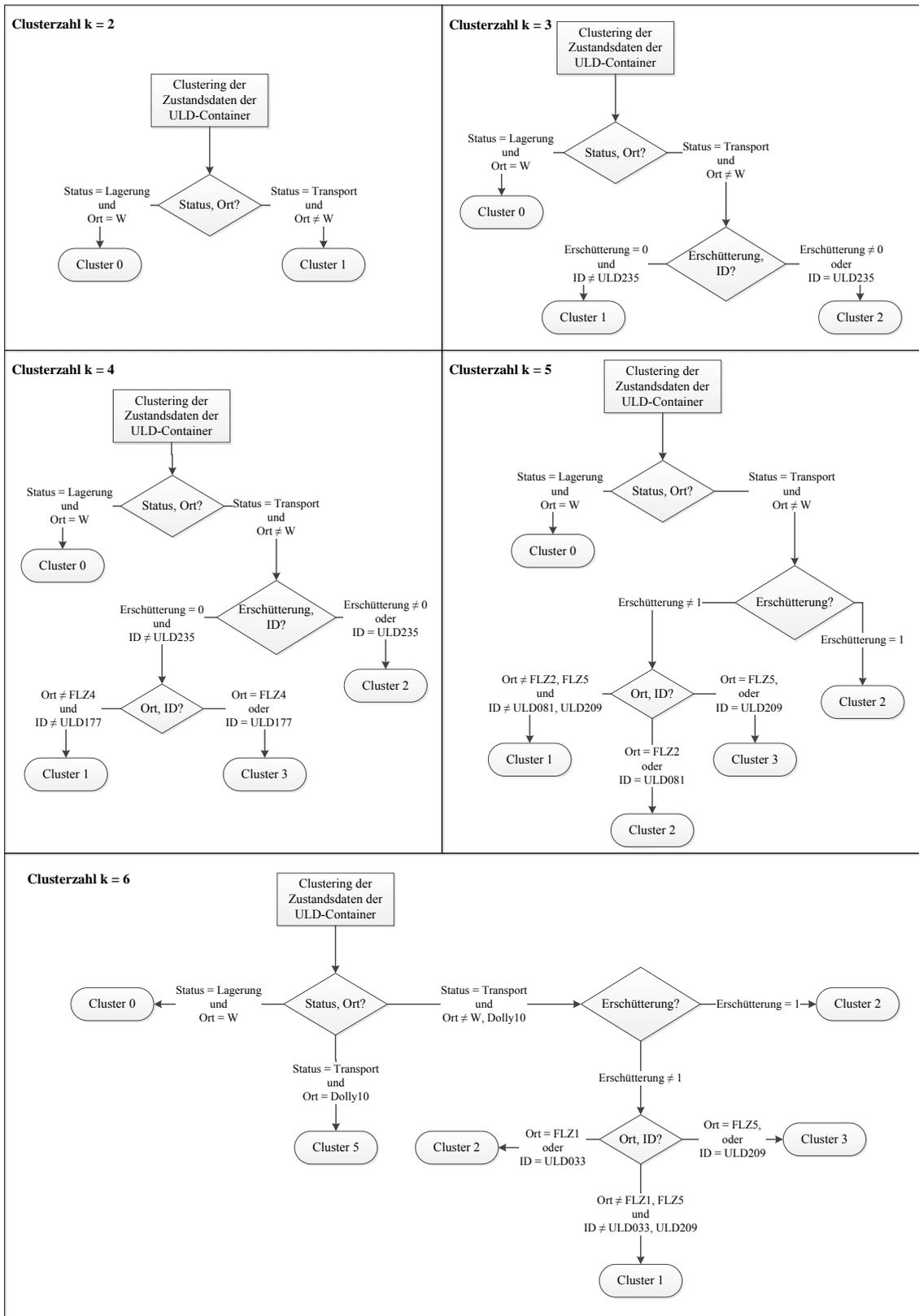


Abbildung 7.21: Eigenschaften der Cluster (für  $k = 2, \dots, 6$ ) als Flussdiagramm

- Verfahrensgruppe Clustering: Die Ergebnisse der Clusteranalyse auf den Zustandsdaten haben keine neuen Informationen zum Verhalten der logistischen Objekte geliefert.

Das ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte wurde für den Frachtflughafen vollständig durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass das Konzept anwendbar ist und die nach jeder Entwicklungsphase genannten Ergebnisse liefert.

## 7.2 Anwendungsbeispiel Wäscherei

Das zweite Anwendungsbeispiel zeigt, wie das ganzheitliche Konzept zur Unterstützung bei der Einführung von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien zur Überwachung der Objekte eines logistischen Systems angewendet werden kann. Als logistisches System wird eine reale Wäscherei betrachtet, die zur Überwachung der logistischen Prozesse RFID-Technologie eingeführt hat. Die Einführung der RFID-Technologie in der Wäscherei war Inhalt des Kooperationsprojekts „Entwicklung eines Verfahrens und der damit verbundenen logistischen Abläufe zum ganzheitlichen RFID-Einsatz im geschlossenen Wäscherei-Kreislauf unter Einbeziehung der Prozessabläufe bei Großkunden“<sup>8</sup>.

Eine Wäscherei bietet nicht nur das Waschen von Wäsche, sondern auch die Bereitstellung sauberer Wäsche als Dienstleistung an. Somit ist eine Wäscherei Eigentümer und deren Großkunden, wie Krankenhäuser und Hotels, Mieter der Wäsche. Dies führt dazu, dass eine Wäscherei einen sehr hohen Bestand an Flachwäsche, wie Mangelwäsche (Bettbezüge und -laken) und Frottierwäsche (Handtücher, Duschtücher und Badevorleger) vorhält, um zu jeder Zeit saubere Wäsche an den Kunden liefern zu können. Ohne den Einsatz von RFID-Technologie können Wäschestücke im Wäschereikreislauf nicht verfolgt werden. Daher sind die Bestände in der Wäscherei und beim Kunden nur sehr ungenau bekannt. Es werden unnötige Sicherheitsbestände aufgebaut, die hohe Kosten verursachen. Außerdem kann bei großen Mengen von Wäsche, die Lieferung an den Kunden nicht stückgenau nachgewiesen werden und enthält häufig Fehler. Die verschmutzte Wäsche, die vom Kunden zurückkommt, kann wegen der hohen Stückzahl und den hygienischen Vorgaben im Wareneingang nicht gezählt werden. Somit wird die Produktion einer Wäscherei mit unsicheren Daten über die vorhandenen Ressourcen im Wareneingang geplant. Aus diesen Gründen hat die Wäscherei zur Verfolgung einzelner Wäschestücke und Überwachung der Prozesse RFID-Technologie eingeführt. Die zur Verfügung stehende Test-Datenmenge wurde in einem realen Wäschereikreislauf aufgenommen und wird zur Validierung der Anforderungen genutzt.

### 7.2.1 Situationsanalyse der Wäscherei

Die erste Entwicklungsphase ist die Situationsanalyse. Der operative Logistiker der Wäscherei beginnt mit der Bearbeitung der beiden Aufgaben der Zielbeschreibung. Daran anschließend werden die Aufga-

---

<sup>8</sup>Das Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages „ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“.

Tabelle 7.16: Zieldefinition einer Wäscherei nach den 6+2 Richtigen der Logistik

<b>Die 6+2 Richtigen</b>		<b>Ziel</b>
1	Das richtige Objekt	Wäschestücke einer bestimmten Sorte
2	In der richtigen Anzahl	In der richtigen Anzahl
3	Am richtigen Ort	Beim richtigen Kunden
4	Zur richtigen Zeit	Soll-Lieferzeitpunkt
<b>Prozessaspekte</b>		
5	Zu den richtigen Kosten	-
6	Mit der richtigen Qualität	Hygienisch einwandfrei
+1	Ökologisch richtig	-
+1	Mit den richtigen Informationen	Mit dem richtigem Lieferschein

ben der Hintergrundanalyse und der Wissensorganisation zusammen mit dem Softwareentwickler gearbeitet.

### Zielbeschreibung

Der erste Aufgabenbereich besteht aus der Beschreibung der Zielstellung des operativen Managements der Wäscherei nach den 6+2 Richtigen der Logistik. Anschließend werden auftretende Problemstellungen bezüglich der Zielerreichung erarbeitet.

**Zieldefinition** Das operative Ziel der Wäscherei ist die pünktliche Erfüllung der Kundenaufträge. Bestimmte Mengen an sauberen Wäschestücken verschiedener Sorten müssen zur richtigen Zeit zusammen mit dem richtigen Lieferschein beim richtigen Kunden sein. Die Berücksichtigung der Prozesskosten und der Ressourceneffizienz sind taktische bzw. strategische Zielstellungen und werden daher nicht betrachtet. Das richtige Objekt einer Wäscherei ist nicht ein spezifisches Wäschestück, sondern ein Wäschestück einer bestimmten Sorte. Das bedeutet, dass z. B. ein Hotel eine bestimmte Anzahl an Bettlaken in einem speziellen Design bestellt und nicht einzelne Wäschestücke. In Tabelle 7.16 ist die operative Zielstellung nach den 6+2 Richtigen der Logistik dargestellt.

**Problembeschreibung** Bei der Auslieferung der Kundenbestellungen können verschiedene Probleme auftreten. Lieferungen können z. B. zu spät und fehlerhaft in Stückzahl und Sorte sein oder verschmutzte Wäschestücke beinhalten. In Abbildung 7.22 sind mögliche Probleme nach den 6+2 Richtigen der Logistik dargestellt.

### Hintergrundanalyse

Die Hintergrundanalyse hat das konzeptionelle Modell der Wäscherei und die Aufbereitung der vorhandenen Informationssysteme und Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien zum Ziel. Der

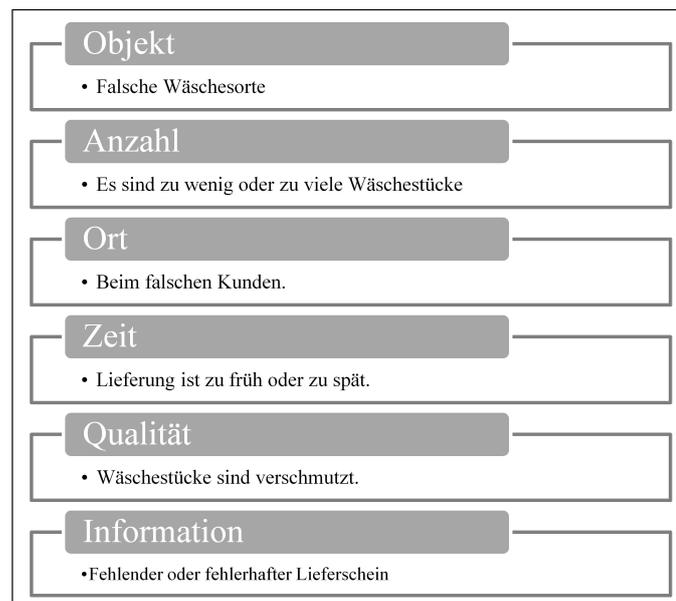


Abbildung 7.22: Probleme des operativen Betriebs in einer Wäscherei

operative Logistiker bearbeitet die ersten vier Aufgaben und zieht für die fünfte und sechste den Softwareentwickler hinzu.

**Objekttypen und -mengen** Das logistische Gut der Wäscherei ist das Wäschestück, welches nicht verschachtelt ist und durch das System fließt. Als Ladeeinheit werden Rollcontainer verwendet, in denen die Wäschestücke beim Kunden und in der Wäscherei gebündelt und transportiert werden. Die Auslieferung der Wäsche an den Kunden erfolgt mittels LKW. Da der Kunde verschmutzte Wäsche zum Waschen an die Wäscherei zurückgibt, liefern die LKW nicht nur saubere Wäsche aus, sondern nehmen auch verschmutzte Wäsche entgegen. Die Objektmengen Rollcontainer und LKW bewegen sich durch das System und sind verschachtelt.

Der Wareneingang (WE) einer Wäscherei besteht aus einer Rampe zur Entladung der LKW und Stellplätzen zur Zwischenlagerung der Rollcontainer. Die Entnahme der Rollcontainer aus dem Wareneingang erfolgt nach den Vorgaben der Planung der Waschauftragsreihenfolge. Die Wäsche wird an der Sortierstation aus den Rollcontainern in die Waschmaschine umgeschlagen und teilweise nach Wäschesorten sortiert. In der Waschstraße wird die Wäsche gereinigt und anschließend, je nach Aufbereitungsverfahren, sortiert. Zur Vereinfachung der Darstellung des Beispiels, beinhaltet die Aufbereitung nicht nur das Trocknen bzw. Mangeln, sondern auch das Falten und Stapeln. Außerdem wird die aufbereitete Wäsche nicht wie in vielen Wäschereien üblich, sofort kommissioniert, sondern erst eingelagert. An der Kommissionierstation wird die für die Kundenaufträge notwendige Wäsche aus dem Lager entnommen und in Rollcontainern gebündelt. Wenn ein Kundenauftrag vollständig ist, wird der Lieferschein ausgedruckt und an den entsprechenden Rollcontainern befestigt. Die fertigen Aufträge werden im Warenausgang zwischengelagert und über eine Rampe in die LKW verladen. Diese liefern dann die Aufträge an den

Tabelle 7.17: Objekttypen und -mengen der Wäscherei

Objekttyp	Objektmengen	Bezeichnung	bewegt	stationär	verschachtelt	nicht verschachtelt
Gut Informationsobjekt	Wäschestück	$ID_{Waesche}$	x			x
	Lieferschein	$ID_{LS}$	x			x
Ladeeinheit	Rollcontainer	$ID_{RC}$	x		x	
Transportmittel	LKW	$ID_{LKW}$	x		x	
Transportkanal	Transportweg	$ID_{TW}$		x	x	
Lager	Wareneingang	$ID_{WE}$		x	x	
	Lager	$ID_W$		x	x	
	Warenausgang	$ID_{WA}$		x	x	
Umschlagpunkt	Rampe-WE	$ID_{RampeWE}$		x	x	
	Sortierstation I	$ID_{SortI}$		x	x	
	Sortierstation II	$ID_{SortII}$		x	x	
	Kommissionierstation	$ID_{KS}$		x	x	
	Rampe-WA	$ID_{RampeWA}$		x	x	
	Kunde	$ID_{Kunde}$		x	x	
Aufbereitungsstation	Waschstraße	$ID_{WS}$		x	x	
	Aufbereitung Trocknen	$ID_{AT}$		x	x	
	Aufbereitung Mangeln	$ID_{AM}$		x	x	

Kunden aus. Beim Kunden wird die saubere Wäsche aus den Rollcontainern entnommen und verwendet. Verschmutzte Wäsche wird in den leeren Rollcontainern gesammelt und gelangt mit dem LKW zurück in die Wäscherei. Die einzelnen Stationen der Wäscherei, sowie die Kunden sind stationäre und verschachtelte Objekte. Der Lieferschein ist ein abstraktes Objekt, das sich durch das System bewegt. Die einzelnen Objektmengen sind in Tabelle 7.17 nach den Eigenschaften bewegt und stationär sowie verschachtelt und nicht verschachtelt dargestellt.

**Relationen** Zwischen den Objektmengen lassen sich drei Relationen ableiten: die verschachtelten Objekte können andere Objekte enthalten (Relation *beinhaltet*), der Mitarbeiter der Kommissionierstation druckt den Lieferschein (Relation *druckt*) und befestigt diesen an den Rollcontainern (Relation *wird befestigt an*). In Abbildung 7.23 sind die einzelnen Beziehungen zwischen den Objekttypen dargestellt. Da beim Kunden Rollcontainer vom LKW entladen und Wäschestücke aus diesen entnommen werden, tritt die Relation *beinhaltet* nicht nur zwischen Kunde und LKW, sondern auch zwischen Kunde und Rollcontainer und Kunde und Wäschestück auf. Ähnliches gilt für die Kommissionierstation, diese enthält nicht nur Rollcontainer, sondern auch einzelne Wäschestücke.

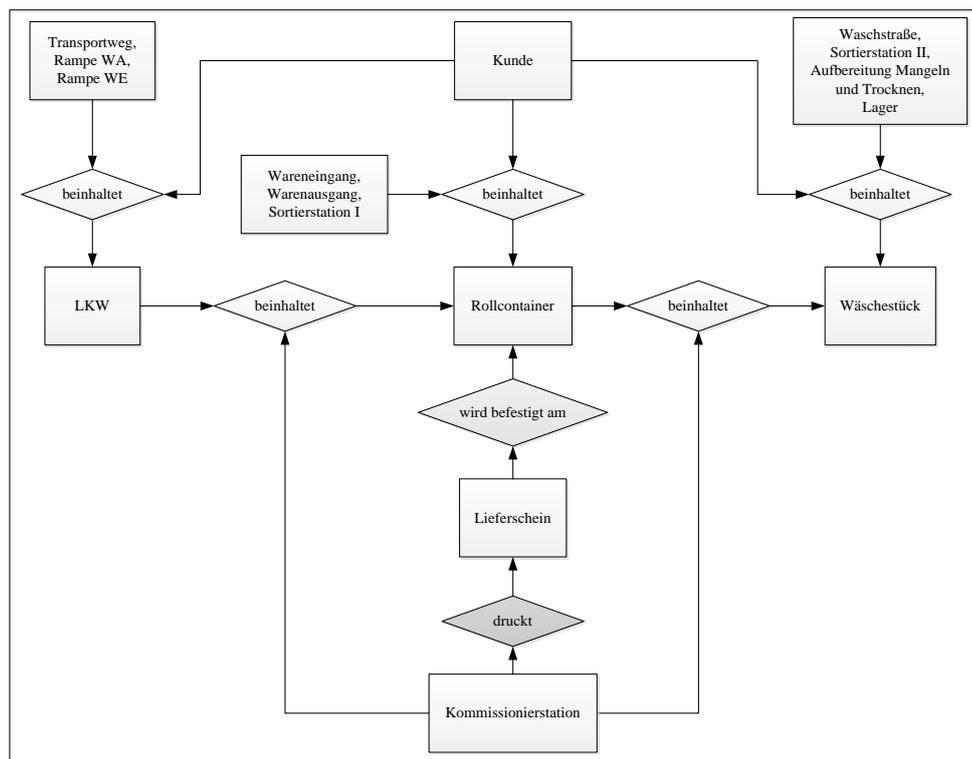


Abbildung 7.23: Relationen zwischen Objektmengen der Wäscherei

**Systemstruktur und Objektfluss** Die Anordnung der stationären Objekttypen und die Flüsse der bewegten Objekte sind in Abbildung 7.24 schematisch dargestellt. Der Wareneingang der Wäscherei besteht aus einer Rampe (bezeichnet mit Rampe WE) und einem Zwischenlager (bezeichnet mit Wareneingang). Daran anschließend folgt die Sortierstation I. Die Waschstraße bildet den Übergang zur sauberen Seite der Wäscherei, in der die Wäsche je nach Sorte gemangelt oder getrocknet wird. An die beiden Aufbereitungsstationen grenzt das Lager und daran die Kommissionierstation. Der Warenausgang besteht aus Lagerplätzen für die Rollcontainer (bezeichnet mit Warenausgang) und einer Rampe (bezeichnet mit Rampe WA). Die Straße zwischen der Wäscherei und dem Kunden wird mit Transportweg bezeichnet. Zur besseren Übersicht ist in der Darstellung nur ein Kunde abgebildet. Die Objektflüsse sind mit farbigen Pfeilen dargestellt.

