



Department für Informatik an der Fakultät II - Informatik,
Wirtschafts- und Rechtswissenschaften

Ein Konzept zur Identifikation von Unterstützungspotenzial für Simulationsstudien bei Verwendung multidimensionaler Datenmodelle

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Naturwissenschaften

Vorgelegt von: **Monika Walter, Master of Science**

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn

Prof. Dr.-Ing. habil. Jorge Marx Gómez

Datum der Disputation: 19.06.2015

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis meiner externen Promotion an der Universität Oldenburg, die sich über einen Zeitraum von vier Jahren erstreckte. Als erstes danke ich Prof. Dr. Axel Hahn für die Bereitschaft, die Herausforderung meiner externen Promotion anzunehmen und für die geduldige langjährige Betreuung. Stets hat er einen Weg gefunden, mich auch über die räumliche Distanz hinweg zu unterstützen und mit Anregungen und Hinweisen maßgeblich zum Erfolg beigetragen. Herr Prof. Dr. Jorge Marx Gómez danke ich für die Übernahme der Begutachtung und die zahlreichen Hinweise und Anregungen während meiner Promotion. Herrn Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff und Herrn Dr. Mathias Uslar danke ich für die Teilnahme an meiner Prüfungskommission.

Während meiner Zeit an der Universität habe ich in zahlreichen Treffen der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Axel Hahn teilnehmen dürfen. Ich danke allen Mitgliedern der Arbeitsgruppe für die vielen konstruktiven Hinweise und die hilfreichen Diskussionen. In der finalen Phase der Entstehung dieser Arbeit haben Freunde mit großer Ausdauer diese umfangreiche Arbeit gelesen und mit ihrem Lektorat die Qualität der Arbeit verbessert, vielen Dank dafür.

Die erfolgreiche Umsetzung einer externen Promotion ist ohne die Unterstützung im privaten familiären Umfeld nicht möglich. Ich danke meinen Eltern und meinen Schwestern für die vielen Ermutigungen, das große Verständnis und die vielen kleinen Anlässe, in denen sie mich unterstützt und in meinem Vorhaben bestärkt haben. Ein ganz besonderer Dank gilt meiner langjährigen Freundin Kathrin Schäfer. Über 30 Jahre Freundschaft geben so viel Anlass für Höhen und Tiefen, in denen wir uns gegenseitig unterstützt und begleitet haben. In den letzten vier Jahren hat sie mich immer wieder auf den Weg geschickt, zum Durchhalten ermutigt und mich ermahnt, meine Zeit dieser Arbeit zu widmen.

Ohne die Unterstützung von Carmen Melcher hätte ich mein Promotionsziel niemals erreicht. Ihr danke ich für die vielen Stunden des geduldigen Zuhörens, des intensiven Diskutierens und wiederholten Lesens. Während der gesamten Zeit der Entstehung dieser Arbeit stand sie mir mit Motivation, hilfreichen Ideen und konstruktiven Vorschlägen zur Seite. Mit unermesslicher Geduld hat sie mich begleitet und so manches Mal das Licht am Ende des Tunnels für mich gesehen.

Paderborn im Juni 2015

Monika Walter

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Ansätzen zur Unterstützung von datengetriebenen Prozessschritten in Simulationsstudien der diskreten Event-Simulation. Die betroffenen Prozessschritte sind die Datenbeschaffung, -aufbereitung, Modellinitialisierung sowie Sensitivitätsanalyse. Für diese stellen sich die unter den Oberbegriffen des Mengen-, Aufwands- und Zeitproblems zusammenfassbaren Optimierungsaspekte dar. Die drei Problemfelder greifen ineinander. Ausgehend vom Mengenproblem, d. h. einer zu geringen bzw. zu hohen Menge an Inputdaten, deren mangelnder Datenvarianz bzw. schlechter Qualität entstehen durch die Versuche, diese Mängel zu beheben sowohl ein Aufwands- als auch ein Zeitproblem. Die Verwendung von Zufallsvariablen sowie von Daten aus anderen Erhebungskontexten führt dazu, dass die Anzahl und Dauer der durchzuführenden Simulationsexperimente steigen und somit ein hoher Zeitaufwand für deren Durchführung und Validierung entsteht. Der Lösungsansatz besteht darin, vorrangig das Mengenproblem dadurch zu minimieren, indem die in Data-Warehouse-Systemen vorhandenen Konzepte der multidimensionalen Datenmodelle für die Simulationsstudien zugänglich gemacht werden. Die Minimierung des Mengenproblems führt dazu, dass auch die resultierende Problemkette verringert wird.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Entwicklung eines Konzeptes, welches die Möglichkeit bietet, Unterstützungspotenzial für datengetriebene Prozessschritte in Simulationsstudien zu identifizieren. Durch die systematisierte Betrachtung der Simulationsfragestellung unter Verwendung der Konzeptkomponenten erfolgt eine Analyse der konkreten Simulationsstudie. Es wird geprüft, ob die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle für die datengetriebenen Prozessschritte Verbesserungspotenzial bietet. Ziel der Nutzung des Konzeptes ist es damit, durch die systematische Analyse sowohl Nutzen- als auch Handlungsempfehlungen zu erhalten, welche die beschriebenen Probleme reduzieren.

Das erstellte Konzept beinhaltet drei Komponenten. In einem Ordnungskatalog werden auf Basis systematisierter Attribute relevante Elemente zusammengefasst und bilden in ihrer Gesamtheit die Aspekte der zu untersuchenden Simulationsfragestellung ab. In einem Fragenkatalog wird die Möglichkeit zur Entscheidungsfindung und Konfiguration innerhalb der Elemente ermöglicht. Basierend auf einer Verwendungsanweisung können die beiden Kataloge dazu verwendet werden, Nutzenpotenziale und Rahmenbedingungen zur Nutzung multidimensionaler Datenmodelle in konkreten Fragestellungen systematisch zu identifizieren.

Abstract

This thesis deals with approaches to support data-driven process steps in simulation studies focused on discrete event simulation. The affected process steps are data acquisition, data processing, model initialization and sensitivity analysis. These steps contain quantity, expense and time amount problem aspects with the three problem areas interacting. Aspects of the quantity problem can i.e. be too low or too high amounts of input data, the lack of data variance or poor data quality. The expense problem and the time amount problem originate from the attempts to eliminate these deficits. Two methods to eliminate the quantity problem are the use of random variables or the use of data from other survey contexts. These methods result in the fact that the number and duration of the simulation experiments to be performed increase and thus their duration and their validation. The approach is to minimize the quantity problem by using the existing concept of multi-dimensional data models of data warehouse systems for simulation studies. The result of minimizing the data quantity problem is the reduction of the whole problem chain.

The focus of this thesis is the development of a concept which identifies the potential use of multi-dimensional data models for data-driven process steps in simulation studies. The systematic examination of simulation studies using the concept components results in their specific analysis. It is checked whether the use of multi-dimensional data models for the data driven process steps provides improvement. The aim of using the concept is to get benefits and recommended hints by using the systematic analysis, and to use these hints to reduce the described problem aspects.

The generated concept contains three components. The relevant elements are grouped in the order catalog based on systematic attributes. The elements include the entirety of the data aspects of the simulation problem. The question catalog supports the decision-making and the configuration within the elements.

The tutorial about the usage of both catalogs can be used to systematically identify potential benefits and conditions for the use of multi-dimensional data models for concrete problems.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Abstract.....	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis.....	X
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Problembeschreibung	2
1.2 Untersuchungsgegenstand und thematischer Rahmen	3
1.3 Zielsetzung	4
1.4 Forschungsmethodik.....	6
1.4.1 Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik und ingenieurmäßiges Vorgehen.....	6
1.4.2 Vorgehensweise	7
1.5 Struktur der Arbeit	9
2 Problemstellung und Stand der Forschung.....	11
2.1 Betrachtung der datengetriebenen Prozessschritte.....	11
2.1.1 Die Prozessschritte Datenbeschaffung und -aufbereitung	12
2.1.2 Der Prozessschritt Modellinitialisierung.....	17
2.1.3 Der Prozessschritt Sensitivitätsanalyse	18
2.2 Konkretisierung der Problemstellungen	19
2.3 Stand der Forschung	23
2.3.1 Stand der Forschung zur Simulation	23
2.3.2 Stand der Forschung zum Data Warehousing	25
2.3.3 Einordnung der Forschungsansätze	26
3 Theoretische Aspekte.....	29
3.1 Relevante Aspekte der Wirtschaftsinformatik.....	29
3.1.1 Systeme und Modelle.....	29
3.1.2 Abstraktion und Aggregation	31
3.1.3 Die Aspektorientierte Zerlegungsstrategie.....	35
3.2 Aspekte der ereignisdiskreten Simulation	37
3.2.1 Simulationsklassen, -sichten und Lebenszyklus.....	37
3.2.2 Simulationsmodell und -elemente.....	40
3.3 Aspekte des Data Warehousing	41
3.3.1 Abgrenzung der Begriffe.....	41
3.3.2 Das Data-Warehouse-Konzept.....	43
3.4 Aspekte der Intralogistik.....	48

3.4.1	Simulation in der Intralogistik.....	50
3.4.2	Data Warehousing in der Intralogistik.....	52
3.4.3	Aggregation und Abstraktion in der Intralogistik.....	54
4	Handlungsbedarf und Lösungsansatz	55
4.1	Handlungsbedarf.....	55
4.2	Handlungspotenzial und Lösungsansatz	61
4.3	Definition der Anforderungen an das Konzept.....	64
4.3.1	Allgemeine Anforderungen	65
4.3.2	Anforderungen an den Ordnungskatalog.....	66
4.3.3	Anforderungen an den Fragenkatalog.....	66
4.3.4	Anforderungen an die Verwendungsanweisung	68
5	Entwurf der Konzeptkomponenten	69
5.1	Das Konzept im Überblick	69
5.1.1	Vorgehensmethode zur Erstellung der Komponenten	71
5.1.2	Vorgehensweise zur Nutzung des Konzeptes	72
5.1.3	Erläuterung des Architekturbegriffes.....	74
5.2	Das syntaktische Metamodell	75
5.3	Entwurf des Ordnungskatalogs	76
5.3.1	Aufbau und Struktur des Ordnungskatalogs.....	77
5.3.2	Wirkungszusammenhänge zwischen den Katalogen.....	82
5.3.3	Das Elementdiagramm.....	84
5.3.4	Syntax der Filterbedingungen.....	85
5.4	Entwurf des Fragenkatalogs	86
5.4.1	Das Fragendiagramm	86
5.5	Entwurf der Verwendungsanweisung	87
5.5.1	Die Bewertungstabelle.....	88
5.6	Initiale Erstellung der Komponenten.....	90
5.6.1	Inhalte des Ordnungskatalogs	92
5.6.2	Typische Attribute	99
5.7	Inhalte aus allen Komponenten.....	100
5.7.1	Anwendungsszenarios	100
5.7.2	Beschreibung ausgewählter Elemente.....	101
5.8	Erweiterung der Komponenten	111
5.9	Beispielhafte Anwendung des Konzeptes und Interpretation der Ergebnisse	113
6	Validierung der Konzeptkomponenten	121
6.1	Praxisvalidierung im Rahmen einer Fallstudie	121
6.1.1	Ziele der Praxisvalidierung.....	122
6.1.2	Durchführung und Ergebnisse der Nutzung im Praxisprojekt	123
6.1.3	Bewertung der Praxisvalidierung.....	128

6.2	Überprüfung gegenüber den definierten Anforderungen	130
6.2.1	Validierung der allgemeinen Anforderungen.....	130
6.2.2	Validierung der Anforderungen an den Ordnungskatalog.....	131
6.2.3	Validierung der Anforderungen an den Fragenkatalog.....	133
6.2.4	Validierung der Anforderungen an die Verwendungsanweisung	134
6.3	Beantwortung der definierten Forschungsfragen	135
7	Zusammenfassung und Ausblick	139
Anhang.....		141
Anhang A: Der Simulationsprozess		141
Anhang B: Konzeptkomponente Ordnungskatalog.....		145
Anhang C: Konzeptkomponente Fragenkatalog		219
Anhang D: Konzeptkomponente Verwendungsanweisung.....		244
Anhang E: Ergebnis der Praxisvalidierung		289
Literaturverzeichnis.....		295
Lebenslauf		305
Veröffentlichungen		307
Eidesstattliche Versicherung.....		309