**Prozesse der bewegten Objektmengen** Für alle bewegten Objektmengen müssen deren Prozesse definiert werden. Die Wäschestücke, die Rollcontainer und die LKW durchlaufen die Prozesse als Kreislauf. Der Lieferschein wird in der Kommissionierstation gedruckt und verlässt beim Kunden das System. In Abbildung 7.25 sind die einzelnen Prozessschritte der bewegten Objektmengen dargestellt.

Damit sind die ersten vier Aufgaben der Hintergrundanalyse abgeschlossen und die Ergebnisse werden an den Softwareentwickler übergeben. Die letzten beiden Aufgaben bearbeiten beide gemeinsam.

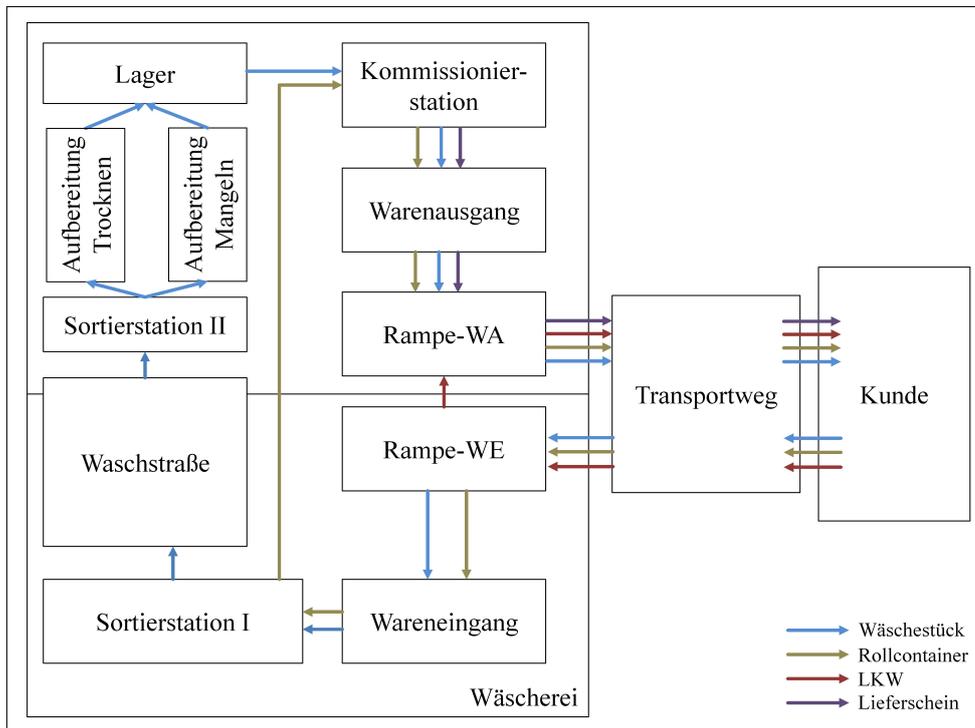


Abbildung 7.24: Systemstruktur und Objektfluss der Wäscherei

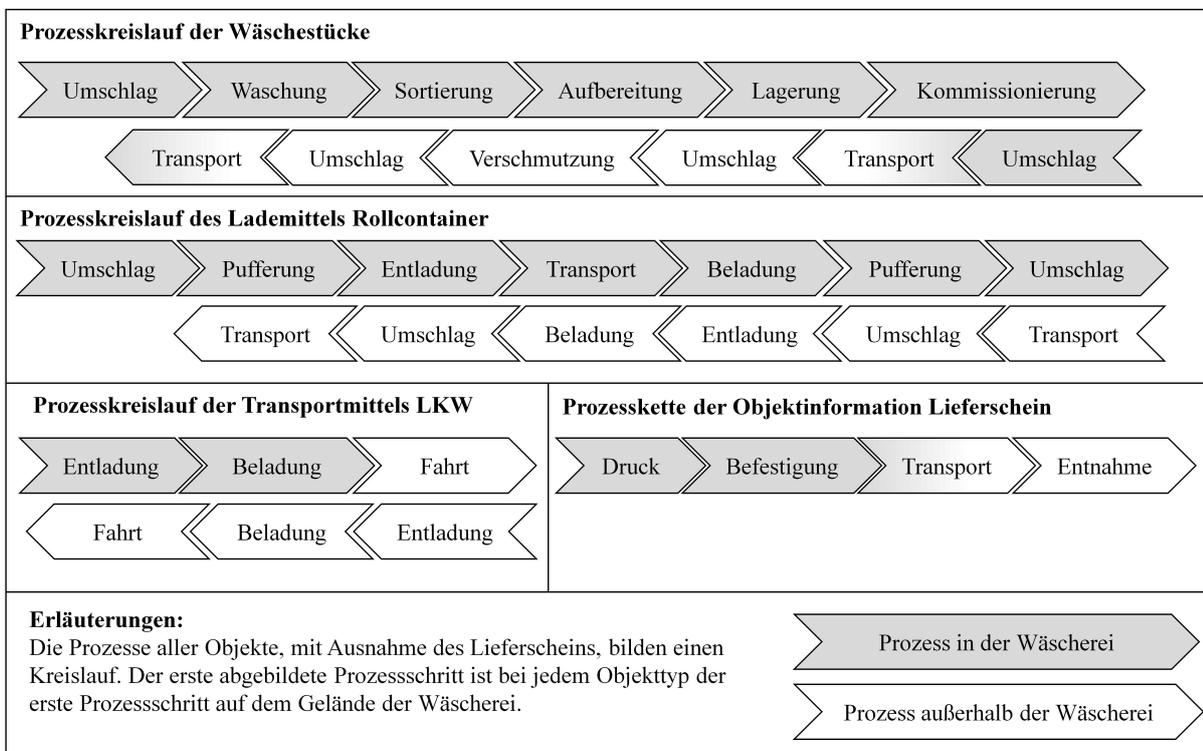


Abbildung 7.25: Prozesse der bewegten Objektmengen der Wäscherei

Tabelle 7.18: Stammdaten der Objektmengen des Wäschereikreislaufs

Stammdaten Wäschsorte		Stammdaten der bewegten verschachtelten Objekte	
Sorte	Behandlung	Objektmenge	Max. Kapazität
Bettlaken	Mangeln	Rollcontainer	80 Wäschestücke
Bettbezug	Mangeln	LKW	22 Rollcontainer
Handtuch	Trocknen		
Duschtuch	Trocknen		
Badevorleger	Trocknen		
...	...		
Stammdaten Wäschestücke		Stammdaten der stationären Objekte	
ID	Sorte	Objektmenge	Grenzleistung
Bettlaken01	Bettlaken	Sortierstation I	40 Wäschestücke/Min.
...	...	Waschstraße	40 Wäschestücke/Min.
Bettlaken50	Bettlaken	Sortierstation II	20 Wäschestücke/Min.
Bettbezug001	Bettbezug	Aufbereitung Trocknen	12 Wäschestücke/Min.
...	...	Aufbereitung Mangeln	12 Wäschestücke/Min.
Bettbezug100	Bettbezug	Kommissionierstation	20 Wäschestücke/Min.
Handtuch001	Handtuch		
...	...	Objektmenge	Max. Kapazität
Bettbezug100	Bettbezug	Rampe WE	1 LKW
Handtuch001	Handtuch	Wareneingang	70 Rollcontainer
...	...	Sortierstation I	5 Rollcontainer
Handtuch060	Handtuch	Waschstraße	560 Wäschestücke
Duschtuch01	Duschtuch	Sortierstation II	560 Wäschestücke
...	...	Aufbereitung Trocknen/ Mangeln	160 Wäschestücke
Duschtuch60	Duschtuch	Lager	100.000 Wäschestücke
Badevorleger01	Badevorleger	Kommissionierstation	9 Rollcontainer, 720 Wäschestücke
...	...		
Badevorleger30	Badevorleger	Warenausgang	50 Rollcontainer
...	...	Rampe WA	1 LKW

**Stammdaten und Sollvorgaben** Für alle Objektmengen müssen Stammdaten definiert werden. Wäschestücke einer Wäscherei können sehr vielfältig in Sorte, Farbe, Material und Größe und somit auch in deren Wasch- und Aufbereitungsverfahren sein. Daher müssen für die einzelnen Wäschsorten diese spezifischen Eigenschaften in den Stammdaten gespeichert werden. Die einzelnen Wäschestücke müssen mit Identifikationsnummern versehen und den Wäschsorten zugeordnet werden. Für die verschachtelten Objekttypen werden in den Stammdaten maximale Kapazitäten hinterlegt. Für Aufbereitungsstationen und Umschlagpunkte können Grenzleistungen definiert werden. Eine Übersicht beispielhafter Stammdaten ist in Tabelle 7.18 dargestellt. Die Stammdaten müssen anschließend in einem Datenmodell durch den Softwareentwickler aufbereitet werden.

Neben den Stammdaten müssen auch Sollvorgaben definiert werden. Diese ergeben sich aus der Zielstellung der Wäscherei, siehe Tabelle 7.16, und den Kundenaufträgen. In den Kundenbestellungen ist vorgegeben, wie viele Wäschestücke einer bestimmten Sorte zu welchem Zeitpunkt geliefert werden sollen. Außerdem soll die Lieferung einen richtigen Lieferschein enthalten sowie hygienisch einwandfrei sein. Diese Sollvorgabe ist in Abbildung 7.26 dargestellt. Mit den Vorgaben aus den Kundenaufträgen plant das taktische Management der Wäscherei die Reihenfolge der Waschaufträge, Kommissionieraufträge

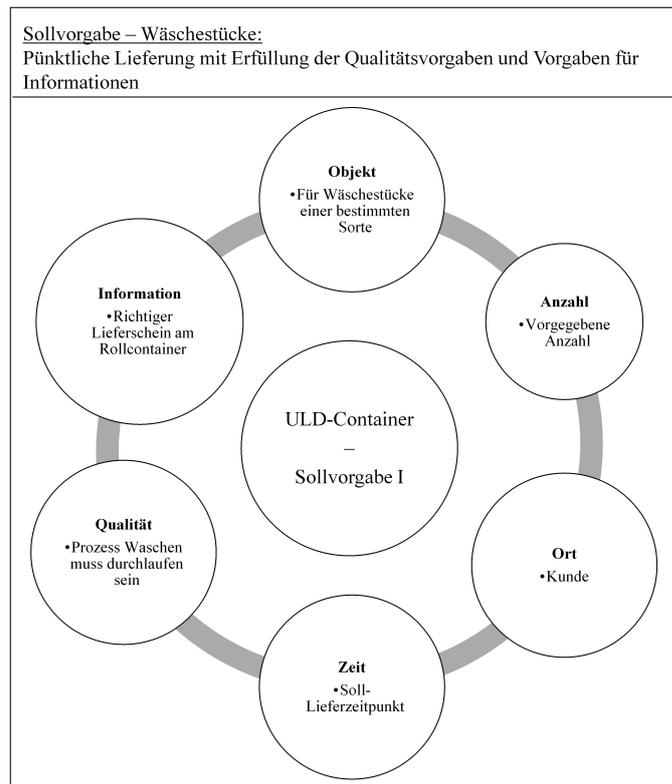


Abbildung 7.26: Sollvorgabe für die Wäschestücke

und Lieferaufträge der LKW. Diese bilden dann für die Sortierstation I, Kommissionierstation und LKW Sollvorgaben für die Bearbeitung.

**Bestehende Informationssysteme & Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien** Im letzten Schritt der Hintergrundanalyse werden die Informationssysteme und Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien der Wäscherei aufbereitet. Die Wäscherei hat ein ERP-System zur Verwaltung der Kundendaten, sowie ein Softwaresystem zur Produktionsplanung. Damit liegen die Stammdaten der Objektmengen sowie Auftragsdaten der Kunden im Data-Warehouse-System der Wäscherei vor.

Da die Wäscherei mit der Einführung von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien erst begonnen hat, sind diese Technologien nur an einzelnen Stationen installiert. Verschiedene Aufenthaltsorte der Wäschestücke werden mittels RFID-Technologie aufgezeichnet. Die Wäschestücke sind mit RFID-Transpondern ausgestattet und werden an vier Messpunkten in der Wäscherei automatisch identifiziert. Im Wareneingang befindet sich der erste Messpunkt in Form eines RFID-Gates. Die Rollcontainer werden durch das Gate geschoben und die enthaltenen Wäschestücke automatisch erfasst. Der nächste Messpunkt befindet sich zwischen der Sortierstation und der Waschstraße. Dort werden die Wäschestücke, die zu einem gemeinsamen Waschauftrag gehören, mit einem Antennensystem identifiziert. Die anderen beiden Messpunkte befinden sich an den Aufbereitungsstationen Mangeln und Trocknen. Die installierten Antennensysteme identifizieren die gewaschenen und gestapelten Wäschestücke. Die Aufenthaltsorte

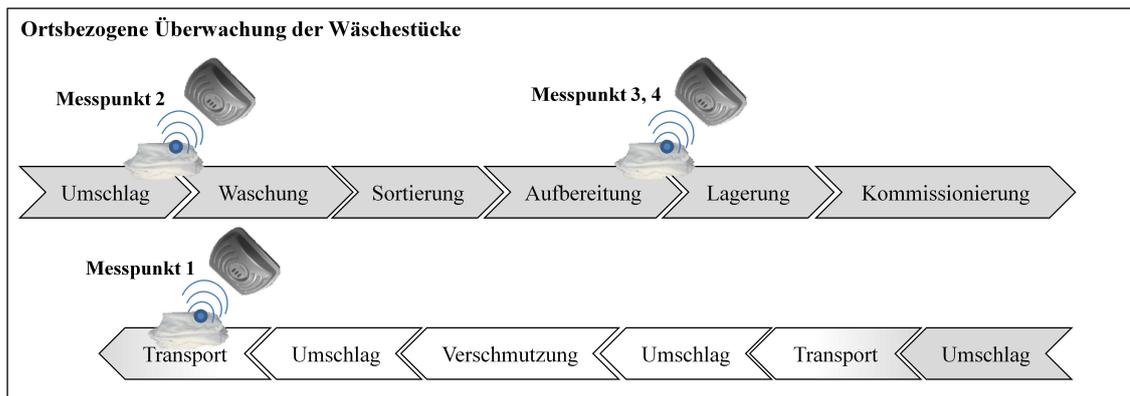


Abbildung 7.27: Identifikationstechnologien der Wäscherei

der Rollcontainer und LKW werden im Wäschereikreislauf nicht automatisch erfasst. Die installierten Identifikationstechnologien der Wäscherei sind in Abbildung 7.27 als Messpunkte an den zugehörigen Prozessschritten dargestellt.

Mit dieser letzten Aufgabe ist die Hintergrundanalyse abgeschlossen und der Softwareentwickler beginnt mit der Wissensorganisation.

### Wissensorganisation

Auf Basis des konzeptionellen Modells entwickelt der Softwareentwickler im Folgenden das Datenmodell der Zustandsdaten. Anschließend werden die vorhandenen Rohdaten mit den abgeleiteten Wertebereichen der Attribute verglichen und Empfehlungen für weitere Identifikationspunkte im Wäschereikreislauf gegeben.

**Struktur der Zustandsdaten** Die Attribute der Zustandsdaten müssen für alle Objektmengen definiert werden. Als Grundlage wird das konzeptionelle Modell verwendet. Die Wäschestücke sind bewegte und nicht verschachtelte Objekte, welche spezifische Prozessschritte durchlaufen müssen. Daher werden die Attribute Ort und Status für diese Objektmenge abgeleitet. Die Sollvorgabe aus Abbildung 7.26 beinhaltet die Forderung, dass die Wäschestücke hygienisch einwandfrei sein müssen. Deswegen wird ein weiteres Attribut definiert, das die Qualität der Wäschestücke beschreibt.

Die Rollcontainer sind bewegte Objekte, die die Wäschestücke enthalten und verschiedene Prozessschritte durchlaufen. Für den Rollcontainer werden als Attribute der Ort, der Status und der Inhalt der Wäschestücke festgelegt. Weiterhin muss bei Auslieferung der Bestellungen an den Kunden ein Lieferschein am Rollcontainer angebracht sein. Zur Überprüfung dieser Vorgabe wird als weiteres Attribut die Information definiert. Der LKW beinhaltet die Rollcontainer und transportiert diese zum Kunden. Für diese Objektmenge ergeben sich somit die Attribute Ort, Status und Inhalt Rollcontainer.

Wenn der LKW beim Kunden ankommt, entlädt dieser die Rollcontainer. Außerdem entnimmt der Kun-

de Wäschestücke aus den Rollcontainern und füllt diese mit verschmutzter Wäsche wieder auf. Daher werden als Attribute Inhalt Wäsche, Inhalt Rollcontainer und Inhalt LKW für den Kunden definiert. An der Kommissionierstation werden die Rollcontainer mit sauberen Wäschestücken befüllt, daher werden für diese als Attribute der Inhalt Wäsche und der Inhalt Rollcontainer definiert. Alle weiteren stationären Objektmengen enthalten entweder nur die Wäsche, Rollcontainer mit und ohne Wäsche oder LKW mit und ohne Rollcontainer. Daher werden für diese nur ein Attribut Inhalt definiert. Das Datenmodell der Zustandsdaten ist in Abbildung 7.28 dargestellt. Die idealen Wertebereiche der Attribute werden im Folgenden für alle Objektmengen aus dem konzeptionellen Modell abgeleitet.

**Wertebereiche der Attribute** Die idealen Wertebereiche der Attribute Ort und Inhalt der verschiedenen Objektmengen sind, je nachdem welche Relationen gelten, Vereinigungen und Kreuzprodukte anderer Objektmengen, vgl. Abbildung 7.23. Die Wertebereiche der Attribute Status, sind Mengen, die die einzelnen Prozessschritte der drei bewegten Objektmengen enthalten, siehe Abbildung 7.25. Der Wert des Attributs Inhalt besteht aus mehreren Komponenten. Die Anzahl der Komponenten wird über die maximale Kapazität der Objektmengen bestimmt (siehe Tabelle 7.18). Das Attribut Qualität der Wäschestücke beschreibt, ob das Objekt verschmutzt oder gewaschen und aufbereitet ist. Daher werden für dieses Attribut die beiden Werte *sauber* und *schmutzig* definiert. Das Attribut Information der Rollcontainer beschreibt, ob ein Lieferschein am Rollcontainer befestigt ist oder nicht. Daher werden dafür die Werte 0 (kein Lieferschein) und *Lieferschein* (Lieferschein vorhanden) definiert. In Tabelle 7.19 sind die idealen Wertebereiche der Wäschestücke, der Rollcontainer, der LKW und der Kommissionierstation dargestellt. Die idealen Wertebereiche der anderen Objektmengen ergeben sich analog.

**Ableitung von Zuständen aus Rohdaten** Für jeden Messpunkt wird im Folgenden analysiert, welche Attributwerte durch die Rohdaten erzeugt werden können.

### Messpunkt 1: Identifikation der Wäschestücke zwischen Rampe WE und Wareneingang

An diesem Messpunkt wird folgender Rohdatensatz aufgenommen:

$$D(\text{Waesche}, \text{Ant}_1, t_1) = (\text{Ant}_1, t_1, \text{Waesche}), \quad (7.18)$$

wobei  $\text{Ant}_1$  die ID des ersten Messpunkts,  $t_1$  den Zeitpunkt der Identifikation und  $\text{Waesche} \in ID_{\text{Waesche}}$  die ID eines Wäschestücks bezeichnen. Wenn ein Rollcontainer auf einen Stellplatz im Wareneingang geschoben wird, wird die enthaltene Wäsche automatisch identifiziert. Für die Rollcontainer kann kein Zustand erzeugt werden, da diese nicht mit RFID-Technologien ausgestattet sind. Der Messpunkt identifiziert die Wäschestücke während des Prozessschritts Transport, weswegen für das Attribut Status als Wert *Transport* eingetragen wird. Der Ort der Wäschestücke kann nach Definition des idealen Wertebereichs nicht bestimmt werden, denn dieser ist zu diesem Zeitpunkt der Rollcontainer. Da die Wäsche vom Kunden zurück kommt, ist diese nicht mehr hygienisch einwandfrei und der Wert des Attributs Qualität

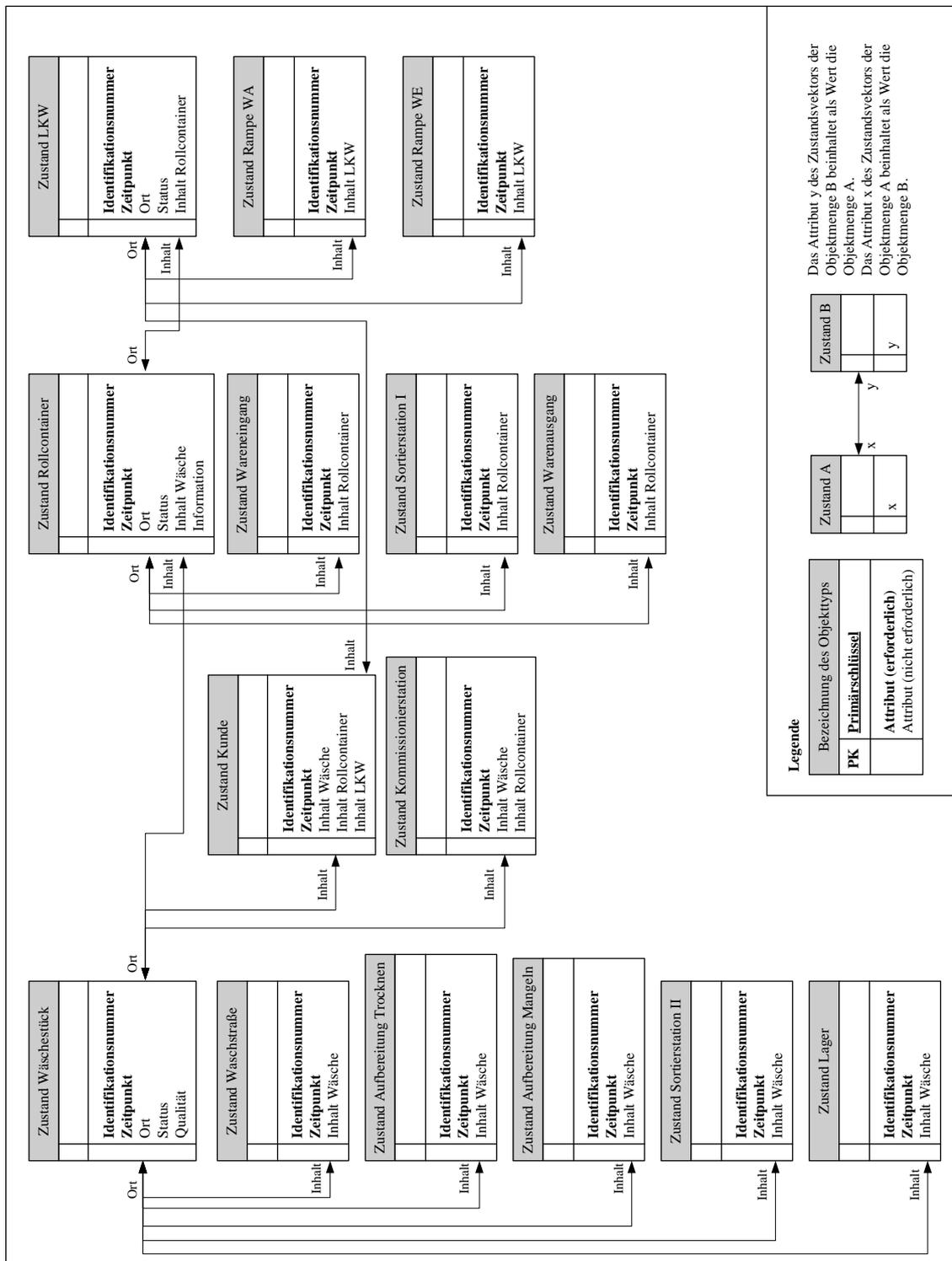


Abbildung 7.28: Struktur der Zustandsdaten der Objektmengen der Wäscherei

Tabelle 7.19: Ideale Wertebereiche der Attribute der Zustandsdaten der Objektmengen der Wäscherei

<b>Wäschestück</b>		
<b>Attribut</b>	<b>Attributs- bezeichnung</b>	<b>Idealer Wertebereich</b>
Ort	$A_{Waesche}^{Ort}$	$ID_{RC} \cup ID_{WS} \cup ID_{SortII} \cup ID_{AM} \cup ID_{AT} \cup ID_W \cup ID_{KS} \cup ID_{Kunde}$
Status	$A_{Waesche}^{Status}$	{Umschlag, Waschung, Sortierung, Trocknen, Mangeln, Lagerung, Kommissionierung, Transport, Verschmutzung}
Qualität	$A_{Waesche}^{Qualitaet}$	{sauber, schmutzig}
<b>Rollcontainer</b>		
<b>Attribut</b>	<b>Attributs- bezeichnung</b>	<b>Idealer Wertebereich</b>
Ort	$A_{RC}^{Ort}$	$ID_{LKW} \cup ID_{WE} \cup ID_{WA} \cup ID_{SortI} \cup ID_{KS} \cup ID_{Kunde}$
Status	$A_{RC}^{Status}$	{Umschlag, Pufferung, Entladung, Transport, Beladung}
Inhalt Wäsche	$A_{RC}^{InhaltW}$	$\underbrace{(ID_{Waesche} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Waesche} \cup \{0\})}_{80 \text{ mal}}$
Information	$A_{RC}^{Info}$	{0, Lieferschein}
<b>LKW</b>		
<b>Attribut</b>	<b>Attributs- bezeichnung</b>	<b>Idealer Wertebereich</b>
Ort	$A_{LKW}^{Ort}$	$ID_{TW} \cup ID_{RampeWE} \cup ID_{RampeWA} \cup ID_{Kunde}$
Status	$A_{LKW}^{Status}$	{Entladung, Beladung, Fahrt}
Inhalt Rollcontainer	$A_{LKW}^{InhaltRC}$	$\underbrace{(ID_{RC} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{RC} \cup \{0\})}_{22 \text{ mal}}$
<b>Kunde</b>		
<b>Attribut</b>	<b>Attributs- bezeichnung</b>	<b>Idealer Wertebereich</b>
Inhalt Wäsche	$A_{Kunde}^{InhaltW}$	$\underbrace{(ID_{Waesche} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Waesche} \cup \{0\})}_{n \text{ mal}}$
Inhalt Rollcontainer	$A_{Kunde}^{InhaltRC}$	$\underbrace{(ID_{RC} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{RC} \cup \{0\})}_{n \text{ mal}}$
Inhalt LKW	$A_{Kunde}^{InhaltLKW}$	$\underbrace{(ID_{LKW} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{LKW} \cup \{0\})}_{n \text{ mal}}$
<b>Kommissionierstation</b>		
<b>Attribut</b>	<b>Attributs- bezeichnung</b>	<b>Idealer Wertebereich</b>
Inhalt Wäsche	$A_{KS}^{InhaltW}$	$\underbrace{(ID_{Waesche} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Waesche} \cup \{0\})}_{720 \text{ mal}}$
Inhalt Rollcontainer	$A_{KS}^{InhaltRC}$	$\underbrace{(ID_{RC} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{RC} \cup \{0\})}_{9 \text{ mal}}$

ist *schmutzig*. Das Wäschestück war vor der Identifikation einem spezifischen Kunden zugeordnet. Da dieser das Wäschestück zurückgegeben hat, muss die ID des Wäschestücks aus dem Attribut Inhalt des Kunden durch den Wert 0 ersetzt werden.

### **Messpunkt 2: Identifikation der Wäschestücke zwischen Sortierung und Waschstraße**

Am Messpunkt 2 werden Wäschestücke automatisch identifiziert, die in die Waschmaschine verladen werden. Es wird folgender Rohdatensatz erzeugt:

$$D(\text{Waesche}, \text{Ant}_2, t_1) = (\text{Ant}_2, t_1, \text{Waesche}), \quad (7.19)$$

wobei  $\text{Ant}_2$  die ID des zweiten Messpunkts ist. Der Ort der Wäschestücke ändert sich somit zum Wert *WS* und der Status zum Wert *Waschung*. Das Qualitätsattribut bleibt vorerst bei *schmutzig*, da die Wasch- und Aufbereitungsprozesse noch nicht abgeschlossen sind. Nach der Identifikation ist das Wäschestück Inhalt der Waschstraße und die ID des Wäschestücks muss im Attribut Inhalt eingetragen werden.

### **Messpunkt 3, 4: Identifikation der Wäschestücke zwischen Aufbereitungsstation und Lager**

Die Messpunkte 3 und 4 befinden sich jeweils an den Aufbereitungsstationen für die Frottier- und Mangelwäsche. Wenn die Wäschestücke fertig gefaltet und gestapelt sind, werden diese automatisch identifiziert und ans Lager übergeben. Damit wird für das Attribut Ort der Wäschestücke der Wert *W* und für das Attribut Status der Wert *Lagerung* erzeugt. Außerdem ist das Wäschestücke jetzt gewaschen und aufbereitet und für den Wert des Attributs Qualität ergibt sich *sauber*. An diesen Messpunkten verlassen die Wäschestücke die Aufbereitungsstationen, weswegen die ID der Wäschestücke aus dem Attribut Inhalt der Aufbereitungsstationen durch den Wert 0 ersetzt werden müssen. Die ID des Wäschestücks ist auch immer noch im Attribut Inhalt der Waschstraße verzeichnet, dieses muss durch den Wert 0 ersetzt werden.

Die Attributwerte, die aus den Rohdatensätzen erzeugt werden können, bilden die realen Wertebereiche der Objektmengen. Diese sind in Tabelle 7.20 dargestellt und werden in der folgenden Aufgabe mit den idealen Wertebereichen verglichen.

**Vergleich der Wertebereiche** Beim Vergleich der realen Wertebereiche mit den idealen Wertebereichen fällt auf, dass sehr viele Attributwerte nicht erzeugt werden. Dies ist darin begründet, dass nur die Wäschestücke im Wäschereikreislauf verfolgt werden und die Rollcontainer und LKW nicht.

Beim Vergleich der Wertebereiche des Attributs Inhalt Wäsche der Kunden und des Lagers, ist ein Problem erkennbar. Die ID der Wäschestücke können zwar dem Lager zugeordnet werden, wird aber bei Verlassen nicht wieder aus dem Attributwert gelöscht. Beim Attribut Inhalt Wäsche der Kunden ist es genauso, nur umgekehrt. Es wird registriert, welche Wäschestücke vom Kunden zurückgegeben werden, aber nicht welche angeliefert werden. Diese Zusammenhänge sind aber für die operative Zielstellung der Wäscherei sehr wichtig, um die Richtigkeit der Kundenaufträge überprüfen zu können. Es wird empfohlen, zwischen dem Lager und dem Kunden einen weiteren Messpunkt zu implementieren. Dieser kann

Tabelle 7.20: Reale Wertebereiche der Attribute der Zustandsdaten der Objektmengen der Wäscherei

<b>Wäschestück</b>	
<b>Attribut</b>	<b>Realer Wertebereich</b>
Ort	$ID_{WS} \cup ID_W \cup ID_{WE}$
Status	$\{Waschung, Lagerung, Transport\}$
Qualität	$\{sauber, schmutzig\}$
<b>Kunde</b>	
<b>Attribut</b>	<b>Realer Wertebereich</b>
Inhalt Wäsche	$\underbrace{\{0\} \times \dots \times \{0\}}_{n \text{ mal}}$
<b>Aufbereitungsstation</b>	
<b>Attribut</b>	<b>Realer Wertebereich</b>
Inhalt Wäsche	$\underbrace{\{0\} \times \dots \times \{0\}}_{320 \text{ mal}}$
<b>Waschstraße</b>	
<b>Attribut</b>	<b>Realer Wertebereich</b>
Inhalt Wäsche	$\underbrace{(ID_{Waesche} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Waesche} \cup \{0\})}_{560 \text{ mal}}$
<b>Lager</b>	
<b>Attribut</b>	<b>Realer Wertebereich</b>
Inhalt Wäsche	$\underbrace{ID_{Waesche} \times \dots \times ID_{Waesche}}_{n \text{ mal}}$

am Ausgang des Lagers, in der Kommissionierstation oder direkt beim Kunden installiert werden. Da die Anzahl der Kunden einer Wäscherei sehr hoch ist, ist die Kommissionierstation als Messpunkt geeigneter. Die Rollcontainer sollten auch mit RFID-Technologien ausgestattet werden, denn dann kann an dieser Station identifiziert werden, in welchen Rollcontainer die Kundenaufträge kommissioniert wurden. Mit dem zusätzlichen Messpunkt in der Kommissionierstation kann somit die Menge und Sorte der Wäschestücke für die Kundenbestellungen kontrolliert werden, jedoch nicht deren pünktliche Lieferung. Weiterhin ist beim Vergleich der Wertebereiche erkennbar, dass kein Rohdatensatz erzeugt wird, wenn die Wäschestücke die Aufbereitungsstationen erreichen. Es wird empfohlen auch an diesen Stellen einen Messpunkt zu installieren. Jedoch wird die Wäsche automatisch identifiziert, wenn diese in die Waschstraße verladen werden. Sofern die Wasch- und Aufbereitungsprozesse der Wäscherei reibungslos ablaufen und keine Wäschestücke verloren gehen, sollte die Installation dieses Messpunkts nicht erste Priorität haben. Zur Überwachung der Zielstellung genügen in diesem Bereich der Wäscherei die Messpunkte 2 sowie 3 und 4 vorerst aus.

Wie oben erwähnt, werden die LKW und Rollcontainer im gesamten Kreislauf nicht verfolgt. Dies führt zu fehlenden Zustandsdaten beider Objektmengen. Um die pünktliche Auslieferung der Wäsche an den Kunden überwachen zu können, sollte der LKW die Auslieferung beim Kunden bestätigen können. Dazu muss dem LKW-Fahrer mittels Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht werden, den Zeitpunkt der Auslieferung als Rohdatensatz zu erzeugen.

Zur Überwachung der Zielstellung des Systems genügen die vier Messpunkte nicht. Daher ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:

1. Einführung eines Messpunkts an der Kommissionierstation, zur Überwachung der Wäschestücke, die ausgelagert und für die Kundenaufträge kommissioniert wurden.
2. Einführung von Informations- und Kommunikationstechnologien für den LKW-Fahrer, damit dieser die pünktliche Lieferung an den Kunden bestätigen kann.
3. Einführung von RFID-Technologie an den Rollcontainern, zur Verfolgung der Rollcontainer im Wäschereikreislauf.