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Identifizierte Forschungsfragen	5
Tabelle 2: Datenverfügbarkeit differenziert nach Anwendungsszenario	14
Tabelle 3: Gegenüberstellung Top-Down- und Bottom-Up-Analyse.....	31
Tabelle 4: Simulationsklassen und deren Eigenschaften	38
Tabelle 5: Abgrenzung OLTP- und OLAP-Systeme	43
Tabelle 6: Abstrahiertes Elementdiagramm	84
Tabelle 7: Abstrahiertes Fragediagramm	86
Tabelle 8: Beschreibung der Zielgruppen für das Konzept	88
Tabelle 9: Aufbau der Bewertungstabelle	88
Tabelle 10: Bewertungsformulierungen und deren Bedeutung	90
Tabelle 11: Exemplarische Definition der Eigenschaft ABSTRAKTION	99
Tabelle 12: Exemplarische Definition der Eigenschaft AGGREGATION	100
Tabelle 13: Übersicht der beschriebenen Elementsets	102
Tabelle 14: Auszug Fragenkatalog: Frage A.b	102
Tabelle 15: Auszug Ordnungskatalog: Element 1.1-2	103
Tabelle 16: Auszug Bewertungstabelle: Element 1.1-2-E1 und Frage A.b (Teil 1)	103
Tabelle 17: Auszug Bewertungstabelle: Element 1.1-2-E1 und Frage A.b (Teil 2).....	104
Tabelle 18: Auszug Ordnungskatalog: Element 3.2-1	105
Tabelle 19: Auszug Ordnungskatalog: Element 4.2-2	106
Tabelle 20: Auszug Fragenkatalog: Frage A.k	106
Tabelle 21: Auszug Fragenkatalog: Frage A.l.....	107
Tabelle 22: Bewertungstabelle für Abstraktion und Aggregation	108
Tabelle 23: Auszug Fragenkatalog: Frage B.c.....	109
Tabelle 24: Auszug Ordnungskatalog: Element 5.1-5	110
Tabelle 25: Auszug Bewertungstabelle: Element 5.1-5-E1.....	110
Tabelle 26: Ergebnisse der beispielhaften Nutzung	115
Tabelle 27: Bewertungshinweise für das Beispielszenario ASB (I)	118
Tabelle 28: Bewertungshinweise für das Beispielszenario ASB (II)	119
Tabelle 29: Bewertungshinweise für das Beispielszenario ASB (III).....	120
Tabelle 30: Ergebnisse der Praxisnutzung	124
Tabelle 31: Bewertungshinweise für das Praxisprojekt (I)	127
Tabelle 32: Bewertungshinweise für das Praxisprojekt (II)	128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Thematischer Rahmen (eigene Darstellung)	3
Abbildung 2: Forschungsmethodik und Vorgehensweise (eigene Darstellung)	8
Abbildung 3: Struktur der Arbeit (eigene Darstellung)	10
Abbildung 4: Datengetriebene Prozessschritte in Simulationsstudien (eigene Darstellung)	12
Abbildung 5: Arten von Simulationsdaten (vgl. (VDI, 2010)).....	17
Abbildung 6: Problemstellungen und Ursachenaspekte (eigene Darstellung)	23
Abbildung 7: Forschungsfokus der Projekte EDASim und AssistSim (Bogon et al., 2012).....	24
Abbildung 8: Einordnung der Forschungsansätze (eigene Darstellung)	27
Abbildung 9: Abstraktion und Aggregation (eigene Darstellung)	34
Abbildung 10: Multidimensionaler Datenwürfel (Sattler et al., 2012)	47
Abbildung 11: Abstraktion und Aggregation in der Intralogistik (eigene Darstellung)	54
Abbildung 12: Entwickeltes Konzept (eigene Darstellung)	62
Abbildung 13: Abdeckung des Lösungsansatzes (eigene Darstellung)	63
Abbildung 14: Komponenten des Konzeptes (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 15: Phasen zur Erstellung des Ordnungskatalogs (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 16: Ablauf der Nutzung des Konzeptes (eigene Darstellung).....	74
Abbildung 17: Erweiterung des Konzeptes um das syntaktische Metamodell (eigene Darstellung) .	75
Abbildung 18: Hierarchien in Klassifikationssystemen (vgl. (Manecke, 1997))	77
Abbildung 19: Perspektivenmodell mit zugeordneten Aspekten (eigene Darstellung)	81
Abbildung 20: Ebenen und Zusammenhänge der Kataloge (eigene Darstellung).....	83
Abbildung 21: Ausschnitt des Ergebnisses der Zerlegung I (eigene Darstellung)	91
Abbildung 22: Ausschnitt des Ergebnisses der Zerlegung II (eigene Darstellung)	91
Abbildung 23: Simulationsprozess (eigene Darstellung)	141

Abkürzungsverzeichnis

ASB	Anwendungsszenario in der Betriebsphase
ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation, Fachausschuss 4.5 der Gesellschaft für Informatik (GI)
ASP	Anwendungsszenario in der Planungsphase
ASR	Anwendungsszenario in der Realisierungsphase
BDE	Betriebsdatenerfassung
BI	Business Intelligence
CMSD	Core Manufacturing Simulation Data
CSV	Comma-seperated Values
DIN	Deutsche Industrienorm
DWH	Data Warehouse
EN	Europäische Norm
ERP	Enterprise Ressource Planning
ETL	Extraktion, Transformation, Laden - Extract, Transform, Load
FEM	Finite Elemente Methode
FIFO	First In, First Out
GI	Gesellschaft für Informatik
GoM	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung
ID	Identifikationsnummer
HLA	High Level Architecture
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization Internationale Organisation für Normung
IT	Informationstechnologie
KPI	Key-Performance-Indikator - Key Performance Indicator
LIFO	Last In, First Out
LVS	Lagerverwaltungssystem
ODBC	Open Database Connectivity
OLAP	Online Analytical Processing
OLTP	Online Transactional Processing
RFID	Radiofrequenz-Identifikation
SQL	Structured Query Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WI	Wirtschaftsinformatik
XML	Extensible Markup Language

1 Einleitung

Für die Analyse und Lösung einer Vielzahl von planerischen und konzeptionellen Aufgabenstellungen hat sich in Unternehmen die Verwendung von Informationstechnologischen Systemen (IT-Systemen) etabliert. Für die Erstellung von *Simulationsstudien* dienen dazu Simulationssysteme (vgl. (Page, 1991), S. VII). Im Simulationssystem können Prozesse reproduzierbar definiert und analysiert werden, daher stellen vor allem die Unternehmensbereiche der Produktion und Logistik einen Schwerpunkt für den Einsatz der Simulation zur Planungsunterstützung dar (vgl. (VDI, 2010), S. 4).

Durch die Verwendung von *IT-Systemen auf operativer Ebene* erzeugen Unternehmen eine Flut von Daten (vgl. (Bange et al., 2009), S. 6; (Kemper et al., 2006), S. 13). Die konsequente Verwendung dieser Daten zur Analyse bzw. Optimierung der Prozesse und zur Unternehmensplanung als Basis in der Entscheidungsfindung auf strategischer, taktischer und operativer Ebene rückt für die Unternehmen immer stärker in den Fokus (vgl. (Gansor et al., 2010), S. 47 f.). Im Rahmen von Simulationsstudien können etwa Daten zur Abbildung der Systemlast aus diesen operativen Systemen, beispielsweise einem Logistiksystem oder weiteren vorhandenen operativen Datenquellen, übertragen und orientiert an der abzubildenden Fragestellung aufbereitet werden.

Die Verwendung von Methoden und Werkzeugen der *Business Intelligence* (BI) zur Analyse der Unternehmensperformance hat sich als integrativer Gesamtansatz durchgesetzt (vgl. (Bange et al., 2009), S. 23). Betriebswirtschaftliche Analysewerkzeuge wie die Balanced Scorecard sind weitestgehend etabliert. Dies zeigt sich dadurch, dass sich in den strategischen Bereichen das Unternehmenscontrolling entsprechender Kennzahlensysteme zur Bewertung der Key-Performance-Indikatoren (KPIs) bedient (vgl. (Hummeltenberg, 2010), S. 29). Der Nutzen solcher Analysen – vor allem in den vertrieblichen und finanziellen Unternehmensbereichen – ist unbestritten und lässt sich durch verbesserte Unternehmensergebnisse, optimierte Prozesse und steigende Renditen messen. In diesen Analysewerkzeugen finden häufig die in den operativen IT-Systemen erzeugten Daten in aufbereiteter Form als Analytische Daten¹ Verwendung (vgl. (Kemper et al., 2006), S. 14).

Die drei aufgeführten betrieblichen Instrumente (*Simulationsstudien, Daten aus operativen IT-Systemen sowie Methoden und Werkzeuge der BI*) im Rahmen der betrieblichen Entscheidungsunterstützung miteinander zu integrieren, ist eine seit langem diskutierte Fragestellung (vgl. (Zell, 1992), S. 1). Der Fortführung dieser Fragestellung folgt auch die vorlie-

¹ Der Begriff der Analytischen Daten wird in Tabelle 5 detailliert gegen den Begriff der Transaktionalen Daten abgegrenzt.

gende Arbeit mit dem Ansatz, Aspekte der drei Themenbereiche in einem integrierten Konzept zur Optimierung zusammenzufassen.

1.1 Ausgangslage und Problembeschreibung

Diese Arbeit widmet sich der Fragestellung, wie die Datenverfügbarkeit für die datengetriebenen Prozessschritte in Simulationsstudien optimiert werden kann. Innerhalb dieser Prozessschritte, welche die Datenbeschaffung, die Datenaufbereitung sowie die Modellinitialisierung und die Sensitivitätsanalyse betreffen, sind folgende Problemstellungen relevant:

Eine erste Problematik in der Durchführung von Simulationsstudien besteht im Mengenproblem (PI). Beispielsweise sind im Prozessschritt der Datenbeschaffung aufgrund der Vielzahl der möglichen Datenquellen sowohl regelmäßig Probleme bezüglich der Datenkonsistenz als auch der Datengenauigkeit zu beobachten. Häufig liegen die Inputdaten nicht in der benötigten Menge (zu viele oder zu wenige Daten), in der benötigten Qualität und in der benötigten Varianz vor (vgl. (Vincent, 1998), S. 59; (Wenzel et al., 2001), S. 417 f.).

Um die Mengenprobleme zu verringern, kommen in Simulationsstudien häufig Zufallsvariablen zum Einsatz, bzw. es werden Daten aus einem anderen Erhebungskontext verwendet. Dies führt zur zweiten und zur dritten Problematik. Die zweite Problematik ist als Aufwandsproblem zu beschreiben (PII). Die Verwendung von Zufallsvariablen sowie von kontextfremdem Dateninput führen dazu, dass für die Prüfung und Validierung des Modells und die Erlangung von verlässlichen Simulationsergebnissen eine hohe Zahl von Simulationsexperimenten durchzuführen ist. In diesen Experimenten müssen jeweils die Initialisierung des Modells sowie die Konfiguration der Eingangsparameter mit entsprechendem Aufwand geprüft und validiert werden (vgl. (Page, 1991), S. 121 f.).

Die dritte Problematik ist ein Zeitproblem (PIII). Aufgrund fehlender oder unzureichend zur Verfügung stehender Daten (PI) wäre es häufig nötig, explizit Daten für die Durchführung der Simulationsstudie zu erheben. Dies ist jedoch mit hohem Zeitaufwand verbunden und als Alternative wird in den Simulationsstudien häufig mit Zufallsvariablen gearbeitet. Dieses Vorgehen verringert die Ergebnisqualität der Simulationsstudien bzw. steigert ebenfalls die Anzahl der Simulationsexperimentwiederholungen, um aussagefähige Ergebnisse zu erhalten. Gleiches gilt für wahrscheinlichkeitsbasierten Simulationsinput, der die Schwierigkeit zur Konkretisierung der ableitbaren Schlussfolgerungen erhöht.

Eine ausführliche Beschreibung zu den hier aufgeführten Problemstellungen (PI – PIII) erfolgt in Abschnitt 2.2.

1.2 Untersuchungsgegenstand und thematischer Rahmen

Der Untersuchungsgegenstand umfasst die Themenbereiche des *Data Warehousing*, der *Business Intelligence* sowie die *ereignisdiskrete Simulation*. Von ihrem Umfang her handelt es sich daher um eine sehr breit gefasste Thematik. Als inhaltliche Domäne wurden die Fragestellungen der Intralogistik gewählt. Um die betrachteten Themenbereiche zu konkretisieren und einzugrenzen, dient Abbildung 1.

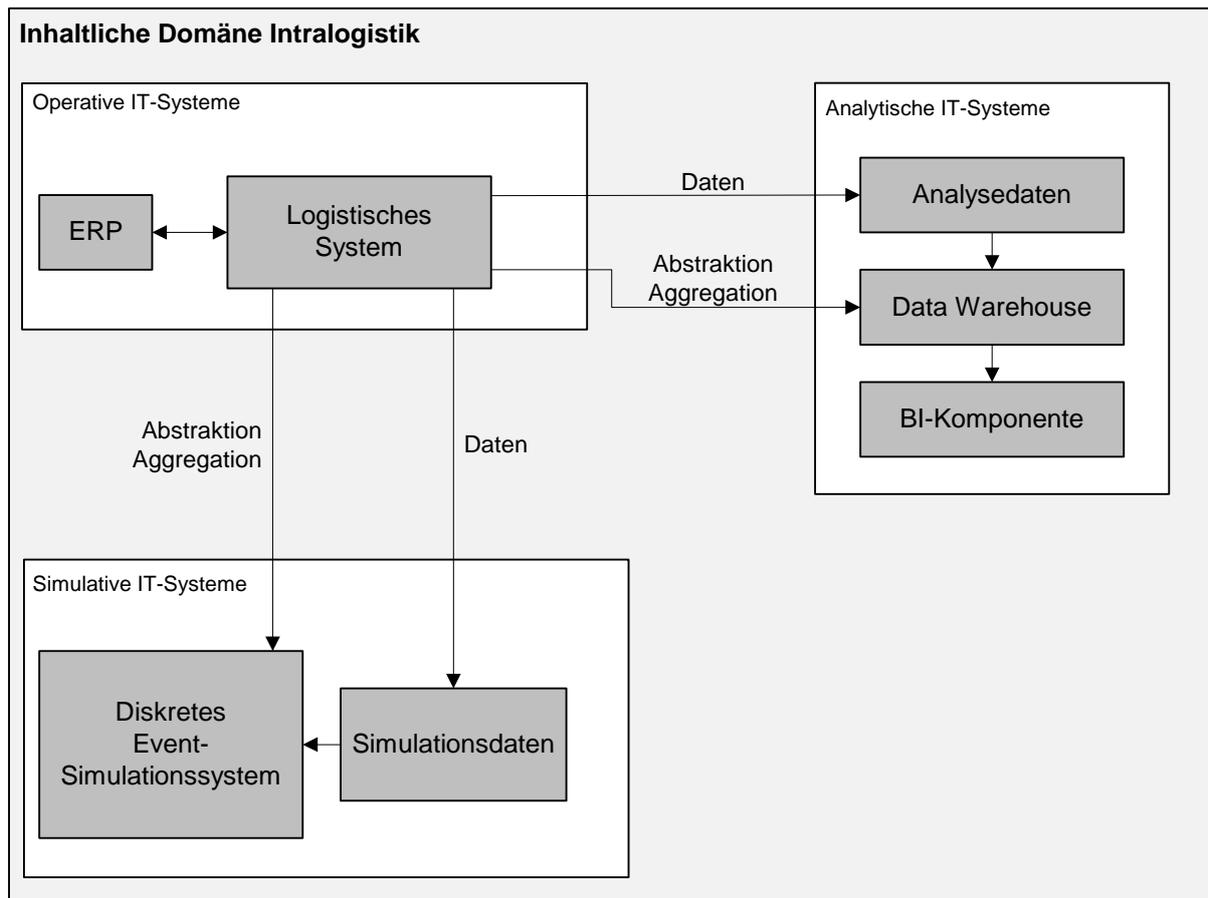


Abbildung 1: Thematischer Rahmen (eigene Darstellung)

Der in Abbildung 1 dargestellte thematische Rahmen begrenzt innerhalb des breiten Feldes der betrieblichen *operativen IT-Systeme* die inhaltliche Domäne der Intralogistik analog zur Richtlinie 3633 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) auf technische Systeme, insbesondere auf Logistiksysteme, welche die intralogistischen Prozesse eines Unternehmens unterstützen (vgl. (VDI, 2010)). Das Logistische System (z. B. ein Lagerverwaltungssystem (LVS)) interagiert über Schnittstellen mit einem Enterprise-Resource-Planning-System (ERP-System) oder ist in dieses integriert. Häufig werden weitere Daten aus angebundenen mobi-

len Systemen und/oder Systemen zur Betriebsdatenerfassung² (BDE-Systeme) ergänzt. Eine Einführung in den Themenbereich der Intralogistik erfolgt in Abschnitt 3.4.

Unter dem Oberbegriff der *Analytischen IT-Systeme* kann der Einsatz von Data-Warehouse-Systemen und damit verbundenen Business-Intelligence-Werkzeugen im intralogistischen Umfeld unter dem Begriff der *Logistics Intelligence* beschrieben werden (vgl. (Walter, 2011)). Dieser Ansatz basiert i. d. R. auf zwei getrennten Systemen, dem logistischen System sowie dem Data-Warehouse-System (DWH). Ausgehend vom operativen System wird nach Übertragung und Abstraktion von Daten in das DWH-System das Ziel verfolgt, die Unternehmensführung in der Entscheidungsfindung durch die Darstellung logistischer Kennzahlen zu unterstützen. Eine Einführung in den Themenbereich der Analytischen IT-Systeme mit dem Fokus auf Data Warehousing erfolgt in Abschnitt 3.3.

Der im thematischen Rahmen als dritter Oberbegriff dargestellte Bereich der *Simulativen IT-Systeme* grenzt innerhalb der Simulationssysteme die Fragestellung auf die ereignisdiskrete Simulation ein. Die Einführung in den Themenbereich der Simulation erfolgt in Abschnitt 3.2.

Die Abbildung 1 dient in diesem Abschnitt wie bereits ausgeführt der Beschreibung und Eingrenzung des thematischen Rahmens. In Abschnitt 4.2 wird die Abbildung um das entwickelte Konzept erweitert und verdeutlicht somit dessen Einordnung im thematischen Rahmen sowie dessen Wirkungsansatz. Die erweiterte Darstellung ist in Abbildung 12 zu finden.

1.3 Zielsetzung

Diese Arbeit hat als Forschungsziel die Unterstützung der datengetriebenen Prozessschritte in Simulationsstudien. Der Handlungsbedarf ergibt sich aus der Erfahrung, dass die Beschaffung von Daten für Simulationsstudien bis zum heutigen Tage eine der Kernherausforderungen für die erfolgreiche Durchführung der Studien ist (vgl. (Rabe et al., 2008), S. 45; (Košturiak und Gregor, 1995), S. 110). Diese Aufgabenstellung detaillierter zu betrachten und im konkreten Forschungsansatz die Verwendung von im Unternehmen vorhandenen Daten aus Data-Warehouse-Systemen für Simulationsprojekte analysierbar zu machen, ergab sich aus meiner beruflichen Tätigkeit im Umfeld der Data-Warehouse-Systeme.

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Konzeptes, welches die Identifikation von Unterstützungspotenzial für datengetriebene Prozessschritte in Simulationsstudien durch Verwendung multidimensionaler Datenmodelle ermöglicht. Dazu werden die Konzepte des Data Wa-

² BDE-System: In Betriebsdatenerfassungssystemen werden personen- und zeitraumbezogen oder bezogen auf durchgeführte Arbeitsaufträge die erforderlichen Daten zur Lohnkostenerfassung festgehalten (vgl. (Heinen, 1991), S. 1209)

rehousing und der Simulation in einen konkreten Zusammenhang gestellt. Es handelt sich um ein Ziel mit pragmatischer³ Ausrichtung, da im Konzept Komponenten gestaltet werden, welche Handlungsempfehlungen beinhalten und Technologien aus den betrachteten Themenbereichen berücksichtigen (vgl. (Diedrich, 2012), S. 11). Der beschriebene thematische Rahmen wird in Abschnitt 4.2 zur Einordnung des Lösungsansatzes dieser Arbeit erneut verwendet. In Abbildung 12 wird das zu entwickelnde Konzept in diesen eingeordnet.

Aus dem Ziel, ein Konzept zur Identifikation von Unterstützungspotenzial zu entwickeln, ergeben sich konkret folgende Fragestellungen, die es zu untersuchen gilt:

Frage	
1	Welche Eigenschaften von Simulationsstudien und Data-Warehouse-Systemen gibt es, die diese (insbesondere im Hinblick auf datenrelevante Aspekte) wesentlich charakterisieren? Wie korrespondieren diese miteinander? Fokus: Identifikation von Eigenschaften.
2	Welche der identifizierten Eigenschaften sind zur Konfiguration und Beschreibung des Simulationsgegenstandes geeignet bzw. notwendig? Fokus: Identifikation von gemeinsamen Eigenschaften zur Konfiguration und Beschreibung.
3	Welche Abstraktionsgrade gibt es in diskreten Simulationsmodellen und in Data-Warehouse-Modellen? Welche Kriterien sind auf die Klassifikation der Abstraktions- und Aggregationsprozesse anwendbar? Fokus: Identifikation von Klassifizierungsebenen.
4	Wie muss ein gemeinsamer Rahmen für die Strukturierung der identifizierten Eigenschaften gestaltet sein, um sie als Basis für die Identifikation von Unterstützungspotenzial nutzen zu können? Wie kann die Konfiguration der identifizierten Eigenschaften erfolgen? Fokus: Aufbau Architektur und Identifikation von Konfigurationsfragen.
5	Wie kann resultierend aus der Analyse der Simulationsfragestellung eine Bewertung der Verwendbarkeit von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen erfolgen?

Tabelle 1: Identifizierte Forschungsfragen

Die Ergebnisse dieser Fragestellungen dienen als Basis für die Entwicklung der drei Komponenten des Konzeptes. Durch den Aufbau eines Ordnungs- und eines Fragenkatalogs mit einem Satz an Elementen werden die entscheidungsrelevanten Aspekte dargestellt. Als Ergänzung dazu korrespondiert eine Verwendungsanweisung, welche Regeln für die Anwendung, Erweiterung und Konfiguration der Kataloge enthält. Sie dient dazu, innerhalb der Obermenge aller Elemente im Ordnungskatalog eine Konfiguration bzw. Selektion zu erreichen. Im Fragenkatalog wird dazu ein Satz von Konfigurationsfiltern zu den korrespondierenden

³ In der wissenschaftlichen Ausrichtung der Pragmatik steht die Handlungsorientierung, der Sinn für Tatsachen sowie die Sachbezogenheit im Vordergrund. Pragmatische Vorgehensweisen sind anwendungs- und handlungsbezogen (vgl. (Duden, 2002)).

Elementen (bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen) im Ordnungskatalog verknüpft. Gemeinsam bilden diese drei Komponenten das in Abschnitt 5.1 dargestellte Gesamtergebnis.

1.4 Forschungsmethodik

1.4.1 Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik und ingenieurmäßiges Vorgehen

Die vorliegende Arbeit ist im Forschungsumfeld der Wirtschaftsinformatik angesiedelt. Wissenschaftlicher Gegenstand der Wirtschaftsinformatik ist die Erklärung und Gestaltung von Informationssystemen. Ein in der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik etabliertes Forschungsparadigma ist das der Gestaltungsorientierung. In ihrem Memorandum beschreiben ÖSTERLE ET AL. die Anspruchsgruppen dieses Forschungsparadigmas, dessen Erkenntnisgegenstand, die Erkenntnisziele, die Ergebnistypen, den Erkenntnisprozess, die Erkenntnismethoden sowie die Prinzipien der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik (vgl. (Österle et al., 2010), S. 3 ff.). Erkenntnisziele sind „*Handlungsanleitungen (normative, praktisch verwendbare Ziel-Mittel-Aussagen) zur Konstruktion und zum Betrieb von Informationssystemen [...]*.“ ((Österle et al., 2010), S. 3).

Als idealtypischen und iterativen Erkenntnisprozess beschreibt das Memorandum folgendes in Phasen aufgeteilte Vorgehen (vgl. (Becker, 2010)):

1. Analysephase

In dieser Phase werden die Problemstellung beschrieben sowie die Forschungsziele formuliert (Forschungsfrage, Gestaltungslücke). Als weiteres werden die Einflussfaktoren auf das beschriebene Problem identifiziert.

2. Entwurfsphase

Die Artefakte werden basierend auf anerkannten Methoden hergeleitet, begründet sowie gegen bestehende Lösungen abgegrenzt.

3. Evaluationsphase

Es erfolgt sowohl eine Evaluation gegenüber den formulierten Forschungsfragen und -zielen sowie eine Begutachtung durch wissenschaftliche Publikationen.

4. Diffusionsphase

In dieser Phase erfolgt die Verbreitung der Forschungsergebnisse an die Anspruchsgruppen der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik.

Der konstruktive (reflektierende und gestaltende) Systemansatz wird definiert als Vorgehen, bei welchem nach einem systematischen Zerlegungsprozess iterativ Zusammensetzungs- und

Zerlegungsprozesse folgen, bis alle Unklarheiten im Modell beseitigt sind. Der konstruktive Ansatz verfolgt als Erkenntnisziel ein Funktionsverständnis zur Konstruktion entsprechender oder gleichartiger Modelle und orientiert sich an der Pragmatik (vgl. (Biethahn et al., 2004), S. 139 f.).