Nach Einführung der ersten beiden Empfehlungen und zusammen mit den vorhandenen Messpunkten, ist es möglich die Zielstellung der Wäscherei zu überwachen. Die dritte Empfehlung unterstützt diese Überwachung und sollte im zweiten Schritt umgesetzt werden. Die Ausstattung aller weiteren Stationen und Objekte ist zur Überwachung der Zielerreichung vorerst nicht empfehlenswert. Wenn jedoch detailliertere Informationen aus den Zustandsdaten gewonnen werden sollen, müssen weitere Messpunkte im Wäschereikreislauf installiert werden.

**Aufbereitung der Soll-Zustände** Die Sollvorgabe setzt sich aus der Kundenbestellung, dem Soll-Lieferzeitpunkt, der Qualitätsvorgabe sowie dem richtigen Lieferschein zusammen, vgl. Abbildung 7.26.

Da die Kunden eine bestimmte Anzahl an Wäsche einer bestimmten Sorte fordern, ist es nicht zwingend notwendig ein spezielles Wäschestück zu liefern. Daher lässt sich aus der Sollvorgabe kein expliziter Soll-Zustand für die Wäschestücke ableiten. Zu jeder Kundenbestellung muss im Informationssystem ein Auftrag (abstraktes Objekt) erstellt werden. Der Auftrag enthält als Attribute die ID des Kunden, für jede Wäschesorte die entsprechende Menge sowie den Lieferzeitpunkt. Der Kundenauftrag muss an der Kommissionierstation zusammengestellt und mit einem LKW pünktlich ausgeliefert werden. Daraus ergibt sich ein Soll-Zustand für den Rollcontainer sowie der Kommissionierstation. Dieser gibt vor, wie viele Wäschestücke einer bestimmten Sorte in welchem Rollcontainer enthalten sein müssen und wann der Auftrag abgeschlossen sein soll. Außerdem werden daraus Soll-Zustände für die LKW abgeleitet, in denen die Soll-Lieferzeitpunkte der Aufträge enthalten sind.

Die erste Entwicklungsphase ist abgeschlossen. Die Ergebnisse sind das konzeptionelle Modell der Wäscherei, das Datenmodell der Zustandsdaten sowie Empfehlungen zur Einführung weiterer Auto-ID-Technologien im Prozess. Da bisher nur vier Messpunkte installiert sind, erzeugen diese nur einen Teil der notwendigen Zustandsdaten. Als Test-Rohdatenmenge liegen reale Rohdaten dieser vier Messpunkte einer Wäscherei vor. Diese wurde zu Test-Zustandsdaten transformiert und im Folgenden zur Validierung der Anforderungen genutzt.

### **7.2.2 Anforderungsbestimmung in der Wäscherei**

In der Anforderungsbestimmung werden die Anforderungen des operativen Logistikers der Wäscherei formuliert, analysiert und spezifiziert. Da nur wenige Zustandsdaten vorliegen, kann eine vollständige Validierung aller Anforderungen nicht durchgeführt werden. Daher sollte diese Phase nach Einführung weiterer Messpunkte wiederholt werden.

#### **Anforderungserhebung**

Der operative Logistiker muss zuerst seine Anforderungen an die Analyse der Zustandsdaten formulieren. Es haben sich folgende Anforderungen ergeben:

1. Anforderung: Die Sollvorgaben sollen permanent überwacht werden. Treten Abweichungen auf, sollen diese an den operativen Logistiker gemeldet werden.
2. Anforderung: Die Lebensläufe der Wäschestücke sollen verfolgt werden. Wenn ein Wäschestück eine zu lange Zeit bei einem Kunden liegt, ist das ein Hinweis darauf, dass das Wäschestück sich nicht mehr im Wäschereikreislauf aufhält. Dieser Verlust soll an den operativen Logistiker gemeldet werden. Außerdem soll gemeldet werden, wenn ein Wäschestück 100 Mal gewaschen wurde, denn dann muss dieses ausgesondert werden.
3. Anforderung: Es sollen Kennzahlen (Durchlaufzeiten und Bestände) berechnet werden.

## Anforderungsanalyse

In diesem Aufgabenbereich werden die Anforderungen in Datenanalysemethoden übersetzt. Die erste Aufgabe ist die grobe Systematisierung der Anforderungen.

**Grobe Systematisierung der Anforderungen nach Eingabe, Methode und Ausgabe** Bei der groben Systematisierung werden die Schrittfolgen aus Abbildung 6.8 für jede Anforderung nacheinander ausgeführt. Die erste Anforderung beinhaltet die Überwachung der Soll-Zustände. Deshalb sind die Ausgabeformate Abweichungen der Ist-Zustände von den Soll-Zuständen. Nach Vergleich des Ausgabeformats mit Tabelle 5.4 lässt sich als Methode der Soll-Ist-Vergleich ableiten. Die Eingabedaten sind Zustandsdaten der logistischen Objekte.

Die zweite Anforderung fordert die Überwachung der Lebensläufe der Wäschestücke. Die Ergebnisse sind vordefinierte Kennzahlen, die für alle Wäschestücke berechnet werden müssen. Die erste Kennzahl ist die Verweildauer eines Wäschestücks am Ort Kunden und die zweite die Anzahl, wie oft ein Wäschestück sich im Ort Waschstraße aufgehalten hat. Damit eignen sich als Methoden zum einen die Berechnung von Kennzahlen und zum anderen die Abfrage nach spezifischen Werten einer Kennzahl. Als Eingabedaten zur Berechnung der Kennzahlen sind Zustandsdaten und zur Abfrage vordefinierter Werte der Kennzahlen sind Kennzahlen notwendig.

Die dritte Anforderung beschreibt die Berechnung der Kennzahlen Durchlaufzeit und Bestände. Die Ausgabeformate sind somit Kennzahlen und die Methode Berechnung von Kennzahlen. Die Eingabedaten sind Zustands- und Ereignisdaten. Damit ist die grobe Systematisierung abgeschlossen und im nächsten Schritt werden die Anforderungen detaillierter betrachtet. Die Ergebnisse der groben Systematisierung sind in Tabelle 7.21 dargestellt.

**Detaillierte Analyse der Anforderungen nach Eingabe, Methode und Ausgabe** Im Folgenden werden die drei Anforderungen für die Wäscherei detailliert analysiert; als Hilfestellungen werden die Schrittfolgen aus Kapitel 6.2.2 verwendet.

**Anforderung I** Da nicht alle Zustandsdaten für einen Soll-Ist-Vergleich durch die vier Messpunkte im Wäschereikreislauf erzeugt werden, kann diese Anforderung nicht validiert werden. Nach Implementierung weiterer Messpunkte im Prozess sollte die detaillierte Analyse Spezifizierung und Validierung dieser Anforderung nachgeholt werden.

**Anforderung II** Die grobe Systematisierung der zweiten Anforderung hat ergeben, dass diese durch die Berechnung von Kennzahlen sowie Abfragen nach spezifischen Werten von Kennzahlen erfüllt werden kann. Der erste Schritt ist die Bestimmung der Kennzahl. Es sollen Verweildauern  $\tau d$  der Wäschestücke am Ort Kunde berechnet werden. Dies ist eine Kennzahl der verschachtelten Objekte und kann

Tabelle 7.21: Grobe Systematisierung der drei Anforderungen der Wäscherei

<b>Anforderung I</b>	Überwachung der Sollvorgaben
<b>Eingabe</b>	Zustands- und Ereignisdaten
<b>Methode</b>	Soll-Ist-Vergleich
<b>Ausgabe</b>	Abweichungen
<b>Methodenklasse</b>	Klassifikation
<b>Anforderung II</b>	Überwachung der Lebensläufe der Wäschestücke
<b>Eingabe</b>	Zustandsdaten, Kennzahlen
<b>Methode</b>	Berechnung von Kennzahlen, Abfrage
<b>Ausgabe</b>	Vordefinierte Kennzahlen
<b>Methodenklasse</b>	Zusammenfassung, Klassifikation
<b>Anforderung III</b>	Berechnung von Kennzahlen: Durchlaufzeiten und Bestände
<b>Eingabe</b>	Zustands- und Ereignisdaten
<b>Methode</b>	Berechnung von Kennzahlen
<b>Ausgabe</b>	Kennzahlen
<b>Methodenklasse</b>	Zusammenfassung

nach Gleichung 5.17 berechnet werden. Zur Berechnung der Verweildauer sind zwei Messpunkte im Prozess des Wäschereikreislaufs notwendig. Ein Messpunkt muss die Übergabe des Wäschestücks an den Kunden und der andere die Rückgabe an die Wäscherei aufnehmen. Im realen System sind aber nur vier Messpunkte installiert, von denen nur der erste Messpunkt zur Berechnung der Verweildauer verwendet werden kann. An diesem Messpunkt wird erfasst, wann das Wäschestück zur Wäscherei zurückkommt. Jedoch fehlt der Messpunkt, der die Übergabe an den Kunden erfasst. Zur Erfüllung der Anforderung muss dieser Messpunkt beim Kunden oder im Warenausgang der Wäscherei installiert werden. Es ist auch möglich als Messpunkt die Kommissionierstation zu wählen, jedoch sollte dann bei der Festlegung wie lang das Wäschestück maximal bei einem Kunden liegen darf, die Zeit zwischen Kommissionierung und Übergabe an den Kunden berücksichtigt werden.

Die zweite Kennzahl, die berechnet und abgefragt werden soll, ist die Anzahl an Waschzyklen. Als Eingabedaten werden alle Zustandsdaten des betrachteten Wäschestücks benötigt. Für diese wird gezählt, wie oft das Attribut Status den Wert *Waschung* aufweist. Die Kennzahl wird für jedes Wäschestück nach Waschung und Aufbereitung berechnet und als numerischer Wert in einer Tabelle dargestellt.

Als zweite Methode zur Erfüllung der Anforderung kann die Abfrage genutzt werden. Das Format der Abfrage ist ein spezifischer Wert der Kennzahl Anzahl Waschzyklen und kann mit den berechneten Waschzyklen aller Wäschestücke beantwortet werden. Nachdem die Wäschestücke gewaschen und aufbereitet wurden, wird dessen Anzahl an Waschzyklen bestimmt. Anschließend wird abgefragt, ob diese Kennzahl größer als 100 ist. Wenn ja, muss das Wäschestück ausgesondert werden. Als Messpunkt zur Berechnung der Kennzahl und Abfrage wurden die Messpunkte 3 und 4 gewählt. Eigentlich ist es nicht sinnvoll diese Abfrage nach dem Waschen durchzuführen. Sobald nämlich die 100 Waschzyklen erreicht sind, sollte das Wäschestück eigentlich nicht erst noch gewaschen werden, bevor es ausgesondert wird. Aber die Wäschestücke sind nur an der Aufbereitungsstation sowie Kommissionierstation vereinzelt.

Im Wareneingang befinden sich die Wäschestücke in einem Rollcontainer mit vielen anderen Wäschestücken und es ist nicht möglich das Wäschestück zu finden, das die 100 Waschzyklen erreicht hat.

**Anforderung III** Die dritte Anforderung beinhaltet auch die Berechnung von Kennzahlen. Als Kennzahlen sind Durchlaufzeiten und Bestände gefordert. Es soll die durchschnittliche Durchlaufzeit pro Tag für verschiedene Wäschesorten für die Prozesse Waschen und Aufbereiten bestimmt werden. Eingabedaten sind die Zustandsdaten der Wäschestücke. Das Ausgabeformat der Kennzahl soll numerisch und als Boxplot-Diagramm dargestellt werden. Zur Berechnung kann die Verweildauer in den verschachtelten Objekten Waschmaschine und Aufbereitungsstationen genutzt werden (siehe Gleichung 5.17). Die notwendigen Messpunkte sind die Messpunkte 2, 3 und 4.

Als zweite Kennzahl sollen die Bestände im Lager berechnet werden. Dazu werden aber Abgangs- und Zugangszeitpunkte für Wäschestücke im Lager benötigt, die nicht vorliegen. Deswegen ist zur Erfüllung dieser Anforderung ein zusätzlicher Messpunkt in der Kommissionierstation notwendig.

### Anforderungsspezifikation

Nach detaillierter Analyse müssen nun die Anforderungen spezifiziert werden. Dies kann nur für die Anforderungen durchgeführt werden, für die auch Eingabedaten vorliegen. Für alle anderen Anforderungen wurden Empfehlungen gegeben, an welchen Stellen im Prozess weitere Messpunkte notwendig sind. Diese Anforderungen werden im Folgenden nicht mehr betrachtet.

**Anforderung II** Die Berechnung und Abfrage der Waschzyklen lassen sich wie folgt spezifizieren:

1. Schritt: Wenn für ein Wäschestück  $Waesche \in ID_{Waesche}$  zu einem beliebigen Zeitpunkt  $t \in T$  gilt:

$$Z(Waesche, t) = (Waesche, t, Lager, Lagerung, sauber), \quad (7.20)$$

dann bestimme die Anzahl  $WZ(Waesche)$  der Zustandsdaten  $Z$  aus dem Graphen  $G(z)$  der Zustandsfunktion  $z$ , für die gilt:

$$Z(Waesche, \tilde{t}) = (Waesche, \tilde{t}, WS, Waschung, schmutzig), \quad (7.21)$$

wobei  $\tilde{t} \in T$  beliebig sein kann.

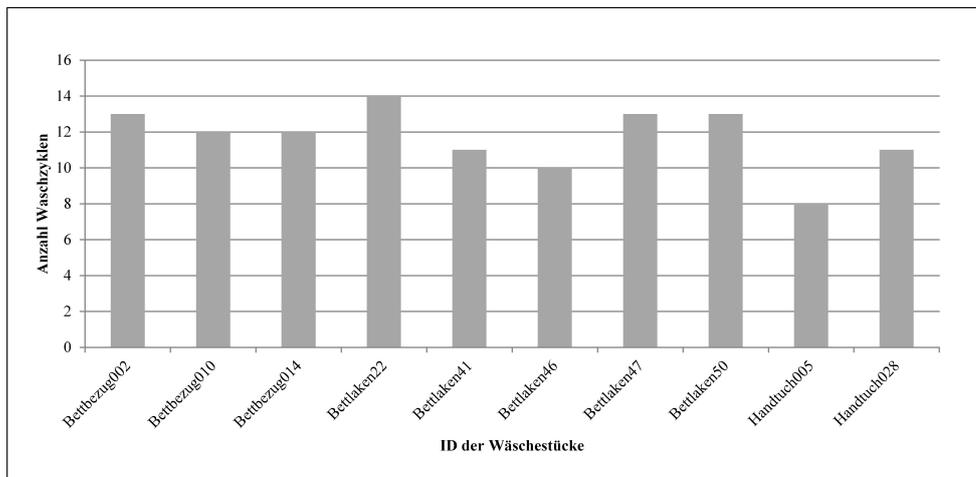


Abbildung 7.29: Anzahl Waschzyklen ausgewählter Wäschestücke im betrachteten Zeitraum

2. Schritt: Wenn die Anzahl der Waschzyklen den Wert 100 überschreitet, d. h.:

$$WZ(Waesche) > 100, \quad (7.22)$$

dann muss folgendes an den operativen Logistiker gemeldet werden: „Das Wäschestück mit der ID *Waesche* hat 100 Waschzyklen erreicht und muss ausgesondert werden.“

**Anforderung III** Zur Erfüllung der dritten Anforderung muss die Durchlaufzeit der Wäschestücke einer Sorte berechnet werden. Dazu müssen die Wäschestücke zusammen betrachtet werden, die zu einer Sorte gehören. Für jedes dieser Objekte wird anschließend die Verweildauer nach Gleichung 5.17 für die Stationen Waschstraße und Aufbereitungsstation berechnet und aufsummiert.

Damit ist die Anforderungsspezifikation abgeschlossen und die Verfahren der Anforderungen werden mit der Test-Zustandsdatenmenge validiert.

### Anforderungvalidierung

Als letzte Aufgabe der Anforderungsbestimmung werden die Analysemethoden je Anforderung validiert.

**Anforderung II** Die zweite Anforderung beinhaltet die Berechnung der Anzahl an Waschzyklen verschiedener Wäschestücke. Nach Berechnung der Waschzyklen für jedes Wäschestück der Test-Zustandsdatenmenge hat sich ergeben, dass noch kein Wäschestück 100 Waschzyklen erreicht hat. In Abbildung 7.29 sind für eine kleine Auswahl an Wäschestücken deren Anzahl an Waschzyklen in einem Balkendiagramm dargestellt.

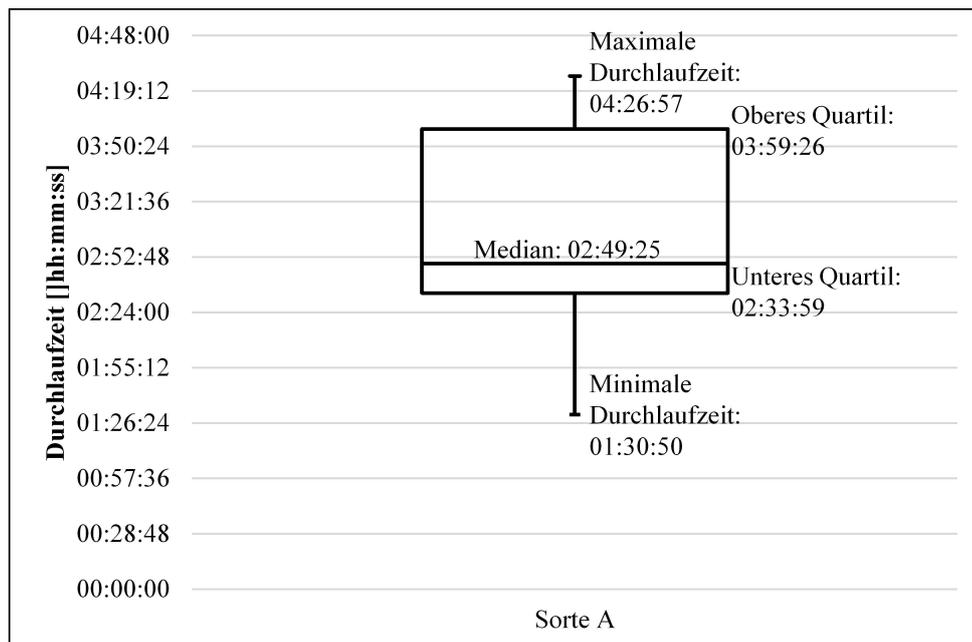


Abbildung 7.30: Boxplot-Diagramm der Durchlaufzeiten einer Wäschesorte im betrachteten Zeitraum

**Anforderung III** Die dritte Anforderung fordert die Berechnung der durchschnittlichen Durchlaufzeit verschiedener Wäschesorten pro Tag. Für die Validierung wurde die durchschnittliche Durchlaufzeit einer Wäschesorte in dem gesamten Zeitraum berechnet und in einem Boxplot-Diagramm aufbereitet, siehe Abbildung 7.30. Der Median der Durchlaufzeiten liegt ungefähr bei 2 Std. und 50 Min. und damit sehr nah am unteren Quartil (2 Std. 35 Min.). Das obere Quartil liegt bei ungefähr 4 Std. und das Maximum bei 4 Std. und 26 Min.. Die kleinsten 50 % der Durchlaufzeiten schwanken zwischen 1 Stunde und 30 Min. und 2 Std. 50 Min. und die größten 50 % der Durchlaufzeiten zwischen 2 Std. 50 Min. und 4 Std. und 30 Min.. Diese Differenzen und Schwankungen sind für die Prozesse einer Wäscherei zu hoch. Es ist möglich, die Wäschestücke in 1 Stunde und 30 Min. zu waschen, jedoch wird diese Durchlaufzeit meistens nicht erreicht. Es wird empfohlen die Tage oberhalb des oberen Quartil sowie unterhalb des unteren Quartil zu überprüfen und zu analysieren, was an den Tagen Gründe für eine kurze bzw. sehr hohe Durchlaufzeit gewesen sind.

Damit ist die Anforderungsbestimmung abgeschlossen und es wurden folgende Ergebnisse erreicht:

- Die erste Anforderung kann mit einem Soll-Ist-Vergleich erfüllt werden, jedoch nicht mit den vorhanden Zustands- und Ereignisdaten. Erst wenn an der Kommissionierstation ein Messpunkt zur automatischen Identifizierung implementiert wurde, ist eine Analyse der Zustandsdaten zur Erfüllung der Anforderung möglich.
- Die zweite Anforderung kann mit der Berechnung von Kennzahlen und einer Abfrage erfüllt werden. Aber auch hier kann die Kennzahl Aufenthaltsdauer der Wäschestücke beim Kunden, nur nach Installation eines Messpunkts zwischen der Wäscherei und den Kunden, berechnet werden.

- Die dritte Kennzahl kann mit der Berechnung von Kennzahlen erfüllt werden. Jedoch können nur Durchlaufzeiten mit den vorhandenen Messpunkten berechnet werden und keine Bestände. Daher ist es zwingend notwendig in der Kommissionierung einen Messpunkt zu installieren.

### 7.2.3 Datenanalyse der Wäscherei

Im Folgenden müssen noch nicht verwendete Verfahren ausgewählt, angewendet und interpretiert werden. Die beiden Verfahren, die noch nicht verwendet wurden sind die Clusteranalyse und die Abhängigkeitsanalyse. Wegen der wenigen Messpunkte im Prozess wird die Anwendung der Methoden auf den Test-Zustandsdaten keine neuen Informationen liefern. Nach Implementierung weiterer Messpunkte sollte diese Entwicklungsphase nachgeholt werden.

Damit ist das ganzheitliche Konzept für die Wäscherei abgeschlossen und es wurden Empfehlungen zur Einführung weiterer Identifikationspunkte im Prozess gegeben. Damit wurde gezeigt, dass das Konzept auch zur Unterstützung bei der Einführung von Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien zur Überwachung der Prozesse angewendet werden kann.

## Kapitel 8

# Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Arbeit wurde ein ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte entwickelt, das bei der Entwicklung eines Informationssystems für das operative Logistikmanagement in der Phase des Requirements Engineering die Zusammenarbeit zwischen dem Softwareentwickler und operativen Logistiker unterstützt. Die Ganzheitlichkeit des Konzepts zeigt sich in den drei Entwicklungsphasen Situationsanalyse, Anforderungsbestimmung und Datenanalyse.

Die Situationsanalyse enthält Aufgabenbereiche, die zum Ziel haben, das logistische System als konzeptionelles Modell aufzubereiten und daraus ein Datenmodell für die Zustands- und Ereignisdaten abzuleiten. Das Datenmodell wird über die logistischen Objekte, Prozesse und Relationen bestimmt und nicht wie üblich über die vorhandenen Rohdaten. Die aus den implementierten Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien gewonnenen Rohdaten werden analysiert und in das zuvor entwickelte Datenmodell überführt. Damit können fehlende und nicht relevante Rohdaten identifiziert werden, was die Entscheidungsfindung bei der Frage nach einem Ausbau der Auto-ID-, Lokalisierungs- und Sensortechnologien unterstützt.

In der zweiten Entwicklungsphase werden die funktionalen Anforderungen des operativen Logistikers erhoben, das jeweils passende Datenanalyseverfahren mit einer systematischen Vorgehensweise ausgewählt und mittels Test-Zustands- und Ereignisdaten validiert. Damit können die Anforderungen des operativen Logistikers systematisch ermittelt, direkt in Methoden übersetzt und mit Szenarien und Beispielen unteretzt werden. Falls zur Erfüllung der Methoden weitere Zustands- und Ereignisdaten benötigt werden, wird zur Situationsanalyse zurückgekehrt und die Analyse der Rohdaten von neuem durchgeführt. Die spiralförmige Vorgehensweise unterstützt den operativen Logistiker dabei, seine Anforderungen besser zu verstehen und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen. Durch die direkte Übersetzung der Anforderungen in Datenanalysemethoden kann der Softwareentwickler die Anforderungen für die spätere Entwurfs- und Implementierungsphase in Form von Flussmodellen oder mathematischen Formeln darstellen und damit die Umsetzung der Anforderungen in das Informationssystem zielführend unterstützen. Die letzte Entwicklungsphase, die Datenanalyse, dient zur Ermittlung weiterer Analyseverfahren zur In-

formationsgenerierung aus den Zustands- und Ereignisdaten. Dabei werden noch nicht betrachtete Methoden ausgewählt, mit den Test-Zustands- und Ereignisdaten durchgeführt und deren Ergebnisse aus logistischer Sicht interpretiert. Hier ist es wichtig, dass der Softwareentwickler eng mit dem operativen Logistiker zusammenarbeitet, um die Methode so anzupassen, dass eine Anforderung daraus formuliert werden kann.

Zur Entwicklung des Konzepts wurden die notwendigen Grundlagen der Logistik aufbereitet und beschrieben. Dazu wurden die 6+2 Richtigen der Logistik hergeleitet, die Begriffe logistische Systeme, Objekte und Prozesse im Kontext des Konzepts definiert und die Aufgaben des operativen Logistikmanagements beschrieben. Daran anschließend wurde der Begriff Informationssystem eingeführt und typische Informationssysteme des operativen Logistikmanagements beschrieben. Die Phasen einer Softwareentwicklung wurden erläutert und eine gängige Vorgehensweise des Requirements Engineerings dargestellt. Zur Modellierung von Daten wurde der Begriff Datenmodell eingeführt, das Entity-Relationship-Modell erläutert, und es wurde definiert, was unter Zustands- und Ereignisdaten im Rahmen des Konzepts verstanden wird. Darauf aufbauend wurden Verfahrensgruppen des Knowledge Discovery in Databases aufbereitet und ausgewählte Methoden, die in der Logistik Anwendung finden, erläutert. Die beschriebenen Methoden wurden nach den Ausprägungen Eingabe, Methode und Ausgabe systematisiert und als Auswahltabelle aufbereitet.

Demzufolge erfüllt das entwickelte ganzheitliche Konzept die in Kapitel 1.3 geforderten Zielstellungen und kann in der in Kapitel 6 dargestellten Form als Entwicklungsleitfaden vom operativen Logistikmanager gemeinsam mit dem Softwareentwickler in der Phase der Requirements Engineering angewendet werden. Durch die Validierung des Konzepts an einem realitätsnahen und einem realen Beispiel wurde gezeigt, dass das Konzept die geforderten Ergebnisse liefert und in seiner Form anwendbar ist.

Infolgedessen leistet das Konzept einen Beitrag zur Verbesserung der Transparenz in den logistischen Prozessen eines Unternehmens und kann als Werkzeug im Rahmen der Entwicklung hin zu einer Industrie 4.0 verstanden werden. Durch die Übertragung der Struktur des logistischen Systems in ein Modell für Zustands- und Ereignisdaten sowie der Transformation der Anforderungen des operativen Logistikmanagements in Analysemethoden können Informationssysteme das Verhalten des realen Systems für den operativen Logistikmanager realitätsnäher aufbereiten. Denn ohne eine aus logistischer Sicht sinnvolle Datenstruktur und ohne integrierte Regeln und Vorgaben aus dem Erfahrungswissen eines operativen Logistikers können Informationssysteme keine sinnvollen Analyseergebnisse liefern. Wenn sich Cyber-Physical-Systems in der Logistik verbreiten sollen, müssen die beiden Fachgebiete Logistik und Informatik einander näher kommen und dafür legt das ganzheitliche Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustands- und Ereignisdaten logistischer Objekte einen Grundstein.

Aus den Ergebnissen der Arbeit und aufbauend auf dem ganzheitlichen Konzept lässt sich weiterer Forschungsbedarf ableiten. Eine Auswahl von weiterführenden Arbeiten ist im Folgenden genannt.

- Das ganzheitliche Konzept ist in seiner Form allgemeingültig, aber auf die Besonderheiten der operativen Logistik ausgerichtet. Hier ist eine Erweiterung auf das taktische und strategische Logistikmanagement denkbar sowie auch auf das Anwendungsfeld der Produktion.

- Die Systematisierung und Auswahl der Analysemethoden kann nach erfolgreicher Anwendung weiterer Analyseverfahren in der Logistik ergänzt und verfeinert werden.
- Das Konzept kann aus Sicht der Informatik mit konkreten Umsetzungsempfehlungen der spezifizierten Anforderungen, wie z. B. aus dem Bereich des Complex Event Processing, erweitert werden.
- Es ist möglich, die Umsetzung der Analysemethoden zu automatisieren und durch ein Werkzeug zu unterstützen. In dieser Arbeit wurden *Microsoft Excel 2010*, *Microsoft Access 2010* und *RapidMiner Studio* zur Verwaltung und Analyse der Daten verwendet. Hier wäre ein einheitliches Werkzeug, das die Aufgaben des ganzheitlichen Konzepts unterstützt, sehr hilfreich.
- Das ganzheitliche Konzept sollte zur Weiterentwicklung und Verbreitung an anderen Anwendungsfällen durchgeführt und validiert werden.



# Literaturverzeichnis

- [ALVARENGA und SCHOENTHALER, 2003] ALVARENGA, CARLOS A. und R. C. SCHOENTHALER (2003). *A new take on supply chain event management*. Supply Chain Management Review, März/April:28–35.
- [AMRRESEARCH] AMRRESEARCH. [www.amrresearch.com/Content/Topic.asp?valueid=279](http://www.amrresearch.com/Content/Topic.asp?valueid=279), Online: 24.07.2006.
- [ASHBROOK und STARNER, 2003] ASHBROOK, DANIEL und T. STARNER (2003). *Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users*. Personal and Ubiquitous Computing, 7(5):275–286.
- [BAADER und MONTANUS, 2008] BAADER, ANDRAES und S. MONTANUS (2008). *Transparency in Global Supply Chain Networks - Methods and Tools for Integrated Supply Chain Event Management*. In: IJIOU, RASCHID, H. EMMERICH und M. CEYP, Hrsg.: *Strategies and Tactics in Supply Chain Event Management*, S. 3–11. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [BALZERT et al., 2009] BALZERT, HELMUT, H. BALZERT, R. KOSCHKE, U. LÄMMELE, P. LIGGESMEYER und J. QUANTE (2009). *Lehrbuch der Softwaretechnik - Basiskonzepte und Requirements Engineering*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 3. Aufl.
- [BARFUS, 2010] BARFUS, KATJA (2010). *Entwicklung eines Vorgehensmodells zur strategischen Planung des logistischen Netzes einer verteilten Produktion*. Fraunhofer Verlag, Stuttgart.
- [BEEKMANN und CHAMONI, 2006] BEEKMANN, FRANK und P. CHAMONI (2006). *Verfahren des Data Mining*. In: CHAMONI, PETER und P. GLUCHOWSKI, Hrsg.: *Analytische Informationssysteme - Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen*, S. 263–282. Springer, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [BEIERLE und KERN-ISBERNER, 2006] BEIERLE, CHRISTOPH und G. KERN-ISBERNER (2006). *Methoden wissensbasierter Systeme - Grundlagen - Algorithmen - Anwendungen*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 3. Aufl.
- [BENSEL et al., 2008] BENSEL, PHILIPP, F. FÜRSTENBERG und S. VOGELER (2008). *Supply Chain Event Management - Entwicklung eines SCEM-Frameworks*. Digitale Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin, 3.

- [BERNARD, 2011] BERNARD, THOMAS (2011). *Entscheidungsunterstützung durch Data-Mining-Werkzeuge*. Automatisierungs-ATLAS 2011, SPS-Magazin, 5:608–610.
- [BERTHOLD et al., 2010] BERTHOLD, MICHAEL R., C. BORGELT, F. HÖPPNER und F. KLAWONN (2010). *Guide to Intelligent Data Analysis - How to Intelligently Make Sense of Real Data*. Springer-Verlag, London.
- [BISSANTZ und HAGEDORN, 1993] BISSANTZ, NICOLAS und J. HAGEDORN (1993). *Data Mining (Datenmustererkennung)*. Wirtschaftsinformatik, 35(5):481–487.
- [BITTNER, 2000] BITTNER, MICHAEL (2000). *AMR Research: E-Business requires supply chain event management*. In: *The Report on Supply Chain Management*. AMR Research, Boston.
- [BODENDORF, 2006] BODENDORF, FREIMUT (2006). *Daten- und Wissensmanagement*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2. Aufl.
- [BOOCH et al., 2006] BOOCH, GRADY, J. RUMBAUGH und I. JACOBSON (2006). *Das UML Benutzerhandbuch - Aktuell zur Version 2.0*. Addison-Wesley Verlag, München.
- [BRADDOCK, 1958] BRADDOCK, RICHARD (1958). *An extension of the Lasswell Formula*. Journal of Communication, 8(2):88–93.
- [BRAMER, 2007] BRAMER, MAX (2007). *Principles of Data Mining*. Springer-Verlag, London.
- [BRANDAU und TOLUJEVS, 2013] BRANDAU, ANNEGRET und J. TOLUJEVS (2013). *Modelling and analysis of logistical state data*. Transport and Telecommunication, 14(2):102–115.
- [BRANDAU und TOLUJEW, 2011] BRANDAU, ANNEGRET und J. TOLUJEW (2011). *Logistics Event Management*. In: SCHENK, MICHAEL, Hrsg.: *9./10. Forschungskolloquium am Fraunhofer IFF 2010 - Forschung vernetzen - Innovationen beschleunigen*, S. 47–51, Magdeburg. Fraunhofer Verlag.
- [BRETZKE, 2002] BRETZKE, WOLF-RÜDIGER (2002). *SCEM - Entwicklungsperspektive für Logistikdienstleister*. Supply Chain Management, III:27–31.
- [BRETZKE und KLETT, 2004] BRETZKE, WOLF-RÜDIGER und M. KLETT (2004). *Supply Chain Event Management als Entwicklungspotenzial für Logistikdienstleister*. In: BECKMANN, HOLGER, Hrsg.: *Supply Chain Management: Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen*, S. 145–160. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 1992] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, Hrsg. (1992). *Agenda 21 - Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro*, Bonn. Köllen Druck+Verlag GmbH. Deutsche Übersetzung.
- [BVL, 2013] BVL, BUNDESVEREINIGUNG LOGISTIK (2013). *Logistik*. <http://www.bvl.de/logistik-scm>, Online: 27.09.2013.

- [CAMPBELL et al., 1957] CAMPBELL, ROBERT D., F. D. DOREY und R. E. MURPHY (1957). *Concept of a logistics system*. Naval Research Logistics Quarterly, 4(2):101–116.
- [CHANDOLA et al., 2009] CHANDOLA, VARUN, A. BANERJEE und V. KUMAR (2009). *Anomaly detection: a survey*. ACM Computing Surveys, 41(3):15–58.
- [CHAPMAN et al., 2000] CHAPMAN, PETE, J. CLINTON, R. KERBER, T. KHABAZA, T. REINARTZ, C. SHEARER und R. WIRTH (2000). *CRISP-DM 1.0 - Step-by-step data mining guide*. SPSS Inc., USA.
- [CHEN, 1976] CHEN, PETER PIN-SHAN (1976). *The entity-relationship model - toward a unified view of data*. ACM Transactions on Database Systems (TODS), 1(1):9–36.
- [CRAMER und KAMPS, 2014] CRAMER, ERHARD und U. KAMPS (2014). *Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [DA CUNHA et al., 2005] CUNHA, CATHERINE DA, B. AGARD und A. KUSIAK (2005). *Improving manufacturing quality by re-sequencing assembly operations: a data-mining approach*. In: *18th International Conference on Production Research - ICPR 18*, Fisciano, Italy. University of Salerno.
- [DEGEN, 2006] DEGEN, HORST (2006). *Statistische Methoden zur visuellen Exploration mehrdimensionaler Daten*. In: CHAMONI, PETER und P. GLUCHOWSKI, Hrsg.: *Analytische Informationssysteme - Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen*, S. 305–326. Springer, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [DELFMANN et al., 2010] DELFMANN, WERNER, W. DANGELMAIER, W. A. GÜNTNER, P. KLAUS, L. OVERMEYER, W. ROTHENGATTER, J. WEBER und J. ZENTES (2010). *Positionspapier zum Grundverständnis der Logistik als wissenschaftliche Disziplin*. Bundesvereinigung Logistik (BVL). <http://www.bvl.de/positionspapier>, Online: 24.07.2012.
- [DEMING, 2000] DEMING, WILLIAM EDWARDS (2000). *Out of the crisis*. 1. MIT Press ed., Cambridge, Mass.
- [DIN19226, 1994] DIN19226 (1994). *Leittechnik - Regelungstechnik und Steuerungstechnik - Allgemeine Grundbegriffe*. Technischer Bericht DIN 19 226 Teil 1, DIN Deutsches Institut für Normung.
- [DONG und PEI, 2007] DONG, GUOZHU und J. PEI (2007). *Sequence Data Mining*. Springer Science+Business Media, LLC.
- [DUMKE, 2003] DUMKE, REINER (2003). *Software Engineering*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- [DÜSING, 2006] DÜSING, ROLAND (2006). *Knowledge Discovery in Databases - Begriff, Forschungsgebiet, Prozess und System*. In: CHAMONI, PETER und P. GLUCHOWSKI, Hrsg.: *Analytische Informationssysteme - Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen*, S. 241–262. Springer, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [FAYYAD et al., 1996a] FAYYAD, USAMA, G. PIATETSKY-SHAPIRO und P. SMYTH (1996a). *From data mining to knowledge discovery in databases*. AI Magazine, 17(3):37–54.