Als ingenieurmäßiges Vorgehen wird ein Prozess verstanden, in dem die Aspekte der Planung und des Entwurfs, der Dokumentation sowie der Messbarkeit der Ergebnisse berücksichtigt sind. Generell liegt diesem Vorgehen immer ein zielorientiertes Planen und Handeln zugrunde, daher ist die Festlegung der zu erreichenden Ziele Ausgangspunkt dieses Vorgehens. Weitere wesentliche Merkmale bzw. zwingende Voraussetzung eines ingenieurmäßigen Vorgehens sind (vgl. (Dobszay, 2009)):

1. Definition und Standardisierung

Als erster Schritt im Vorgehen ist festzulegen, warum, wozu, wie und womit etwas getan werden soll. Ergebnisse sind eine klare Zielsetzung und eine klare Umsetzungsstrategie (d. h. Prozesse) sowie geeignete Methoden und Tools.

2. Nachvollziehbarkeit

Die Nachvollziehbarkeit des Entstehungsprozesses wird durch die Dokumentation aller Aktivitäten und Ergebnisse sichergestellt.

3. Abstraktion und Modellbildung

Abstraktion und Modellbildung dienen als Hilfsmittel zum Verständnis von komplexen Zusammenhängen und machen auch komplexe Systeme handhabbar.

1.4.2 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit orientiert sich zum einen am gestaltungsorientierten Paradigma der Wirtschaftsinformatik, berücksichtigt im Vorgehen zum anderen die Grundsätze des ingenieurmäßigen Vorgehens. Die aus dieser Arbeit resultierenden Artefakte, die in Kapitel 5 detailliert beschrieben werden, sind als Handlungsanleitungen zu verstehen. Die für diese Arbeit gewählte Vorgehensweise gliedert sich in acht Phasen, von denen die Phasen zur Erstellung der Konzeptkomponenten (Phase fünf bis sieben) als iterativer Ablauf angelegt sind. In Abbildung 2 sind die Phasen aufgeführt. Zu jeder Phase sind die inhaltliche Zuordnung der jeweiligen Aufgabe, die verwendeten Methoden⁴ sowie die Referenz auf die in Unterabschnitt 1.4.1 vorgestellten wissenschaftlichen Ansätze der Wirtschaftsinformatik in der Abbildung enthalten:

⁴ Die in der Abbildung aufgeführte Methode der aspektorientierten Zerlegung wird in Unterabschnitt 3.1.3 erklärt. Der Erläuterung des Zusammenhangs zum objektorientierten Klassenparadigma erfolgt in Unterabschnitt 4.3.2.

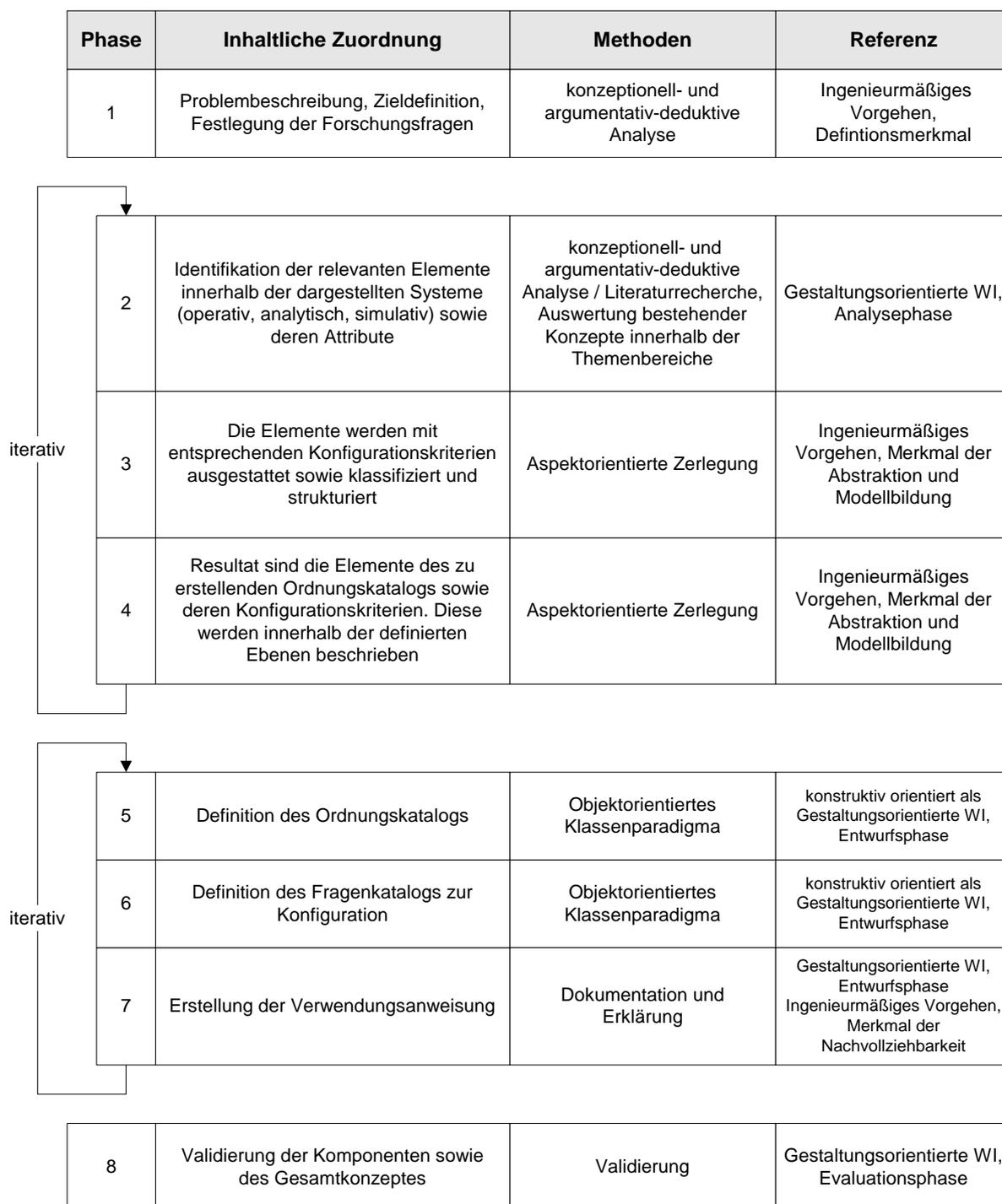


Abbildung 2: Forschungsmethodik und Vorgehensweise (eigene Darstellung)

Die beschriebene Vorgehensweise dient dazu, basierend auf einer strukturierten Analyse den Aufbau eines Ordnungskatalogs für die gemeinsame Einordnung von Elementen aus dem Data Warehousing und der Simulation anhand definierter Attribute zu ermöglichen und innerhalb dieses Ordnungskatalogs die Definition von Konfigurationskriterien abzubilden. Die jeweils in den einzelnen Kapiteln bzw. Abschnitten bearbeiteten Phasen werden zu Beginn der Kapitel wieder aufgegriffen.

1.5 Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert. **Kapitel 1** dient als Einleitung, beschreibt Ziele, Vorgehensweise sowie Struktur der Arbeit. Für die inhaltliche Einordnung sorgt einleitend die Darstellung des thematischen Rahmens.

Kapitel 2 dient der Darstellung des Forschungsstands bezogen auf die Fragestellung sowie der Definition der relevanten Problemstellungen. Für die Bereiche Simulation und Data Warehousing wird bezogen auf die Fragestellung der Arbeit in Abschnitt 2.3 der relevante Stand der Forschung dargestellt.

Das **Kapitel 3** bildet die Basis für die Ausführungen der folgenden Kapitel. Für die drei Themenbereiche werden in diesem Kapitel die wesentlichen Aspekte bezogen auf die Fragestellung dargestellt. Außerdem werden wesentliche Begriffe der (Wirtschafts-) Informatik beschreiben. Die Ausführungen zu den Grundlagen der Themenbereiche Simulation, Data Warehousing und Intralogistik erfolgen teilweise ausführlicher als es für das Verständnis der Fragestellung notwendig wäre. Dies ist beabsichtigt, da die in Kapitel 3 beschriebenen theoretischen Aspekte auch zum Verständnis der in Kapitel 5 entwickelten Konzeptkomponenten dienen.

In **Kapitel 4** werden basierend auf den theoretischen Ausführungen der Handlungsbedarf im Zusammenhang mit den in Kapitel 2 beschriebenen Problemstellungen aufgezeigt sowie das Handlungspotenzial für den in dieser Arbeit erarbeiteten Lösungsansatz dargestellt. Die grundlegende Skizzierung des Lösungsansatzes in diesem Kapitel bildet die Einführung in das entwickelte Konzept. Da es sich in dieser Arbeit um die Erstellung eines theoretischen Konzeptes handelt, werden in Abschnitt 4.3 die aus der Literatur abgeleiteten Anforderungen für die Validierung des Konzeptes und seiner Komponenten definiert.

In **Kapitel 5** werden das Konzept sowie die Konzeptkomponenten vorgestellt. Neben der Erstellung sowie der initialen Befüllung der Komponenten werden einige Beispiele dargestellt. Weiterhin werden die Nutzung des Konzeptes sowie die Vorgehensweise zur Interpretation der Ergebnisse beschrieben. Eine Erläuterung zur Erweiterung der Komponenten gehört in diesem Kapitel ebenfalls zur Nutzungsbeschreibung.

Gegenstand von **Kapitel 6** ist die Validierung des Konzeptes sowie der Komponenten gegen die in Abschnitt 4.3 definierten Anforderungen sowie die Erläuterung der durchgeführten Praxisvalidierung in Form einer Fallstudie. Außerdem werden die in Kapitel 1 formulierten Forschungsfragen beantwortet.

Kapitel 7 gibt abschließend eine Antwort auf mögliche Nutzenaspekte des Konzeptes, eine Zusammenfassung sowie ein Fazit und einen Ausblick auf weitere Schritte.

Der systematische Zusammenhang der einzelnen Kapitel wird in Abbildung 3 dargestellt:

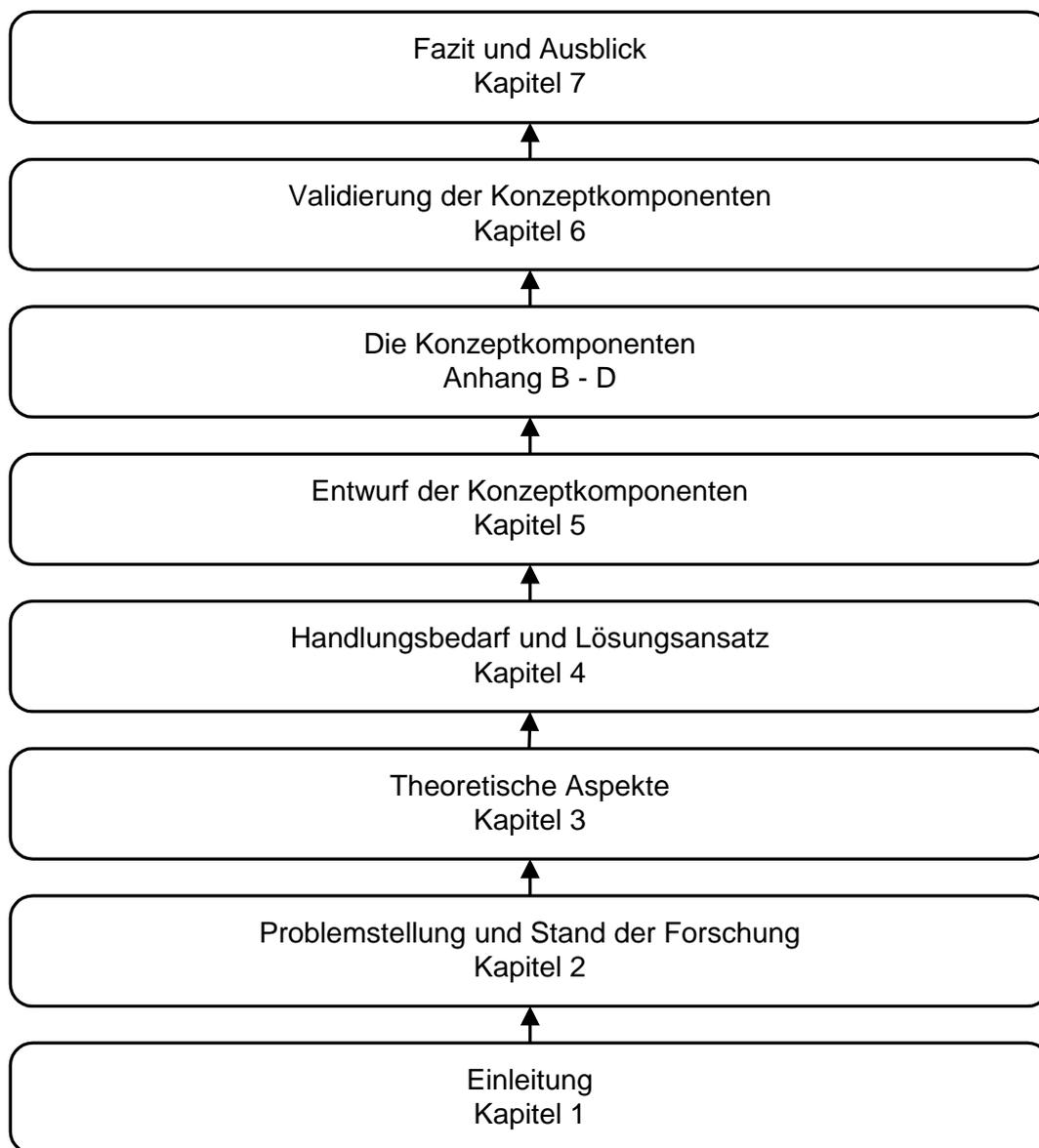


Abbildung 3: Struktur der Arbeit (eigene Darstellung)

2 Problemstellung und Stand der Forschung

In diesem Kapitel wird zuerst eine Erläuterung der datengetriebenen Prozessschritte in Simulationsstudien vorgenommen, die für den Gegenstand der Fragestellung relevant sind. Für diese Prozessschritte werden die Problemstellungen beschrieben, welche mit den Begriffen des Mengen-, Aufwands- und Zeitproblems abgegrenzt werden können. In Abschnitt 2.3 wird für die Themenbereiche Simulation und Data Warehousing der im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit relevante Stand der Forschung skizziert.