- [FAYYAD et al., 1996b] FAYYAD, USAMA M., G. PIATETSKY-SHAPIRO und P. SMYTH (1996b). *From data mining to knowledge discovery: an overview*. In: FAYYAD, USAMA M., G. PIATETSKY-SHAPIRO, P. SMYTH und R. UTHURUSAMY, Hrsg.: *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, Kap. 1, S. 1–34. AAAI Press / The MIT Press, Menlo Park, California.
- [FISCHÄDER und SCHNEIDER, 2004] FISCHÄDER, HOLM und H. SCHNEIDER (2004). *Evaluierung und Kompensation logistischer Störungen in netzwerkförmigen Produktionsstrukturen*. In: ZIEMS, DIETRICH, G. NEUMANN, K. INDERFURTH, M. SCHENK und G. WÄSCHER, Hrsg.: *10. Magdeburger Logistiktagung: Logistikqualität*, S. 90–103, Magdeburg. LOGiSCH GmbH.
- [FISCHER und HOFER, 2011] FISCHER, PETER und P. HOFER (2011). *Lexikon der Informatik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 15. Aufl.
- [FLEISCHMANN, 2008] FLEISCHMANN, BERNHARD (2008). *Grundlagen: Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse - Begriffliche Grundlagen*. In: ARNOLD, DIETER, H. ISERMANN, A. KUHN, H. TEMPELMEIER und K. FURMANS, Hrsg.: *Handbuch Logistik*, Kap. A 1.1, S. 3–12. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3 Aufl.
- [GHEZZI et al., 1991] GHEZZI, CARLO, M. JAZAYERI und D. MANDRIOLI (1991). *Fundamentals of Software Engineering*. Prentice-Hall, Inc.
- [GROSSMANN, 1990] GROSSMANN, GERHARD (1990). *Allgemeine Grundlagen*. In: KRAMPE, HORST, Hrsg.: *Transport, Umschlag, Lagerung*, Kap. 1, S. 11–20. VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- [GUDEHUS, 1975] GUDEHUS, TIMM (1975). *Transporttheorie - Programm einer neuen Forschungsrichtung*. *Industrie-Anzeiger*, 97(64):1379–1383.
- [GUDEHUS, 2010] GUDEHUS, TIMM (2010). *Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 4. Aufl.
- [HANSEN und NEUMANN, 2009] HANSEN, HANS ROBERT und G. NEUMANN (2009). *Wirtschaftsinformatik 1*. Lucius & Lucius, Stuttgart, 10. Aufl.
- [HARIHARAN und TOYAMA, 2004] HARIHARAN, RAMASWAMY und K. TOYAMA (2004). *Project lachesis: parsing and modeling location histories*. In: EGENHOFER, MAX J., C. FREKSA und H. J. MILLER, Hrsg.: *Geographic Information Science - Third International Conference, GIScience 2004, Adelphi, MD, USA, October 20-23, 2004. Proceedings, LNCS*, Bd. 3234, S. 106–124. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [HAUSLADEN, 2011] HAUSLADEN, IRIS (2011). *IT-gestützte Logistik - Systeme - Prozesse - Anwendungen*. Gabler Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [HEIL, 1995] HEIL, MANFRED (1995). *Entstörung betrieblicher Abläufe*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden.

- [HEINRICH, 2006] HEINRICH, KEVIN E. (2006). *Clustering: partitional algorithms*. In: BERRY, MICHAEL W. und M. BROWNE, Hrsg.: *Lectures Notes in Data Mining*, Kap. 11, S. 121–132. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- [HELLINGRATH et al., 2008] HELLINGRATH, BERND, T. HEGMANN, J.-C. MAASS und M. TOTH (2008). *Prozesse in Logistiknetzwerken - Supply Chain Management*. In: ARNOLD, DIETER, H. ISERMANN, A. KUHN, H. TEMPELMEIER und K. FURMANS, Hrsg.: *Handbuch Logistik*, Kap. B 6, S. 459–486. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [HERING und SCHÖNFELDER, 2012] HERING, EKBERT und G. SCHÖNFELDER, Hrsg. (2012). *Sensoren in Wissenschaft und Technik - Funktionsweise und Einsatzgebiete*. Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [HEUSLER et al., 2006] HEUSLER, KLAUS FELIX, W. STÖLZLE und H. BACHMANN (2006). *Supply Chain Event Management: Grundlagen, Funktionen und potenzielle Akteure*. WiSt, 1:19–24.
- [HIPPE, 2004] HIPPE, JOCHEN (2004). *Wissensentdeckung in Datenbanken mit Assoziationsregeln*. Akademische Verlagsgesellschaft Aka GmbH, Berlin.
- [HOFSTETTER und STÖLZLE, 2013] HOFSTETTER, JOERG S. und W. STÖLZLE (2013). *Supply chain event management - concept and use in business practice*. In: ESSIG, MICHAEL, M. HÜLSMANN, E.-M. KERN und S. KLEIN-SCHMEINK, Hrsg.: *Supply Chain Safety Management: Security and Robustness in Logistics*, S. 245–265. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [TEN HOMPEL et al., 2008] HOMPEL, MICHAEL TEN, H. BÜCHTER und U. FRANZKE (2008). *Identifikationssysteme und Automatisierung*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [TEN HOMPEL et al., 2012] HOMPEL, MICHAEL TEN, O. WOLF, A. NETTSTRÄTER, M. MEINHARDT, D. EBEL, T. GEISSEN, V. KRAFT, J.-C. MAASS, C. MERTENS und M. WITTHAUT (2012). *IT in der Logistik - Trends des Logistik-IT-Marktes auf einen Blick - vom Supply Chain Management bis zum Warehouse Management*. DVV Media Group GmbH | Deutscher Verkehrs-Verlag, Bremen.
- [HOOD et al., 2008] HOOD, COLIN, S. WIEDEMANN, S. FICHTINGER und U. PAUTZ (2008). *Requirements Management*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [IEEEStd830, 1998] IEEEStd830 (1998). *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*. Technischer Bericht, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA.
- [IJOUI et al., 2007] IJOUI, RASCHID, H. EMMERICH, M. CEYP und W. DIERCKS (2007). *Supply Chain Event Management als strategisches Unternehmensführungskonzept*. In: IJOUI, RASCHID, H. EMMERICH und M. CEYP, Hrsg.: *Supply Chain Event Management - Konzepte, Prozesse, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele*, S. 3–13. Physica-Verlag, Berlin Heidelberg.

- [ILLÉS et al., 2007] ILLÉS, BÉLA, E. GLISTAU und N. I. C. MACHADO (2007). *Logistik und Qualitätsmanagement*. Miskolc, Ungarn.
- [ISO/IEC/IEEE24765, 2010] ISO/IEC/IEEE24765 (2010). *Systems and Software Engineering - Vocabulary*. Technischer Bericht, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA.
- [JETZKE, 2007] JETZKE, SIEGRFRIED (2007). *Grundlagen der modernen Logistik - Methoden und Lösungen*. Carl Hanser Verlag, München.
- [JÜNEMANN et al., 1989] JÜNEMANN, REINHARDT, M. DAUM, U. PIEPEL und S. SCHWINNING (1989). *Materialefluß und Logistik - Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [KAGERMANN et al., 2013] KAGERMANN, HENNING, W. WAHLSTER und J. HELBIG (2013). *Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0*. acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft, Frankfurt am Main.
- [KANG et al., 2004] KANG, JONG HEE, W. WELBOURNE, B. STEWART und G. BORIELLO (2004). *Extracting places from traces of locations*. In: *Proceedings of the 2nd ACM international Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots (Philadelphia, PA, USA, 2004) WMASH 2004*, S. 110–118.
- [KAPOUN, 1981] KAPOUN, JOSEF (1981). *Logistik - ein moderner Begriff mit langer Geschichte*. Zeitschrift für Logistik, 2(3):123–127.
- [KARRER, 2003] KARRER, MICHAEL (2003). *Supply Chain Event Management - Impulse zur ereignisorientierten Steuerung von Supply Chains*. In: DANGELMAIER, WILHELM, T. GAJEWSKI und C. KÖSTERS, Hrsg.: *Innovationen im E-Business: die 5. Paderborner Frühjahrstagung des Fraunhofer-Anwendungszentrums für Logistikorientierte Betriebswirtschaft*, Paderborn. Fraunhofer-ALB.
- [KEMPER und EICKLER, 2011] KEMPER, ALFONS und A. EICKLER (2011). *Datenbanksysteme - Eine Einführung*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 8. Aufl.
- [KLAUS et al., 2012] KLAUS, PETER, W. KRIEGER und M. KRUPP, Hrsg. (2012). *Gabler Lexikon Logistik*. Gabler Verlag | Springer Fachmedien, Wiesbaden, 5. Aufl.
- [KLEUKER, 2013] KLEUKER, STEPHAN (2013). *Grundkurs Software-Engineering mit UML*. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 3. Aufl.
- [KNICKLE, 2001] KNICKLE, KIMBERLY (2001). *Supply Chain Event Management - The Next Best Thing to Supply Chain Perfection*. <http://www.amrresearch.com/Content/view.asp?pmillid=652&docid=8254>, Online: 23.06.2002.

- [KOCH, 2014] KOCH, MARKUS (2014). *Objektanalysen für die Modellierung und Simulation von logistischen Systemen*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [KÖCKMANN, 1988] KÖCKMANN, PAUL (1988). *Logistisch lagern im Materialfluss*. In: RUPPER, PETER und R. H. SCHEUCHZER, Hrsg.: *Lager- und Transport-Logistik - Planung, Steuerung und Kontrolle von Lager- und Transportvorgängen*, S. 14–23. Verlag Industrielle Organisation, Zürich.
- [KÖPPEN et al., 2014] KÖPPEN, VEIT, G. SAAKE und K.-U. SATTLER (2014). *Data Warehouse Technologien*. mitp, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, 2. Aufl.
- [KOTONYA und SOMMERVILLE, 1998] KOTONYA, GERALD und I. SOMMERVILLE (1998). *Requirements Engineering - Processes and Techniques*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.
- [KRAMPE und LUCKE, 2012] KRAMPE, HORST und H.-J. LUCKE (2012). *Einführung in die Logistik*. In: KRAMPE, HORST, H.-J. LUCKE und M. SCHENK, Hrsg.: *Grundlagen der Logistik - Theorie und Praxis logistischer Systeme*, Kap. 1, S. 15–33. HUSS-VERLAG GmbH, München, 4. Aufl.
- [KÜHNEL et al., 1987] KÜHNEL, BERND, H. PARTSCH und K.-P. REINSHAGEN (1987). *Requirements Engineering - Versuch einer Begriffserklärung*. Informatik-Spektrum, 10(6):334–335.
- [KURBEL und SCHREBER, 2005] KURBEL, KARL und D. SCHREBER (2005). *Mobile SCEM Agentenbasiertes Event-Management in globalen Logistiknetzwerken*. *Industrie Management*, 21(5):21–24.
- [LAUDON et al., 2006] LAUDON, KENNETH C., J. P. LAUDON und D. SCHODER (2006). *Wirtschaftsinformatik - Eine Einführung*. Pearson Studium, München.
- [LEE, 2013] LEE, ROGER Y. (2013). *Software Engineering: A Hands-On Approach*. Atlantis Press and the author.
- [LIU, 2006] LIU, HUADONG (2006). *Clustering: hierarchical algorithms*. In: BERRY, MICHAEL W. und M. BROWNE, Hrsg.: *Lectures Notes in Data Mining*, Kap. 10, S. 109–120. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- [LOSHIN, 2012] LOSHIN, DAVID (2012). *Business Intelligence - The Savvy Manager's Guide*. Elsevier Inc., 2. Aufl.
- [LUCKE, 2012] LUCKE, HANS-JOACHIM (2012). *Systemtheoretische Grundlagen der Logistik*. In: KRAMPE, HORST, H.-J. LUCKE und M. SCHENK, Hrsg.: *Grundlagen der Logistik - Theorie und Praxis logistischer Systeme*, Kap. 2, S. 35–56. HUSS-VERLAG GmbH, München, 4. Aufl.
- [LUNZE, 2013] LUNZE, JAN (2013). *Regelungstechnik 1 - Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 9. Aufl.
- [MELSKI, 2009] MELSKI, ADAM (2009). *Datenmanagement in RFID-gestützten Logistiknetzwerken*. Cu-villier Verlag, Göttingen.

- [MELSKI und SCHUMANN, 2008] MELSKI, ADAM und M. SCHUMANN (2008). *Von Rohdaten zu entscheidungsrelevanten Informationen - Datenaufbereitung und -auswertung in RFID-gestützten Supply Chains*. In: *Mobile und ubiquitäre Informationssysteme: Technologien, Prozesse, Marktfähigkeit: Proceedings zur 3. Konferenz Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme (MMS 2008)*, S. 150–163, München.
- [MERTENS, 2009] MERTENS, PETER (2009). *Integrierte Informationsverarbeitung 1 - Operative Systeme in der Industrie*. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 17. Aufl.
- [MERTENS et al., 2012] MERTENS, PETER, F. BODENDORF, W. KÖNIG, A. PICOT, M. SCHUMANN und T. HESS (2012). *Grundzüge der Wirtschaftsinformatik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 11. Aufl.
- [MERTENS und MEIER, 2009] MERTENS, PETER und M. C. MEIER (2009). *Integrierte Informationsverarbeitung 2 - Planungs- und Kontrollsysteme in der Industrie*. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 10. Aufl.
- [MORGENSTERN, 1955] MORGENSTERN, OSKAR (1955). *Note on the formulation of the theory of logistics*. *Naval Research Logistics Quarterly*, 2(3):129–136.
- [MORS, 2002] MORS, MICHAEL (2002). *Supply Chain Event Management Systeme*. *Supply Chain Management*, II:25–28.
- [NEGRETTO, 2002] NEGRETTO, UGO (2002). *E-Enabled Supply Chain am Beispiel der Automobilindustrie*. *Supply Chain Management*, 2:57–63.
- [NISSEN, 2002] NISSEN, VOLKER (2002). *Supply Chain Event Management*. *Wirtschaftsinformatik*, 44(5):477–480.
- [NYHUIS und WIENDAHL, 2012] NYHUIS, PETER und H.-P. WIENDAHL (2012). *Logistische Kennlinien - Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [OTTO, 2003] OTTO, ANDREAS (2003). *Supply chain event management: three perspectives*. *The International Journal of Logistics Management*, 14(2):1–13.
- [PACHOW-FRAUENHOFER und NYHUIS, 2008] PACHOW-FRAUENHOFER, JULIA und P. NYHUIS (2008). *Grundlagen der Produktionslogistik - Grundlagen*. In: ARNOLD, DIETER, H. ISERMANN, A. KUHN, H. TEMPELMEIER und K. FURMANS, Hrsg.: *Handbuch Logistik*, Kap. B 3.1, S. 295–307. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.
- [PAGE, 1991] PAGE, BERND (1991). *Diskrete Simulation - Eine Einführung mit Modula-2*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [PARTSCH, 2010] PARTSCH, HELMUTH (2010). *Requirements-Engineering systematisch*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2. Aufl.

- [PETERSOHN, 2005] PETERSOHN, HELGE (2005). *Data Mining - Verfahren, Prozesse, Anwendungsarchitekturen*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München.
- [PFOHL, 1972] PFOHL, HANS-CHRISTIAN (1972). *Marketinglogistik*. Distribution-Verlag, Mainz.
- [PFOHL, 2010] PFOHL, HANS-CHRISTIAN (2010). *Logistiksysteme - Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 8. Aufl.
- [PIEKENBROCK, 2009] PIEKENBROCK, DIRK (2009). *Gabler Kompakt-Lexikon Volkswirtschaftslehre*. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 3. Aufl.
- [PLOWMAN, 1964] PLOWMAN, EDWARD GROSVENOR (1964). *Lectures on Elements of Business Logistics*. Stanford University.
- [POHL, 2008] POHL, KLAUS (2008). *Requirements Engineering - Grundlagen, Prinzipien, Techniken*. dpunkt.verlag GmbH, 2. Aufl.
- [REFA, 1977] REFA (1977). *REFA-Lexikon - Betriebsorganisation*. Beuth Verlag GmbH.
- [REGGELIN, 2011] REGGELIN, TOBIAS (2011). *Mesoskopische Modellierung und Simulation logistischer Flusssysteme*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [REINHARDT UND BONGARDS, 2011] REINHARDT, H. und M. BONGARDS (2011). *Regelungstechnik*. In: GROTE, KARL-HEINRICH und J. FELDHUSEN, Hrsg.: *Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau*, S. X1–X19. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 23. Aufl.
- [RESPECT-IT, 2007] RESPECT-IT (2007). *A KAOS Tutorial*. Technischer Bericht, Objectiver.
- [RUNKLER, 2010] RUNKLER, THOMAS A. (2010). *Data Mining - Methoden und Algorithmen intelligenter Datenanalyse*. Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- [RUPP, 2007] RUPP, CHRIS (2007). *Requirements-Engineering und Management - Professionelle, iterative Anforderungsanalyse für die Praxis*. Carl Hanser Verlag, München Wien, 4. Aufl.
- [SAAKE et al., 2013] SAAKE, GUNTER, K.-U. SÄTLER und A. HEUER (2013). *Datenbanken - Konzepte und Sprachen*. mitp, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, 5. Aufl.
- [SÄUBERLICH, 2000] SÄUBERLICH, FRANK (2000). *KDD und Data Mining als Hilfsmittel zur Entscheidungsunterstützung*. Peter Lang GmbH Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt a. M.
- [SCHENK et al., 2012] SCHENK, MICHAEL, A. KRAMPE, O. POENICKE, K. RICHTER und H. SEIDEL (2012). *Informationslogistik*. In: KRAMPE, HORST, H.-J. LUCKE und M. SCHENK, Hrsg.: *Grundlagen der Logistik - Theorie und Praxis logistischer Systeme*, Kap. 4, S. 97–129. HUSS-VERLAG GmbH, München, 4. Aufl.