2.1 Betrachtung der datengetriebenen Prozessschritte

Die dargestellten Phasen beinhalten folgende Aufgaben und Tätigkeiten (orientiert an (Rabe et al., 2008), S. 4 ff. und 51 ff.; (Zell, 1992), S. 7 f.; (Küll und Stähly, 1999), S. 6; (Kühn, 2006), S. 101 ff. und 408 f. und (VDI, 2010), S. 20ff.):

Die Durchführung einer Simulationsstudie umfasst mehrere Phasen. Ausgehend von der Problemformulierung orientiert am realen System folgen die Zielfestlegung und die Projektplanung. Komplexe Ziele werden in Teilziele zerlegt und bestehende Wechselwirkungen identifiziert. Ausgehend von der Zielfestlegung erfolgen (teilweise parallel zueinander) die Phasen der Datenbeschaffung und der Modellentwicklung. Zu Beginn dieser Phase wird für das zu entwickelnde Modell der erforderliche Abstraktionsgrad festgelegt. Ein zu geringer Abstraktionsgrad beinhaltet die Gefahr, dass die Komplexität des Modells erhöht wird. Ein zu hoher Abstraktionsgrad wiederum kann zu Verlusten beim erforderlichen Erkenntnisgewinn führen. Die Orientierung am definierten Simulationsziel ist daher in dieser Phase von besonderer Bedeutung. Die Wahl des angemessenen Abstraktionsgrades beeinflusst maßgeblich den Erfolg der Simulationsstudie (vgl. (Rohrer, 1998), S. 523). Basierend auf der Festlegung des angemessenen Abstraktionsgrades erfolgen die Phasen der Datenaufbereitung sowie der Modellimplementierung. Das implementierte Modell wird auf die Aspekte der Korrektheit und der Fehlerfreiheit in der Phase der Modellverifikation und -validierung überprüft. Nach Abschluss der Validierung können die Simulationsexperimente durchgeführt und Simulationsergebnisse zur Bewertung auf das reale System übertragen werden. Der Gesamtprozess der Simulation ist im Anhangkapitel (Anhang A: Der Simulationsprozess) ausführlich beschrieben.

Für die Eingrenzung der Problemstellung werden in diesem Abschnitt die datengetriebenen Prozessschritte in Simulationsstudien detailliert beschrieben. Die relevanten Prozessschritte sind im Gesamttablauf (in Abbildung 23) zur Verdeutlichung dunkelgrau hinterlegt. Diese Prozessschritte sind von der Thematik der vorliegenden Arbeit unmittelbar oder zumindest

mittelbar betroffen. Für die Erläuterungen in diesem Abschnitt sind die Prozessschritte in Abbildung 4 mit ihren wesentlichen Aufgaben komprimiert dargestellt.

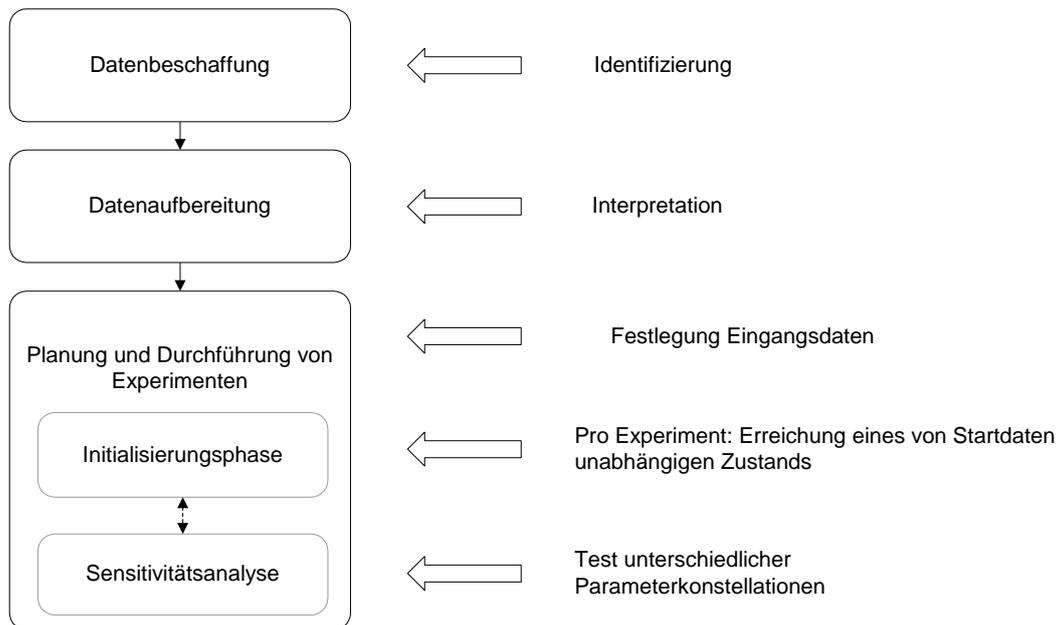


Abbildung 4: Datengetriebene Prozessschritte in Simulationsstudien (eigene Darstellung)

Die Prozessschritte der Datenbeschaffung und -aufbereitung sind unmittelbar von Bedeutung. Bei der Planung und Durchführung von Simulationsexperimenten sind die Prozessschritte der Modellinitialisierung sowie die Sensitivitätsanalyse relevant. Die in Abbildung 4 aufgeführten Prozessschritte sind in den nachfolgenden Abschnitten ausführlich erläutert. Die Abbildung dient als kompakte Darstellung der in dieser Arbeit betrachteten Teilprozesse deiner Simulationsstudie.

2.1.1 Die Prozessschritte Datenbeschaffung und -aufbereitung

Die Begriffe der *(benötigten) Informationen (Informationsbedarf)* sowie *(benötigten) Daten (Datenbedarf)* können orientiert an der Semiotik⁵ differenziert werden. Bei beiden handelt es sich um ein immaterielles Gut. Daten stellen nach semantischen Regeln aufbereitete Aussagen über Sachverhalte dar und werden zu Informationen, wenn sie in einen Kontext- oder Zweckbezug gebracht werden. Gleiche Daten können demnach bei unterschiedlichem Bezug einen voneinander abweichenden Informationsgehalt haben (vgl. (Heinen, 1991), S. 252). Der Informationsbedarf kann definiert werden als die Art, Menge und Beschaffenheit

⁵ Semiotik ist die Lehre von Zeichen und Zeichenreihen. Betrachtet werden die Aspekte Syntaktik (Beziehungen zwischen Zeichen), Semantik (Inhaltliche Bedeutung von Zeichen), Sigmantik (Beziehungen zwischen Zeichen und bezeichnetem Objekt) und Pragmatik (Beziehungen zwischen Zeichen und seinem Verwender) (vgl. (Krcmar, 2005), S. 16 und (Biethahn et al., 2004), S. 4).

von Informationen, die zur Erfüllung einer Aufgabe in einem bestimmten Kontext benötigt werden. Mit der effektiven (d. h. zielgerichteten) und effizienten (d. h. die Kosten übersteigenden Nutzen bringenden) Verwaltung von Informationen (in Organisationen) befasst sich das **Informationsmanagement**. In den in dieser Arbeit referenzierten Quellen wird häufig der Begriff der *Informationen* bzw. *Daten* trennungsunscharf verwendet. Für die Datenbeschaffung bezogen auf die Simulationsstudie ist diese Trennung auch nicht notwendig, da durch den gegebenen Simulationskontext auf eine differenzierte Darstellung verzichtet werden kann. Die Begriffe werden in dieser Arbeit äquivalent verwendet. Als Kontext ist die Intralogistik vorgegeben.

Der Prozessschritt der **Datenbeschaffung** dient der Identifizierung und Sammlung der für die Simulationsstudie relevanten Daten. Dabei werden verschiedene Arten unterschieden (siehe Abbildung 5). Daten zur Beschreibung der Topologie und Struktur des Systems sowie zur Beschreibung der Komponenten können unter dem Oberbegriff der technischen und organisatorischen Daten zusammengefasst werden. Für die Durchführung der Simulationsexperimente werden Daten der Zustandsänderungen sowie Daten für die Abbildung der Systemlast benötigt (vgl. (VDI, 2010), S. 22). Die Datenbeschaffung nimmt im gesamten Verlauf der Simulationsstudie einen maßgeblichen Anteil für den Erfolg ein. Im Verlauf der Simulationsstudie können sich regelmäßig Änderungen am Modell ergeben, die eine erneute Analyse der benötigten Daten bzw. eine entsprechende erweiterte Datenbeschaffung zur Folge haben. Als Voraussetzung für deren Beschaffung müssen Art und Umfang der bereitzustellenden Daten definiert sein, deshalb besteht ein enger Austausch zur Phase der Modellentwicklung. Außerdem ergeben sich bezüglich der Detailtiefe der benötigten Inputdaten Abhängigkeiten aus der gewählten Zielsetzung der Simulationsstudie (vgl. (Rabe et al., 2008), S. 49 f.).

Für die Datenbeschaffung stehen verschiedene Quellen zur Verfügung. Externe Informationsquellen können in der Datenbeschaffung für Simulationsstudien nur begrenzt eingesetzt werden. Solche Quellen sind beispielsweise Fachzeitschriften, Online-Datenbanken, Informationen öffentlicher Institutionen oder das Internet. Da diese Datenquellen i. d. R. keinen Sachbezug zur Fragestellung der Simulationsstudie enthalten können, werden sie nachfolgend nicht weiter betrachtet. Interne Informationsquellen sind kaufmännische IT-Systeme (z. B. des Rechnungswesens), Absatz- und Lagerstatistiken, Operative IT-Systeme (wie in Abbildung 1 beschrieben) sowie Planungsdaten des Unternehmens. In der VDI Richtlinie 3633 werden als zusätzliche Quellen die Werksplanung (für Topologieinformationen) und Herstellerangaben (für die Ermittlung technischer Daten) empfohlen. Der Verfügbarkeit von strukturierten Rohdaten in Datenbanksystemen wird dabei eine besondere Bedeutung zugeordnet

(vgl. (Klein und Scholl, 2011), S. 24 f.⁶; (Herget, 1997), S. 783 f.; (Kühn, 2006), S. 105; (Arnold und Furmans, 2007), S. 238; (VDI, 2010), S. 44).

Ein weiterer Aspekt bei der **Datenverfügbarkeit** ist das **Anwendungsszenario der Simulationsstudie** (vgl. (Hrdliczka et al., 2007), S. 14 f.). Das Anwendungsszenario für Simulationsstudien kann eines der drei Entwicklungsstadien des Simulationsgegenstandes betreffen. Dieser kann sich im Planungsstadium befinden, dann wird von einem planungsorientierten Szenario gesprochen. Bei einem Simulationsgegenstand im Realisierungsstadium wird von einem realisierungsorientierten und bei einem bereits in Betrieb befindlichen Betrachtungsgegenstand von einem betriebsorientierten Anwendungsszenario gesprochen (vgl. (VDI, 2010), S. 4 f.). Detailliert beschrieben werden diese drei Anwendungsszenarios in Abschnitt 3.2. Die für die Datenverfügbarkeit relevanten Abstraktionsgrade der Mikro,- Meso- und Makroebene werden in Abschnitt 3.1 beschrieben. In der Domäne der Intralogistik können für die drei Anwendungsszenarios unterschiedliche Rohdaten in Qualität und Menge zur Verfügung stehen. Zur exemplarischen Differenzierung bezüglich der Datenverfügbarkeit dient Tabelle 2:

		Anwendungsszenario		
		Planungsorientiert	Realisierungsorientiert	Betriebsorientiert
Abstraktionsgrad	Mikroebene	verfügbar	verfügbar	verfügbar
	Mesoebene	adaptierbar verfügbar	adaptierbar verfügbar	verfügbar
	Makroebene	begrenzt verfügbar	begrenzt verfügbar	verfügbar

Tabelle 2: Datenverfügbarkeit differenziert nach Anwendungsszenario

Für die in Tabelle 2 aufgeführten Kombinationen aus [Abstraktionsgrad – Anwendungsszenario] können verschiedene Datenverfügbarkeiten identifiziert werden (vgl. (Hrdliczka et al., 2007), S. 14 f.):

[Mikroebene – Planungsorientiert, Realisierungsorientiert]:

Betrachtung von Maschinen, Transporteinheiten, Ausschnitten des Warenflusses im Detail. Daten sind in dieser Anforderungskombination i. d. R. verfügbar, da Betriebs-

⁶ In ihren Ausführungen beziehen sich KLEIN UND SCHOLL auf die generellen Planungstätigkeiten eines Unternehmens und nicht auf den speziellen Fokus der Simulationsstudien.

daten von bereits vorhandenen Maschinen, Transporteinheiten und Warenflussinformationen genutzt werden können.

[Mesoebene – Planungsorientiert, Realisierungsorientiert]:

Betrachtung organisatorischer Einheiten und deren Beziehungen, z. B. Lagerstrukturen, Transportsysteme. Daten stehen in dieser Anforderungskombination i. d. R. nur in adaptierbarer Form zur Verfügung. Die Verwendung von Daten ähnlicher Lagerstrukturen oder Transportsysteme muss unter Berücksichtigung der abweichenden Rahmenbedingungen erfolgen.

[Makroebene – Planungsorientiert, Realisierungsorientiert]:

Betrachtung komplexer Subsysteme inklusive ihrer Interaktionen, z. B. Werksplanung, Warenflussplanung sowie gesamte Systeme von außen. Daten stehen in dieser Anforderungskombination i. d. R. nur sehr begrenzt zur Verfügung. Bei der Planung und Realisierung komplexer und bisher nicht implementierter Systeme, Werke oder Warenflussabläufe kann die Verwendung von Daten vergleichbarer Szenarios nur in Abhängigkeit von der Übertragbarkeit der Fragestellung entschieden werden.

[Mikroebene, Mesoebene, Makroebene – Betriebsorientiert]:

Betrachtung von Maschinen, Transporteinheiten, Ausschnitte des Warenflusses im Detail, Betrachtung organisatorischer Einheiten und deren Beziehungen, beispielsweise Lagerstrukturen, Transportsysteme, Betrachtung komplexer Subsysteme inklusive ihrer Interaktionen, z. B. Werksplanung, Warenflussplanung sowie gesamte Systeme von außen. Daten sind in dieser Anforderungskombination verfügbar, da Betriebsdaten für die Systeme, die im Szenario betrachtet werden sollen, zur Verfügung stehen.

WENZEL ET AL. beschreiben den Prozess der Übertragung von Daten in der Inhaltsdomäne Intralogistik im Rahmen des Datenmanagements als Maßnahme der Prognose. Dabei unterscheiden sie die zeitliche Prognose, in der es um die Hochrechnung von Daten auf einen anderen Zeitraum geht sowie die systembezogene Prognose, bei der die Übertragung von Daten von einem technischen System auf ein anderes erfolgt. In der Hybridprognose können die beiden Verfahren kombiniert angewendet werden (vgl. (Wenzel et al., 2001), S. 419).

Im Anschluss an die Rohdatenbeschaffung muss eine **Datenaufbereitung** im Kontext der zu untersuchenden Fragestellung erfolgen. Ziel dieser Aufbereitung ist die interpretationsgerechte Darstellung der Datenbasis, die aus der Menge aller für die Anwendung erforderlichen und verfügbaren Nutz- und Systemdaten besteht. Die Datenaufbereitung erfolgt mit einem Fokus auf das Simulationsmodell, sodass Änderungen am Modell erneute Datenaufbereitungen zur Folge haben können. Dieser Fokus bedingt, dass i. d. R. die Datenaufbereitung von

Simulationsexperten durchgeführt werden muss. Ein Rücksprung in die Phase der Datenbeschaffung wird notwendig, wenn die Güte der aufbereiteten Daten nicht den Anforderungen des Modells entspricht. Im Detail kann es sich bei der Datenaufbereitung um folgende Schritte handeln (vgl. (Klein und Scholl, 2011), S. 24 f.; (Kühn, 2006), S. 101 ff., 142 ff. und 408 f.):

- Transformation (Selektion, Sortierung und Formatierung),
- Reduktion der Datenmenge durch Verdichtung der Daten zu aggregierten Werten,
- Filterung, Bereinigung und Ergänzung der Daten,
- Identifikation von Beziehungen in den Daten,
- Prüfung auf Aktualität und zeitliche Einordnung,
- Überprüfung auf Vollständigkeit, Eindeutigkeit, Konsistenz und Plausibilität,
- Abbildung von statistischen Verteilungen.

Bei der Datenaufbereitung sind die Datenkonsistenz, ausgedrückt durch Widerspruchsfreiheit der Daten, sowie die Datengenauigkeit, welche sich in der Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt der Datenerhebung widerspiegelt, wichtige Aspekte. Außerdem sind die Fragen der Datenschärfe, des Datenverständnisses sowie der Datenaggregation zu klären (vgl. (Kühn, 2006), S. 408 f.; (Küll und Stähly, 1999), S. 3).

Inputdaten für Simulationsstudien können unterschieden werden. Sowohl in der VDI Richtlinie 3633 (dargestellt in Abbildung 5) als auch bei SELKE erfolgt die Unterteilung in technische Daten (Repräsentation physischer Objekte), organisatorische Daten (Repräsentation des Ablauf- und Informationsflusses) und Systemlastdaten (Repräsentation der ausgeführten Prozesse). SELKE nennt zusätzlich noch den Bereich der Experimentdaten (notwendige Parameter und Konfigurationen für die Durchführung der Simulation, die festgelegte Anzahl von Simulationsläufen, der Simulationszeitraum) (vgl. (Selke, 2004), S. 15; (VDI, 2010), S. 23). Die Aufteilung der Daten wie sie in der VDI Richtlinie 3633 vorgenommen wird, gliedert die technischen Daten in Fabrikstrukturdaten, Fertigungsdaten, Materialflussdaten sowie Stördaten. Organisationsdaten beschreiben Ressourcendaten, Arbeitszeitaspekte sowie die Ablauforganisation. Systemdaten dienen zum einen der Abbildung der Auftragslast und zum anderen der Beschreibung von Produkten durch Arbeitspläne und Stücklisten.

KÜHN differenziert benötigte Inputdaten nach Geometriedaten (Daten für die Bewegungssimulation wie Anlagen, Ressourcen, Werkstücke), Zeit- und mengenorientierte Daten (Zeitorientierte wie Bearbeitungszeiten, Handling-, Transport- und Störzeiten sowie Mengenori-

enterte wie Stückzahlen, Modellmix, Pufferkapazitäten und Transportmittelzahlen) sowie Ablauf- und Steuerungsdaten (z. B. Dispositionsregeln, Bearbeitungsreihenfolgen, Vorfahrtsstrategien, Routing-Strategien). Insbesondere die Beschaffung von Ablauf- und Steuerungsdaten ist je nach Anwendungsszenario problematisch, da diese – wenn überhaupt – selten in expliziter Form zur Verfügung stehen (vgl. (Kühn, 2006), S. 106 f.).

Die Aufteilung der Daten gemäß der VDI Richtlinie 3633 ist grafisch in Abbildung 5 dargestellt:

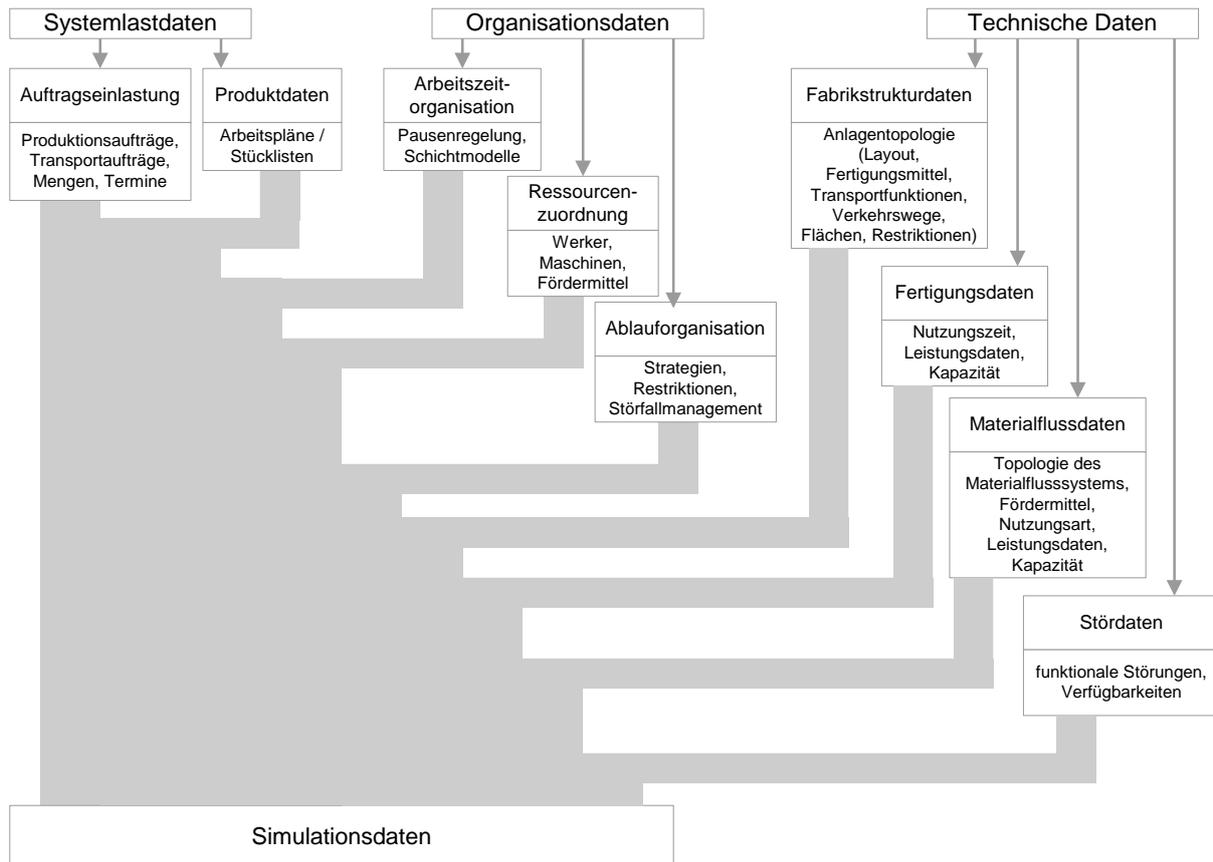


Abbildung 5: Arten von Simulationsdaten (vgl. (VDI, 2010))

2.1.2 Der Prozessschritt Modellinitialisierung

Unter dem Begriff der Initialisierungsphase wird der Zeitraum verstanden, den ein Simulationssystem benötigt, um einen von Startbedingungen unabhängigen Zustand zu erreichen. Dieser ist erreicht, wenn der Mittelwert der Beobachtungen dem Erwartungswert für unendlich viele Beobachtungen entspricht (vgl. (Kühn, 2006), S. 409).

Bei ereignisdiskreten Simulationen werden die Begriffe der Anlaufphase (bei nichtstationären⁷ Simulationen) sowie der Einschwingphase (bei stationären⁸ Simulationen) unterschieden. LIEBL beschreibt für den Start eines Simulationsexperiments die Verwendung des empty-and-idle state (es werden keine Startparameter vorgegeben) sowie die Verwendung des steady state bzw. eines daran angenäherten Parametersets, bei dem die Startparameter möglichst nahe am eingeschwungenen Zustand des Simulationsexperimentes vorgegeben werden (vgl. (Liebl, 1995), S. 156 ff.). Sowohl bei stationären als auch nichtstationären Simulationen können die Parameter, mit denen ein Simulationsexperiment startet, aufgrund mangelnden Wissens über typische Bedingungen häufig nur sehr schwer bestimmt werden. Auf die Differenzierung von Anlauf- und Einschwingphase kann im weiteren Verlauf der Ausführungen verzichtet werden, da die Problemstellungen der Initialisierung bezogen auf den Dateninput in beiden Varianten der Initialisierung vergleichbar sind. Daher wird der Begriff der Initialisierungsphase übergreifend für beide Varianten verwendet. Für die Betrachtung der Simulationsergebnisse ist es relevant zu ermitteln, wann die Initialisierungsphase abgeschlossen ist, da (insbesondere bei stationären Simulationen) erst ab diesem Zeitpunkt die Werte der Simulation in die Ergebnisanalyse einfließen dürfen (vgl. (Liebl, 1995), S. 157).