- [SCHENK et al., 2006] SCHENK, MICHAEL, J. TOLUJEW, K. BARFUS und T. REGGELIN (2006). *Modellierung und Analyse von räumlichen Relationen zwischen physischen Objekten in logistischen Netzwerken*. In: PFOHL, H.-C. und T. WIMMER, Hrsg.: *Wissenschaft und Praxis im Dialog. 3. BVL-Wissenschaftssymposium Logistik*, S. 26–39, Hamburg. Deutscher Verkehrs-Verlag.
- [SCHENK et al., 2007a] SCHENK, MICHAEL, J. TOLUJEW, K. BARFUS und T. REGGELIN (2007a). *Grundkonzepte zu logistischen Echtzeitsystemen: Monitoring, Event Management und Frühwarnung*. In: WOLFKLUTHAUSEN, HANNE, Hrsg.: *Jahrbuch Logistik 2007*, S. 222–226. free beratung GmbH.
- [SCHENK et al., 2007b] SCHENK, MICHAEL, J. TOLUJEW und T. REGGELIN (2007b). *Dynamisches betreiben von Produktionsnetzen*. *Industrie Management*, 23(5):19–22.
- [SCHENK und WIRTH, 2004] SCHENK, MICHAEL und S. WIRTH (2004). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb - Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [SCHENK et al., 2010] SCHENK, MICHAEL, S. WIRTH und E. MÜLLER (2010). *Factory Planning Manual - Situation Driven Production Facility Planning*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [SCHENK et al., 2014] SCHENK, MICHAEL, S. WIRTH und E. MÜLLER (2014). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb - Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2. Aufl.
- [SCHOLZ-REITER et al., 2008] SCHOLZ-REITER, BERND, C. DE BEER, M. FREITAG, T. HAMANN, H. REKERSBRINK und J. T. TERVO (2008). *Dynamik logistischer Systeme*. In: NYHUIS, PETER, Hrsg.: *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*, S. 109–138. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [SCHÖNSLEBEN, 2011] SCHÖNSLEBEN, PAUL (2011). *Integriertes Logistikmanagement - Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 6. Aufl.
- [SCHUH et al., 2013] SCHUH, GÜNTHER, N. HERING und A. BRUNNER (2013). *Einführung in das Logistikmanagement*. In: SCHUH, GÜNTHER und V. STICH, Hrsg.: *Logistikmanagement - Handbuch Produktion und Management 6*, Kap. 1, S. 1–33. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2. Aufl.
- [SOMMERVILLE, 2004] SOMMERVILLE, IAN (2004). *Software Engineering*. Pearson Education Limited, Harlow, Essex, England, 7. Aufl.
- [SOMMERVILLE, 2011] SOMMERVILLE, IAN (2011). *Software Engineering*. Pearson Education, 9. Aufl.
- [STABENAU, 1996] STABENAU, HANSPETER (1996). *Zum Wandel des Begriffs Logistik - Sechs Richtige oder ein Reifezeugnis in Logistik*. *Logistik heute: das deutsche Logistikmagazin*, 1/2:18.
- [STABENAU, 2008] STABENAU, HANSPETER (2008). *Zukunft braucht Herkunft! - Entwicklungslinien und Zukunftsperspektiven der Logistik*. In: BAUMGARTEN, HELMUT, Hrsg.: *Das Beste der Logistik*, S. 23–30. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- [STEVEN und KRÜGER, 2004] STEVEN, MARION und R. KRÜGER (2004). *Supply Chain Event Management für globale Logistikprozesse: Charakteristika, konzeptionelle Bestandteile und deren Umsetzung in Informationssysteme*. In: SPENGLER, THOMAS, S. VOSS und H. KOPFER, Hrsg.: *Logistik Management: Prozesse, Systeme, Ausbildung*, S. 179–195. Physica Verlag, Heidelberg.
- [STÖLZLE und REICHE, 2012] STÖLZLE, WOLFGANG und F. REICHE (2012). *Supply Chain Event Management*. In: KLAUS, PETER, W. KRIEGER und M. KRUPP, Hrsg.: *Gabler Lexikon Logistik*, S. 550–554. Gabler Verlag | Springer Fachmedien, Wiesbaden, 5. Aufl.
- [STRAUBE, 2004] STRAUBE, FRANK (2004). *e-Logistik - Ganzheitliches Logistikmanagement*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [STRAUBE et al., 2008] STRAUBE, FRANK, S. A. DOCH und K. KLAAR (2008). *IT based Logistics Planning - Einführung: Informationssysteme in der Logistik*. Online. [http://www.logistik.tu-berlin.de/fileadmin/fg2/Lehre/skripte/WS0809/ITBLP/01\\_ITBLP\\_WS0809\\_Informationssysteme\\_in\\_der\\_Logistik.pdf](http://www.logistik.tu-berlin.de/fileadmin/fg2/Lehre/skripte/WS0809/ITBLP/01_ITBLP_WS0809_Informationssysteme_in_der_Logistik.pdf), Online: 13.11.2013.
- [TEUTEBERG, 2007] TEUTEBERG, FRANK (2007). *Diffusion und Anwendung von Technologien des Ubiquitous Computing zur Selbststeuerung im Supply Chain Event Management*. In: IJIOUI, RASCHID, H. EMMERICH und M. CEYP, Hrsg.: *Supply Chain Event Management - Konzepte, Prozesse, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele*, S. 15–35. Physica Verlag, Berlin Heidelberg.
- [TOLUJEW und REGGELIN, 2006] TOLUJEW, JURI und T. REGGELIN (2006). *Simulation und Interpretation von Datenströmen in RFID-gestützten Materialflusssystemen*. In: *Simulation in Produktion und Logistik 2006*, Bd. 12, S. 361–370, Erlangen. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, SCS Publ. House.
- [TOLUJEW et al., 2007] TOLUJEW, JURI, T. REGGELIN und C. SERMPETZOGLOU (2007). *Simulation und Interpretation von Datenströmen in logistischen Echtzeitsystemen*. In: ENGELHARDT-NOWITZKI, CORINNA, Hrsg.: *Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation: State-of-the-Art und innovative Konzepte*, Leobener Logistik cases, S. 215–230. Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden.
- [TURNER et al., 2014] TURNER, VERNON, D. REINSEL, J. F. GANTZ und S. MINTON (2014). *White Paper: The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things*. International Data Corporation (IDC), Framingham, USA. <http://idcdocserv.com/1678>, Online: 12.12.2014.
- [ULRICH und KRIEG, 1973] ULRICH, HANS und W. KRIEG (1973). *Das Sankt Galler Management-Modell*. Paul Haupt, Bern.
- [VDI3633, 2000] VDI3633 (2000). *Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Grundlagen*. Technischer Bericht VDI 3633 Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure (VDI).

- [VDI4490, 2007] VDI4490 (2007). *Operative Logistikkennzahlen von Wareneingang bis Versand*. Technischer Bericht VDI 4490, Verein Deutscher Ingenieure (VDI).
- [VDI4493, 2013] VDI4493 (2013). *Leitstand für die Intralogistik*. Technischer Bericht VDI 4493 Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure (VDI).
- [VDI5600, 2007] VDI5600 (2007). *Fertigungsmanagementsysteme - Manufacturing Execution Systems (MES)*. Technischer Bericht VDI 5600 Blatt 1, Verein Deutscher Ingenieure (VDI).
- [VIEWEG et al., 2012] VIEWEG, IRIS, C. WERNER, K.-P. WAGNER, T. HÜTTL und D. BACKIN (2012). *Einführung Wirtschaftsinformatik - IT-Grundwissen für Studium und Praxis*. Gabler Verlag | Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- [VITASEK, 2010] VITASEK, KATE (2010). *Supply Chain Management - Terms and Glossary*. Council of Supply Chain Management Professionals. <http://cscmp.org/digital/glossary/document.pdf>, Online: 24.07.2012.
- [WEBER, 2012] WEBER, RAINER (2012). *Technologie von Unternehmenssoftware*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [WIENDAHL, 2011] WIENDAHL, HANS-HERMANN (2011). *Auftragsmanagement der industriellen Produktion - Grundlagen, Konfiguration, Einführung*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [WIESER und LAUTERBACH, 2001] WIESER, OSWALD und B. LAUTERBACH (2001). *Supply Chain Event Management mit mySAP SCM (Supply Chain Management)*. In: MEINHARDT, STEFAN, Hrsg.: *Fertigungsmanagement in der Supply Chain*, Nr. 219 in *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*. dpunkt-Verl.
- [WILDEMANN, 2008] WILDEMANN, HORST (2008). *Entwicklungslinien der Logistik*. In: NYHUIS, PETER, Hrsg.: *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*, Kap. 2, S. 19–41. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [WINDT, 2006] WINDT, KATJA (2006). *Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik*. In: VEC, MILOŠ, A. M. FREUND und M.-T. HÜTT, Hrsg.: *Selbstorganisation - Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft*, S. 271–316. Böhlau Verlag, Köln.
- [WINDT et al., 2011] WINDT, KATJA, M. KNOLLMANN und M. MEYER (2011). *Anwendung von Data Mining Methoden zur Wissensgenerierung in der Logistik - Kritische Reflexion der Analysefähigkeit zur Termintreueverbesserung*. In: SPATH, DIETER, Hrsg.: *Wissensarbeit - zwischen strengen Prozessen und kreativem Spielraum*, Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e. V. (HAB), S. 223–249. GITO, Berlin.
- [WRIGGERS, 2008] WRIGGERS, FELIX (2008). *Produktionscontrolling*. In: ARNOLD, DIETER, H. ISERMANN, A. KUHN, H. TEMPELMEIER und K. FURMANS, Hrsg.: *Handbuch Logistik*, Kap. B 3.5, S. 361–370. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Aufl.

- 
- [YUFEI und DETLOR, 2005] YUFEI, YUAN und B. DETLOR (2005). *Intelligent mobile crisis response systems*. Communications of the ACM, 48(2):95–98.
- [ZIEMS, 2004] ZIEMS, DIETRICH (2004). *Skript zur Vorlesung Technische Logistik*. Institut für Logistik und Materialflusstechnik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- [ZSIFKOVITS, 2013] ZSIFKOVITS, HELMUT E. (2013). *Logistik*. UVK Verlagsgesellschaft mbH, Konstanz, München.



# Anhang A

## Anhang zu Kapitel 7.1

### A.1 Herleitung der idealen Wertebereiche der Attribute der verschachtelten Objektmengen

Im Folgenden werden die Attributs- und Zustandsfunktionen der verschachtelten Objektmengen definiert. Für die Objektmenge Flugzeug wurden drei Attribute ermittelt, Ort  $A_{FLZ}^{Ort}$ , Status  $A_{FLZ}^{Status}$  und Inhalt  $A_{FLZ}^{Inhalt}$ , vgl. Abbildung 7.11. Ein Flugzeug kann sich nur auf einem Standplatz oder außerhalb des Systems aufhalten. Der Status der Flugzeuge wird aus deren Prozessschritten abgeleitet. Mit dem Attribut Inhalt wird beschrieben, welche ULD-Container im Flugzeug sind, also kann dieser Eintrag Wiederholungen haben. Die Anzahl der Wiederholungen entspricht der maximalen Anzahl an Stellplätzen für ULD-Container im Flugzeug. Damit ergibt sich folgende Darstellung für die Zustandsfunktion und die idealen Wertebereiche der Attributsfunktionen:

$$\begin{aligned} z_{FLZ} : ID_{FLZ} \times T &\longrightarrow W_{FLZ}^{Ort,ideal} \times W_{FLZ}^{Status,ideal} \times W_{FLZ}^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto (A_{FLZ}^{Ort}(ID, t), A_{FLZ}^{Status}(ID, t), A_{FLZ}^{Inhalt}(ID, t)), \end{aligned} \quad (A.1)$$

$$W_{FLZ}^{Ort,ideal} = ID_{St} \cup \{0\}, \quad (A.2)$$

$$W_{FLZ}^{Status,ideal} = \{Ankunft, Entladung, Beladung, Abflug\}, \quad (A.3)$$

$$W_{FLZ}^{Inhalt,ideal} = \underbrace{(ID_{ULD} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{ULD} \cup \{0\})}_{n \text{ mal}}, \quad (A.4)$$

wobei mit  $n \in \mathbb{N}$  die maximale Anzahl der Plätze für ULD-Container gemeint ist. Alle Wertebereiche haben einen nominalen Skalentyp mit Äquivalenzrelation „=“.

Für die Objektmenge Dolly wurden drei Attribute identifiziert, Tug bzw. Ort  $A_{Dolly}^{Tug/Ort}$ , Status  $A_{Dolly}^{Status}$  und Inhalt  $A_{Dolly}^{Inhalt}$ . Wenn der Anhänger an einem Schlepper angekoppelt ist, beschreibt das Attribut Tug/Ort, welcher Schlepper den Anhänger zieht. Ansonsten wird der eigentliche Ort eingetragen, der in diesem

Fall nur der Pool sein kann. Der Status wird durch die Prozessschritte beschrieben und der Inhalt sind die ULD-Container. Da die Dolly nur einen Container laden können, gibt es für diesen Eintrag keine Wiederholungen. Die Skalentypen sind bei allen idealen Wertebereichen nominal. Daraus ergibt sich für die Zustandsfunktion und idealen Wertebereiche der Attribute:

$$\begin{aligned} z_{Dolly} : ID_{Dolly} \times T &\longrightarrow W_{Dolly}^{Tug/Ort,ideal} \times W_{Dolly}^{Status,ideal} \times W_{Dolly}^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto (A_{Dolly}^{Tug/Ort}(ID, t), A_{Dolly}^{Status}(ID, t), A_{Dolly}^{Inhalt}(ID, t)), \end{aligned} \quad (A.5)$$

$$W_{Dolly}^{Tug/Ort,ideal} = ID_{Tug} \cup ID_P, \quad (A.6)$$

$$W_{Dolly}^{Status,ideal} = \{Ankoppeln, Fahren, Beladen, Entladen, Entkoppeln\}, \quad (A.7)$$

$$W_{Dolly}^{Inhalt,ideal} = ID_{ULD} \cup \{0\}. \quad (A.8)$$

Den Schleppern wurden fünf Attribute zur Beschreibung des Zustands zugeordnet, Ort  $A_{Tug}^{Ort}$ , Status  $A_{Tug}^{Status}$ , Anhänger  $A_{Tug}^{Dolly}$ , Abnutzung  $A_{Tug}^{Abnutz}$  und Tankfüllung  $A_{Tug}^{Tank}$ . Der Schlepper kann sich an allen stationären Objekttypen aufhalten. Der Status der Schlepper wird über die Prozessschritte beschrieben. Der Schlepper kann maximal vier Dollys anhängen. Die Abnutzung wird als Koeffizient zwischen den Werten 0 und 1 und die Tankfüllung mit einem Wert zwischen 0 (leer) und 100 (voll) abgebildet. Demzufolge sind die ersten drei Wertebereiche nominal und die Wertebereiche der Qualitätsmerkmale metrisch. Das Attribut Inhalt wiederholt sich vier mal. Daraus ergibt sich für die Zustandsfunktion und idealen Wertebereiche der Attributsfunktionen:

$$\begin{aligned} z_{Tug} : ID_{Tug} \times T &\longrightarrow W_{Tug}^{Ort,ideal} \times W_{Tug}^{Status,ideal} \times W_{Tug}^{Dolly,ideal} \times W_{Tug}^{Abnutz,ideal} \times W_{Tug}^{Tank,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto (A_{Tug}^{Ort}(ID, t), A_{Tug}^{Status}(ID, t), A_{Tug}^{Dolly}(ID, t), A_{Tug}^{Abnutz}(ID, t), A_{Tug}^{Tank}(ID, t)), \end{aligned} \quad (A.9)$$

$$W_{Tug}^{Ort,ideal} = ID_{St} \cup ID_{TW} \cup ID_W \cup ID_G \cup ID_P \cup ID_{GS}, \quad (A.10)$$

$$W_{Tug}^{Status,ideal} = \{Ankoppeln, Fahren, Beladen, Entladen, Entkoppeln\}, \quad (A.11)$$

$$W_{Tug}^{Inhalt,ideal} = (ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times (ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times (ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times (ID_{Dolly} \cup \{0\}), \quad (A.12)$$

$$W_{Tug}^{Abnutz,ideal} = [0, 1], \quad (A.13)$$

$$W_{Tug}^{Tank,ideal} = [0, 100]. \quad (A.14)$$

Für die stationären Objektmengen Transportweg  $ID_{TW}$ , Lager  $ID_W$ , Stand  $ID_{St}$ , Pool  $ID_P$ , Werkstatt  $ID_G$  und Tankstelle  $ID_{GS}$  wurde jeweils nur ein Attribut identifiziert, das Attribut Inhalt. Dieses beschreibt die Objekte, die sich in bzw. an dem stationären Objekt befinden können. Demzufolge ist für die stationären Objektmengen die Zustandsfunktion gleich der Attributsfunktion Inhalt. Die Zustandsfunktion mit