2.1.3 Der Prozessschritt Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse beschäftigt sich im Allgemeinen mit den Beziehungen zwischen den Parametern eines Entscheidungsmodells und deren Auswirkungen auf die Lösung eines Entscheidungsproblems in Abhängigkeit von der Ungenauigkeit bzw. der Unsicherheit der Parameter (vgl. (Dinkelbach, 1969), S. 1 f.; (Kühn, 2006), S. 416 und (VDI, 2010), S. 37). Als Basiszenario wird häufig ein Parametersatz als Bezugspunkt verwendet, bei dem alle Ausprägungen der Werte der Parameter bekannt sind. Sensitivitätsanalysen werden in der Risikoanalyse sowie für die Bewertung von Alternativen eingesetzt. Im Zusammenhang mit der Betrachtung von Optimierungsmodellen können berechnete optimale Lösungen dahingehend bewertet werden, wann sie ihre Optimalitätseigenschaft verlieren (vgl. (Klein und Scholl, 2011), S. 338 f.). Besonders interessant sind daher Parameterkonstellationen, die in der Simulationsstudie ‚sehr sensitiv‘ reagieren, d. h. bei denen bereits geringe Veränderungen an den Parametern erhebliche Änderungen in den Simulationsergebnissen bewirken sowie ‚sehr

⁷ Nichtstationäre Simulationen entsprechen in ihrem Verhalten eher Realsystemen, da sie keinen langfristigen Gleichgewichtszustand anstreben. Aspekte der Nichtstationarität sind dabei zeitlich variierende Inputverteilungen, Übergangsprozesse und Strukturbrüche. Vor allem Übergangsprozesse sind häufig Gegenstand von Simulationsstudien und implizieren daher deren Nichtstationarität (vgl. (Liebl, 1995), S. 146).

⁸ Stationäre Simulationen können vereinfacht als Simulationen betrachtet werden, die langfristig einem Gleichgewichtszustand entgegenstreben. In diesem Gleichgewichtszustand sind keine Trends für Parameterverteilungen mehr vorhanden und das Systemverhalten ist von Strukturbrüchen und Übergangsprozessen befreit (vgl. (Liebl, 1995), S. 145).

insensitive' Konstellationen, bei denen erhebliche Veränderungen der Parameter kaum spürbare Veränderungen in den Simulationsergebnissen zur Folge haben. Ein hoher Anteil für die Durchführung von Sensitivitätsanalysen innerhalb des Gesamtvolumens entsteht dadurch, dass pro Durchlauf immer nur ein Parameter verändert werden sollte, um Wirkungszusammenhänge nachvollziehen zu können. Aus der Parameteranzahl ergibt sich damit die Anzahl der durchzuführenden Simulationsexperimente (vgl. (Kühn, 2006), S. 112).

Ein weiterer Einsatzzweck für Sensitivitätsanalysen im Rahmen von Simulationsstudien widmet sich der Ermittlung von Werten für Inputparameter, über deren Wertebereich noch keine Erfahrungen oder Vorstellungen vorliegen mit dem Ziel, eine Konkretisierung zu erreichen. Abschließend kann als Aufgabe der Sensitivitätsanalyse noch die Untersuchung von Fragen bezüglich der Informationsbeschaffung betrachtet werden. Hier wird die Sensitivitätsanalyse eingesetzt, um eine Unterscheidung treffen zu können, welche Daten für die zu untersuchende Fragestellung detailliert ermittelt werden müssen und welche auf einem relativ groben bzw. geschätzten Niveau verwendet werden können. Diese Differenzierung ermöglicht eine Fokussierung und somit eine Reduzierung des Gesamtaufwands für die Informationsbeschaffung (vgl. (Dinkelbach, 1969), S. 2 ff.; (Klein und Scholl, 2011), S. 339).

2.2 Konkretisierung der Problemstellungen

In diesem Abschnitt werden die zu betrachtenden Problemstellungen detailliert beschrieben. Die Problemstellungen sind fokussiert auf die datengetriebenen Prozessschritte von Simulationsstudien, wie sie in Abschnitt 2.1 beschrieben sind. Daraus resultierend wird zur Abgrenzung definiert, dass die Betrachtung von Daten, die in Form der Simulationsergebnisse nach Durchführung der Simulationsexperimente zur Verfügung stehen, nicht zum Betrachtungsgegenstand der Arbeit gehört. Die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit beziehen sich außerdem auf Systeme bzw. Simulationsstudien, für die eine Datenerhebung grundsätzlich möglich ist (siehe auch Tabelle 2).

Die nachfolgend erläuterten Problemstellungen lassen sich innerhalb der vier datengetriebenen Prozessschritte als Mengenproblem (PI), Aufwandsproblem (PII) sowie als Zeitproblem (PIII) formulieren. Die Probleme PII und PIII resultieren aus den Detailspekten des Problems PI.

Für das **Mengenproblem (PI)** können als Ursachenaspekte folgende Punkte identifiziert werden: Der Aspekt der **Datenquantität** teilt sich auf in eine zu hohe bzw. eine zu geringe Datenmenge. Das Problem einer **zu geringen Datenmenge** besteht immer dann, wenn für Anwendungsszenarios von Simulationsstudien die Erhebung von realen Daten nur eingeschränkt möglich ist, beispielsweise wenn das zu simulierende oder ein vergleichbares System nicht existieren (vgl. (Vincent, 1998), S. 59; (Wenzel et al., 2001), S. 417 f.). Zum anderen

kann das Problem einer **zu hohen Datenmenge** bestehen. Dieses kann sich aufgrund einer hohen Anzahl differierender bzw. möglicher Datenquellen ergeben. Wenn Daten aus unterschiedlichen Systemen entnommen werden, leidet i. d. R. die Datengenauigkeit bzw. es ist eine entsprechende Aufbereitung der Daten erforderlich. Eine gute oder schlechte **Qualität von Daten** kann anhand verschiedener Merkmale bewertet werden (vgl. (Kühn, 2006), S. 142; (Bernhard et al., 2007), S. 7 ff.; (Bange et al., 2009), S. 45 f.). Der Grad der Datenaktualität misst sich an ihrer Fähigkeit, das betrachtete System im aktuellen Zustand zu beschreiben. Die Datengenauigkeit spiegelt wider, wie realistisch die Daten das abzubildende System beschreiben. Ein weiteres Kriterium für gute Datenqualität ist gegeben, wenn diese rechtzeitig für die Simulationsexperimente zur Verfügung stehen. Daten haben eine hohe Relevanz für die Aufgabenstellung, wenn sie für das Simulationsmodell nutzbar sind. Die Verlässlichkeit von Daten kann anhand ihrer hohen Fehlerfreiheit und Korrektheit abgelesen werden. Wenn die Inputdaten eine hohe Verständlichkeit aufweisen, ist gewährleistet, dass Interpretationsfehler bei der Nutzung vermieden werden können. Eine gute Datenqualität zeigt sich am Grad ihrer Vollständigkeit bezogen auf die zu lösende Aufgabenstellung. Je vollständiger die zur Verfügung stehenden Daten die benötigten Inputdaten abdecken, desto höher ist ihre Qualität. Je weniger der aufgeführten Kriterien von den zur Verfügung stehenden Daten erfüllt werden, desto schlechter ist die Qualität der Inputdaten zu bewerten. Für die Durchführung von Simulationsstudien ist der Anspruch an eine hohe Datenqualität ein wesentlicher Aspekt⁹ (vgl. (VDI, 2010), S. 22; (Hotz, 2007), S. 88; (Liebl, 1995), S. 126; (Bernhard et al., 2007), S. 4). Insbesondere im Zusammenhang mit der Durchführung einer Sensitivitätsanalyse kann das Problem **mangelnder Datenvarianz** auftreten. Das Vorhandensein ausreichend vieler Daten ist nicht gleichbedeutend damit, dass die Varianz der Daten für unterschiedliche Experimentkonstellationen ebenfalls gegeben ist.

In der Simulationspraxis wird häufig der Versuch unternommen, die erläuterten vier PI-Aspekte durch die Anwendung von zwei etablierten Methoden zu reduzieren.

Eine Möglichkeit zum Ausgleich fehlender oder qualitativ schlechter Inputdaten stellt die **Verwendung von Zufallsvariablen** mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung dar. Für die verwendeten Zufallsvariablen müssen passende Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt werden (vgl. (Liebl, 1995), S. 35; (Suhl und Mellouli, 2006), S. 280 ff.; (Domschke und Drexler, 2011), S. 228 ff.). SUHL UND MELLOULI beschreiben verschiedene Arten von Wahrscheinlich-

⁹ Die aufgeführten Merkmale guter bzw. schlechter Datenqualität müssen im konkreten Anwendungsfall jeweils mit messbaren Kriterien bzw. Anforderungen ergänzt werden, um den notwendigen Grad an Erreichung des Kriteriums bewerten zu können. Dieser zu erreichende Grad ergibt sich im Simulationsumfeld aus dem Kontext der zu bearbeitenden Fragestellung.

keitsverteilungen¹⁰ sowie ein Vorgehen, mit dem die jeweils angemessene Verteilung bestimmt werden kann. Je schlechter die Qualität der Inputdaten ist, desto größer ist der Bedarf, diese durch Zufallsvariablen (stochastische Größen) zu ersetzen. Beispiele für stochastische Größen sind Bedarfswerte, Bedarfsverteilungen, Verfügbarkeit von Material, Ankunftszeiten von Bearbeitungsaufträgen, Auftragsfrequenzen, Lieferzeiten, Zeitintervalle zwischen Rüst- und Wartungsevents, Maschinenausfallzeiten usw. (vgl. (Liebl, 1995), S. 23; (Vincent, 1998), S. 55 und (Witte et al., 1994), S. 214). In wieweit Zufallsvariablen einen negativen Einfluss auf die Simulationsresultate haben, ist relativ schwierig zu bewerten. Der Einfluss kann zwischen ‚ausschlaggebend‘ und ‚irrelevant‘ schwanken. Die Bewertung erfolgt häufig durch Nutzung von Sensitivitätsanalysen. WITTE ET AL. stellen die weitestreichende Behauptung auf, indem sie diskreten Simulationsstudien aufgrund ihrer Komplexität, Mehrdimensionalität und der stochastischen Anteile die Möglichkeit zur Analyse absprechen (vgl. (Witte et al., 1994), S. 214).

Die zweite Möglichkeit, die in Simulationsstudien zum Ausgleich fehlender oder qualitativ schlechter Daten verwendet werden kann, ist die Verwendung von **Daten aus einem anderen Erhebungskontext**. Die Notwendigkeit, explizit Daten für die Durchführung der Simulationsstudie zu erheben, ist mit hohem Zeitaufwand verbunden und führt dazu, dass die Alternative der Verwendung vorhandener Daten häufig bevorzugt wird. Bei der Verwendung bereits aus anderen Gründen bzw. in anderen Kontexten erhobener Daten können besondere Probleme bestehen, da die Daten nicht mit dem eigentlichen Simulationszweck in Beziehung stehen. Dies können beispielsweise die Erhebung/Dokumentation in einer falschen Reihenfolge, dem Simulationszweck entgegenstehende Gruppierungen, Rundungsprobleme, Fehler in der Datenerhebung, mangelnde Datenspezifikationen oder die mangelnde Berücksichtigung von Prozessveränderungen sein (vgl. (Vincent, 1998), S. 59 f.).

Die Nutzung dieser beiden Methoden führt zwar zur Reduzierung der vier Problemaspekte des Mengenproblems (PI), allerdings entstehen dadurch die beiden weiteren Problemstellungen des Aufwandsproblems (PII) und des Zeitproblems (PIII).