Wertebereich für den Transportweg ist:

$$\begin{aligned} z_{TW} : ID_{TW} \times T &\longrightarrow W_{TW}^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto A_{TW}^{Inhalt}(ID, t), \end{aligned} \quad (A.15)$$

$$W_{TW}^{Inhalt,ideal} = (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}). \quad (A.16)$$

Für das Lager ergibt sich:

$$\begin{aligned} z_W : ID_W \times T &\longrightarrow W_W^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto A_W^{Inhalt}(ID, t), \end{aligned} \quad (A.17)$$

$$W_W^{Inhalt,ideal} = \underbrace{(ID_{ULD} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{ULD} \cup \{0\})}_{250 \text{ mal}}. \quad (A.18)$$

Für die Objektmenge Stand ergibt sich:

$$\begin{aligned} z_{St} : ID_{St} \times T &\longrightarrow W_{St}^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto A_{St}^{Inhalt}(ID, t), \end{aligned} \quad (A.19)$$

$$W_{St}^{Inhalt,ideal} = (ID_{FLZ} \cup \{0\}) \times \underbrace{(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Tug} \cup \{0\})}_{10 \text{ mal}}. \quad (A.20)$$

Für die Werkstatt gilt:

$$\begin{aligned} z_G : ID_G \times T &\longrightarrow W_G^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto A_G^{Inhalt}(ID, t), \end{aligned} \quad (A.21)$$

$$W_G^{Inhalt,ideal} = (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}). \quad (A.22)$$

Die Zustandsfunktion mit Wertebereich für die Tankstelle hat folgende Form:

$$\begin{aligned} z_{GS} : ID_{GS} \times T &\longrightarrow W_{GS}^{Inhalt,ideal} \\ (ID, t) &\longmapsto A_{GS}^{Inhalt}(ID, t), \end{aligned} \quad (A.23)$$

$$W_{GS}^{Inhalt,ideal} = (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}) \times (ID_{Tug} \cup \{0\}). \quad (A.24)$$

Für den Pool gilt:

$$z_P : ID_P \times T \longrightarrow W_P^{Inhalt,ideal} \quad (A.25)$$

$$(ID, t) \longmapsto A_P^{Inhalt}(ID, t),$$

$$W_P^{Inhalt,ideal} = \underbrace{(ID_{Tug} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Tug} \cup \{0\})}_{10 \text{ mal}} \times \underbrace{(ID_{Dolly} \cup \{0\}) \times \dots \times (ID_{Dolly} \cup \{0\})}_{40 \text{ mal}}. \quad (A.26)$$

## A.2 Ausschnitt aus den Test-Zustandsdaten der ULD-Container

Tabelle A.1: Ausschnitt aus den Test-Zustandsdaten der ULD-Container

Identifikator	Zeitpunkt	Ort	Status	Erschuetterung	Kuehlung
ULD033	12.10.2009 23:47:00	Dolly17	Transport	0	0
ULD033	12.10.2009 23:47:00	Dolly17	Transport	0	1
ULD041	12.10.2009 23:47:03	W	Lagerung	0	0
ULD035	12.10.2009 23:47:33	Dolly18	Transport	0	0
ULD049	12.10.2009 23:48:00	Dolly25	Transport	0	0
ULD037	12.10.2009 23:48:03	Dolly19	Transport	0	0
ULD039	12.10.2009 23:48:33	Dolly20	Transport	0	0
ULD051	12.10.2009 23:49:00	Dolly26	Transport	0	0
ULD041	12.10.2009 23:49:03	Dolly21	Transport	0	0
ULD043	12.10.2009 23:49:33	W	Lagerung	0	0
ULD053	12.10.2009 23:50:00	Dolly27	Transport	0	0
ULD045	12.10.2009 23:50:03	W	Lagerung	0	0
ULD047	12.10.2009 23:50:33	W	Lagerung	0	0
ULD055	12.10.2009 23:51:00	Dolly28	Transport	0	0
ULD049	12.10.2009 23:51:03	W	Lagerung	0	0
ULD043	12.10.2009 23:51:33	Dolly22	Transport	0	0
ULD057	12.10.2009 23:52:00	Dolly29	Transport	0	0
ULD051	12.10.2009 23:52:00	Dolly26	Transport	1	0
ULD053	12.10.2009 23:52:00	Dolly27	Transport	1	0
ULD055	12.10.2009 23:52:00	Dolly28	Transport	1	0
ULD057	12.10.2009 23:52:00	Dolly29	Transport	1	0

### A.3 Abweichungen in der Sollvorgabe II - ULD-Container

Die zweite Soll-Vorgabe für die ULD-Container beschreibt die pünktliche Bereitstellung der richtigen Container im richtigen Flugzeug, vgl. Abbildung 7.8. Bei einem Soll-Ist-Vergleich werden zu dem geplanten Bereitstellungszeitpunkt der Ist-Zustand des jeweiligen ULD-Containers mit dem Soll-Zustand verglichen. Wenn ein Attributwert im Zustandsvektor nicht mit dem Soll-Zustandsvektor übereinstimmt, tritt eine Abweichung auf. Demzufolge muss geprüft werden, welche Abweichungen in den Attributen Ort, Status, Temperatur und Erschütterung möglich sind. Die Attribute Temperatur und Erschütterung wurden schon betrachtet und brauchen deswegen hier nicht mehr weiter analysiert werden. Das Attribut Status ist vom Attribut Ort abhängig, vgl. Tabelle 7.4. Demzufolge tritt eine Abweichung von der Soll-Vorgabe II auf, wenn der Wert des Attributs Ort nicht dem geplanten Flugzeug entspricht. In diesem Fall kann der ULD-Container sich entweder auf einem Dolly befinden, im Lager oder in einem falschen Flugzeug.

Die Abweichung ist eine alarmierende Abweichung mit Handlungszwang. Mögliche Maßnahmen hängen davon ab, wo sich der ULD-Container befindet. Der Ort der ULD-Container sollte somit bei der Definition von Handlungsempfehlungen berücksichtigt werden. Außerdem ist die Abweichung ein nicht-gemeldetes Ereignis, da der Meilenstein „pünktliche Bereitstellung“ nicht erreicht wurde. Eine Abweichungsrichtung kann für das Attribut Ort nicht definiert werden. Zur Abschätzung, ob der ULD-Container den Soll-Zustand noch erreicht und ob Probleme in der Reihenfolge der Prozessschritte aufgetreten sind, kann ein Soll-Ist-Vergleich für Sequenzen durchgeführt werden. Es empfiehlt sich dazu das Attribut Status hinzuzuziehen. Aus den Prozessschritten, siehe Abbildung 7.4, lässt sich folgende Soll-Sequenz ableiten: Transport, Lagerung, Transport, Transport. Diese kann mit den Ist-Sequenzen verglichen werden und je nach Abweichungen können daraus Informationen über das Verhalten des Containers abgeleitet werden. Hat z. B. der ULD-Container bis zum geplanten Bereitstellungszeitpunkt die ersten drei Prozessschritte erfolgreich durchlaufen, kann gefolgert werden, dass der Container auf dem Weg zum Flugzeug ist und bald verladen werden kann. Die Abweichungen in den Sequenzen müssen analog den Abweichungen zu den Sollvorgaben aufbereitet und analysiert werden.

Mögliche Ursachen für eine nicht pünktliche Bereitstellung der ULD-Container sind vielfältig. In Abbildung A.1 sind mögliche Ursachen als Ursache-Wirkungs-Diagramm dargestellt. Eine Ursache aus der Kategorie Maschine ist z. B., dass keine Schlepper und Anhänger zum Transport und Umschlag der ULD-Container bereit standen. Eine weitere kann sein, dass Schlepper tanken oder zur Wartung mussten. Die Ursachen der Kategorie Mitwelt sind häufig externe Störungen. Für diese Sollvorgabe beinhaltet die Kategorie aber auch interne Ursachen. Wenn bei anderen ULD-Containern Qualitätsmängel auftreten, können diese zu Verzögerungen im Prozessablauf führen und andere behindern. Die Abweichungen der zweiten Sollvorgabe sind somit analysiert und in Tabelle A.2 in Form einer Analysematrix aufbereitet.

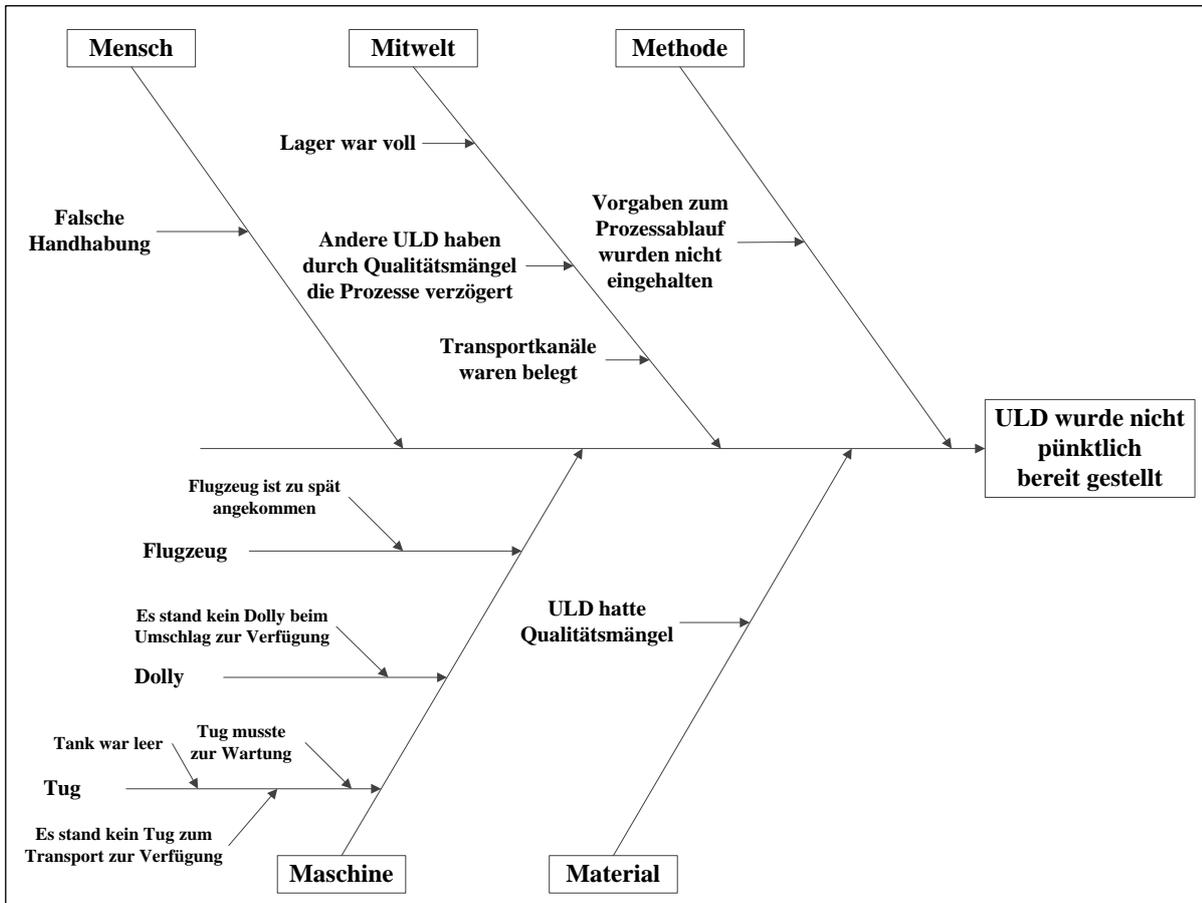


Abbildung A.1: Ursache-Wirkungs-Diagramm für eine nicht pünktliche Bereitstellung eines ULD-Containers

Tabelle A.2: Analysetabelle zu Abweichungen von der Soll-Vorgabe II

<b>Abweichungen von der Soll-Vorgabe II - ULD-Container</b>	
<b>Inhalt</b>	Pünktliche Bereitstellung der ULD-Container
<b>Abweichung</b>	ULD-Container befindet sich am falschen Ort
<b>Eingabe</b>	Ist-Zustandsdaten der ULD-Container
<b>Methode</b>	Soll-ist-Vergleich
<b>Ausgabe</b>	Auftreten einer Abweichung im Attribut Ort zwischen dem Ist-Zustand und dem Soll-Zustand
<b>Wirkung</b>	Ereignis mit Handlungszwang
<b>Eintreffen</b>	Nicht-gemeldetes Ereignis
<b>Abweichungsrichtung</b>	-
<b>Ursachen</b>	Internes und externes Ereignis

## A.4 Abhängigkeitsanalyse in den Zustandsdaten des Frachtflughafens

Tabelle A.3: Large itemsets der Zustandsdaten der ULD-Container

<b>Large itemsets mit Support &gt; 0,5</b>			
<b>Item 1</b>	<b>Item 2</b>	<b>Item 3</b>	<b>Support</b>
Kühlung 0			0,960
Erschütterung 0			0,841
Status Transport			0,775
Kühlung 0	Erschütterung 0		0,805
Kühlung 0	Status Transport		0,743
Erschütterung 0	Status Transport		0,636
Kühlung 0	Erschütterung 0	Status Transport	0,608

Tabelle A.4: Assoziationsregeln auf den large itemsets der Zustandsdaten der ULD-Container

<b>Assoziationsregeln mit Support und Konfidenz &gt; 0,5 in den large itemsets</b>				
<b>Nr.</b>	<b>Prämisse</b>	<b>Konklusion</b>	<b>Support</b>	<b>Konfidenz</b>
1	Erschütterung 0	Kühlung 0	0,805	0,956
2	Kühlung 0	Erschütterung 0	0,805	0,838
3	Status Transport	Kühlung 0	0,743	0,959
4	Kühlung 0	Status Transport	0,743	0,774
5	Status Transport	Erschütterung 0	0,636	0,821
6	Erschütterung 0	Status Transport	0,636	0,756
7	Erschütterung 0, Status Transport	Kühlung_0	0,608	0,955
8	Kühlung 0, Status Transport	Erschütterung 0	0,608	0,818
9	Status Transport	Kühlung 0, Erschütterung 0	0,608	0,784
10	Kühlung 0, Erschütterung 0	Status Transport	0,608	0,755
11	Erschütterung 0	Kühlung 0, Status Transport	0,608	0,722
12	Kühlung 0	Erschütterung 0, Status Transport	0,608	0,633

Tabelle A.5: Large itemsets und Assoziationsregeln der Zustandsdaten der ULD-Container mit einer Erschütterung oder defekten Kühlung

Large itemsets mit Support > 0,5				Assoziationsregeln mit Support und Konfidenz > 0,5 in den large itemsets				
Item 1	Item 2	Item 3	Support	No	Prämisse	Konklusion	Support	Konfidenz
Status Transport			0,855	1	Erschütterung 1	Kühlung_0	0,718	0,977
Kühlung 0			0,795	2	Kühlung 0	Erschütterung 1	0,718	0,903
Erschütterung 1			0,735	3	Kühlung 0	Status Transport	0,692	0,871
Kühlung 0	Erschütterung 1		0,718	4	Status Transport	Kühlung 0	0,692	0,810
Status Transport	Kühlung 0		0,692	5	Erschütterung 1	Status Transport	0,632	0,860
Status Transport	Erschütterung 1		0,632	6	Status Transport	Erschütterung 1	0,632	0,740
Status Transport	Kühlung 0	Erschütterung 1	0,615	7	Status Transport, Erschütterung 1	Kühlung 0	0,615	0,973
				8	Status Transport, Kühlung 0	Erschütterung 1	0,615	0,889
				9	Kühlung 0, Erschütterung 1	Status Transport	0,615	0,857
				10	Erschütterung 1	Status Transport, Kühlung 0	0,615	0,837
				11	Kühlung 0	Status Transport, Erschütterung 1	0,615	0,774
				12	Status Transport	Kühlung 0, Erschütterung 1	0,615	0,720



## Abstrakt

Die Integration der digitalen in die reale Welt hat Einzug in Logistik- und Produktionssysteme gefunden und wird als Industrie 4.0 bezeichnet. Das jährliche, weltweite Datenvolumen wird sich in den nächsten Jahren auf das Zehnfache erhöhen und nur beherrschbar sein, wenn Informationssysteme dieses zielführend verarbeiten können. Eine Vielzahl der physischen Objekte eines logistischen Systems ist schon heute mit Technologien ausgestattet, welche die aktuellen Zustände der Objekte permanent aufzeichnen. Damit die Informationspotentiale der Zustandsdaten zur operativen Überwachung und Steuerung der Logistikprozesse vollständig ausgeschöpft werden können, müssen interdisziplinäre Modellierungs- und Analysekonzepte entwickelt werden.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein ganzheitliches Konzept zur Modellierung und Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte. In der ersten Phase des Konzepts wird eine systematische Vorgehensweise zur Entwicklung des konzeptionellen Modells des realen logistischen Systems sowie zur Ableitung der Struktur der Zustandsdaten entwickelt. Es werden Vorgaben zur Transformation der Rohdaten des realen Systems in die Struktur der Zustandsdaten abgeleitet. Die zweite Phase beinhaltet die Ermittlung und Spezifikation der Anforderungen des operativen Logistikmanagements an die Analyse der Zustandsdaten. In der letzten Phase werden verschiedene mehrdimensionale Analyseverfahren auf den Zustandsdaten angewendet, um zu prüfen, ob deren Ergebnisse neue Informationen über das Verhalten der logistischen Objekte liefern.

Das entwickelte Konzept trägt damit in hohem Maße zur ganzheitlichen und integrativen Analyse von Zustandsdaten logistischer Objekte für die operative Überwachung und Steuerung logistischer Prozesse bei.

[www.ilm.ovgu.de](http://www.ilm.ovgu.de)

Institut für Logistik und Materialflusstechnik  
Fakultät für Maschinenbau  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

39106 Magdeburg  
Universitätsplatz 2  
Gruson Gebäude (Geb. 10)

Telefon: 0391 - 67 58604  
Telefax: 0391 - 67 12646  
ilm@ovgu.de

ISBN: 978-3-944722-28-3