Je nach Umfang der verwendeten stochastischen Größen können diese einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Simulationsergebnisse haben (vgl. (Kühn, 2006), S. 106 ff.). Die Verwendung einer hohen Anzahl verringert die Ergebnisqualität der Simulationsstudien. Um den Einfluss der Zufallsvariablen auf die Simulationsergebnisse zu reduzieren, müssen Simu-

¹⁰ Ausführliche Erläuterungen für die Auswahl einer geeigneten Verteilungswahrscheinlichkeit (z. B. stetige Gleichverteilung im Intervall [0;1] bzw. einem beliebigen Intervall [a;b]; Diskrete Gleichverteilung im Intervall [0;b]; kontinuierliche Dreiecksverteilung; kontinuierliche Normalverteilung; diskrete Binomial-, Poisson- oder Bernoulli-Verteilung) sind bei (Suhl und Mellouli, 2006), S. 277 ff. zu finden. Auf eine detaillierte Erläuterung wird in dieser Arbeit verzichtet.

lationsdurchläufe mit ansonsten gleichen Parameterkonstellationen angemessen oft wiederholt werden, da die Genauigkeit der Ergebnisse von Simulationsexperimenten unter anderem durch die **Anzahl der Simulationsexperimente** beeinflusst wird (vgl. (Küll und Stähly, 1999), S. 3 f.; (Corsten et al., 2005), S. 224; (Kühn, 2006), S. 106 ff.). Neben der Anzahl der Simulationsexperimente ist auch deren **ausreichende Dauer** sicherzustellen. Dabei ist zum einen der für die Simulationsfragestellung relevante Betrachtungszeitraum der Ergebnissammlung und zum anderen eine angemessene Zeitdauer darüber hinaus zu prüfen (vgl. (Arnold und Furmans, 2007), S. 321 f.). Somit führt die Verwendung von Zufallsvariablen zu einer Steigerung der Anzahl der Simulationsexperimentwiederholungen, um aussagefähige Ergebnisse zu erhalten. In diesen Experimenten müssen jeweils die Initialisierung des Modells sowie die Konfiguration der Eingangsparameter mit entsprechendem Aufwand geprüft und validiert werden. Die bereits beschriebenen zwei Alternativen, das Simulationsexperiment im ‚empty-and-idle state‘ zu starten bzw. mit einem Satz von möglichst repräsentativen Parametereinstellungen baldmöglichst einen ‚steady-state‘ erreichen zu wollen, spielen für den Aufwand der Initialisierungsphase eine erhebliche Rolle. Liegen (aufgrund des Mengenproblems (PI)) keine belastbaren Erfahrungen vor, wie ein möglichst guter Parametersatz für die konkrete Simulationsfragestellung aussehen könnte, hat dies wiederum eine Erhöhung der Zahl der Simulationsexperimente zur Folge, um durch den Test verschiedener Parametersätze entsprechende Erfahrungen zu sammeln. Die Schwierigkeiten bei der korrekten Befüllung von Simulationsmodellen für **Themenstellungen der Intralogistik** und insbesondere des Materialflusses stellen auch ARNOLD UND FURMANS zur Diskussion. Auch sie stellen fest, dass die Validierung eines Simulationsmodells mit Zufallsvariablen in dieser Inhaltsdomäne durch mehrfache Simulationsläufe zu gewährleisten ist. Die dabei entstehende Streuung der Ergebnisse lässt eine Aussage über deren Einfluss auf die stochastische Variabilität des Modells und damit über dessen Qualität zu (vgl. (Arnold und Furmans, 2007), S. 321 f.).

Die in diesem Abschnitt beschriebenen drei Probleme (PI – PIII) sowie deren Anordnung in den datengetriebenen Prozessschritten sind abschließend in Abbildung 6 im Zusammenhang dargestellt:

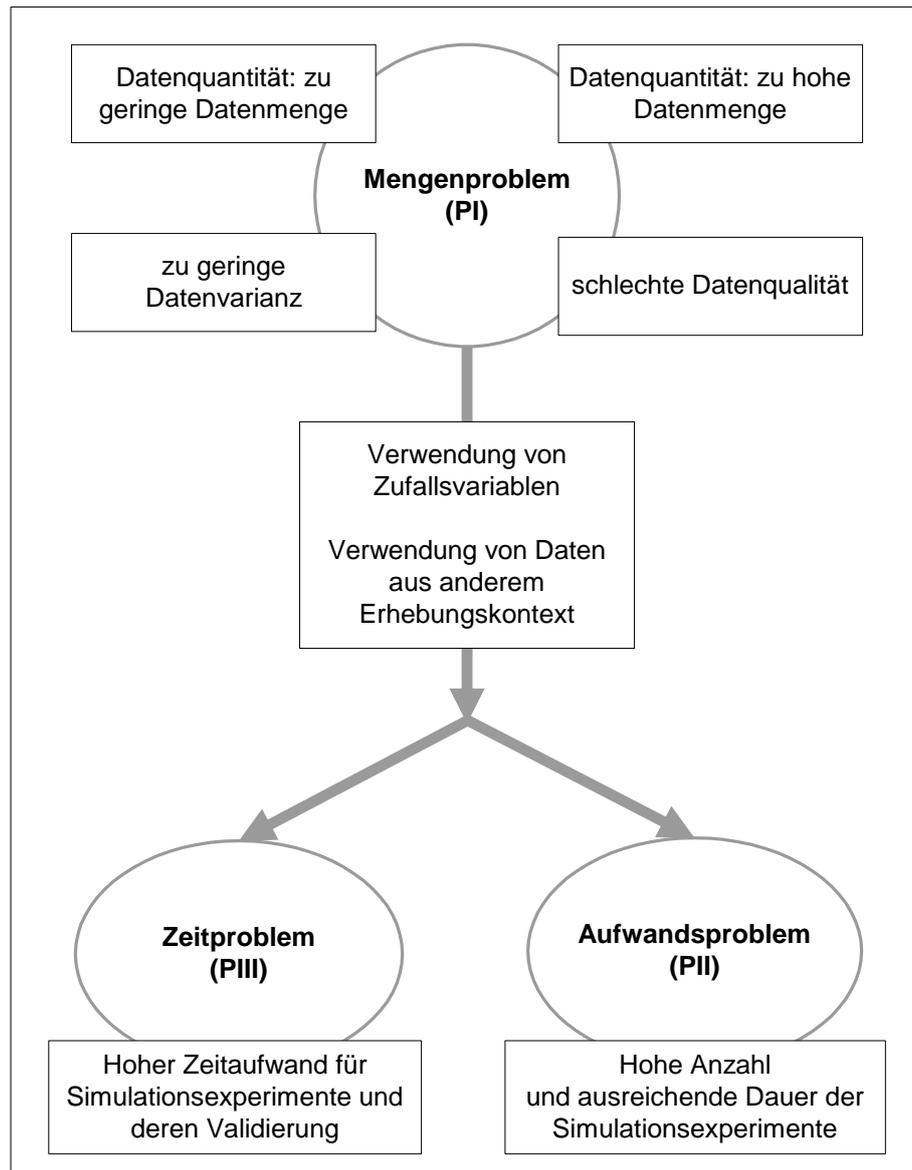


Abbildung 6: Problemstellungen und Ursachenaspekte (eigene Darstellung)

In dieser Abbildung wird der Zusammenhang des Ursache-Wirkungs-Prinzips der drei Problemstellungen verdeutlicht. PI mit den drei aufgeführten Aspekten resultiert in den beiden in der Simulation vorhandenen Problemlösungsmethoden. Diese verursachen wiederum die Probleme PII und PIII.

2.3 Stand der Forschung

2.3.1 Stand der Forschung zur Simulation

Bei der Analyse vorliegender Veröffentlichungen zum Themenkreis Simulation sind Forschungsvorhaben, welche die werkzeuggestützte Optimierung des Simulationsprozesses und dessen Teil- bzw. höchstmögliche Automatisierung zum Gegenstand haben, als zwei Schwer-

punktt Themen zu identifizieren. Die Forschungsprojekte AssistSim¹¹ und EDASim¹² befassen sich mit der Erarbeitung von Assistenzfunktionen für Simulationsstudien (vgl. (Mayer et al., 2012)). Beide Projekte sind im Bereich Produktion und Logistik angesiedelt, AssistSim fokussiert zusätzlich die Automobilindustrie. Forschungsgegenstand bei EDASim ist die Entwicklung eines integrierten Datenassistentenwerkzeugs, welches sowohl zur Inputdaten- als auch zur Outputdatenanalyse verwendet werden kann. Dieses soll sowohl zur Analyse und Verwaltung von Eingangsdaten als auch für Ergebnisdaten genutzt werden können. Im Fokus stehen Methoden der Datenbeschaffung, Datenanalyse und der Datenaufbereitung sowie statistische Analysen (vgl. (Wenzel, 2012); (Bogon et al., 2012)). Im Projekt AssistSim wurde ein Prototyp erstellt, dessen Mehrwert die Planungsassistenz für Simulationsanwender ist. Der Anwender konfiguriert relevante Untersuchungsziele und Messgrößen und enthält dafür vorkonfigurierte Elemente zur Verfügung gestellt (vgl. (Land Hessen, 2011)). Der Zusammenhang zwischen den beiden Forschungsprojekten ist in Abbildung 7 dargestellt (Bogon et al., 2012):

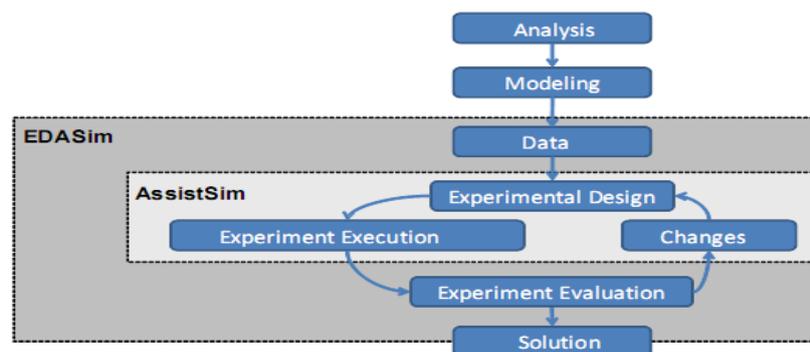


Abbildung 7: Forschungsfokus der Projekte EDASim und AssistSim (Bogon et al., 2012)

Ein Forschungsprojekt der Technischen Universität Ilmenau beschäftigt sich mit der automatischen Generierung von Simulationsmodellen für Produktionssysteme. Dieses Forschungsprojekt verfolgt das Ziel, ein Rahmenwerk zur Integration bzw. Automatisierung der Simulation zu entwickeln (vgl. (Bergmann, 2013), S. 3).

Der Forschungsbereich zur Optimierung der Versuchsplanung von Simulationsstudien beschäftigt sich mit der Verbesserung von Verfahren zur Definition von Parameterkonstellationen und der Ermittlung der optimalen Parameterkonstellation. Betrachtet werden beispiels-

¹¹ Das Forschungsprojekt AssistSim ist eine Kooperation verschiedener Unternehmen, der Goethe-Universität Frankfurt, der Universität Kassel sowie des Verbandes der Automobilindustrie (VDA). Das Projekt wurde im April 2011 abgeschlossen (vgl. (Land Hessen, 2011)).

¹² Das Forschungsprojekt EDASim ist eine Kooperation verschiedener Unternehmen und der Universität Kassel. Das Projekt wurde im Juli 2012 abgeschlossen (vgl. (Wenzel, 2012)).

weise die Verfahren des Simulated Annealing und genetische Algorithmen (Küll und Stähly, 1999), S. 7 und (Confessore et al., 2007), S. 100). Das Simulated Annealing ist ein heuristisches Verfahren, bei dem zur Ermittlung von Annäherungslösungen komplexer Fragestellungen mathematische (stochastische und statistische) Algorithmen verwendet werden (vgl. (Knauer, 2002), 88 ff.; (Confessore et al., 2007), S. 100). Die Forschung im Simulated Annealing wird im Zusammenhang mit den für diese Arbeit relevanten Fragestellungen nicht weiter betrachtet, da die untersuchten Lösungsansätze grundsätzlich voneinander verschieden sind.

Ein weiterer Bereich der Forschung im Zusammenhang mit der Optimierung von Simulationsstudien bzw. von Phasen im Simulationsprozess widmet sich der Wiederverwendung von Simulationsmodellen. VOSS betrachtet in diesem Zusammenhang deren Wiederverwendung bei der Produktentwicklung im domänenübergreifenden Umfeld (vgl. (Voss, 2012)). Der Nutzen dieses Ansatzes besteht darin, den bei der Modellerstellung entstandenen Aufwand durch Wiederverwendung der Modelle so bald wie möglich zu amortisieren bzw. durch Wiederverwendung bestehender Modelle diesen Aufwand zu minimieren. Der skizzierte Lösungsansatz beruht darauf, dass ein sowohl domänen- als auch simulationswerkzeugübergreifendes Metamodell entwickelt wurde.

2.3.2 Stand der Forschung zum Data Warehousing

Im Themenkreis der BI bezieht sich die Ausarbeitung von GEHRA auf die Fragestellung der Nutzung von Daten aus DWH-Systemen für den Aufbau von Frühwarn- und Früherkennungssystemen (vgl. (Gehra, 2005), S. VII). GEHRA geht davon aus, dass sich die Nutzung dieser DWH-Daten für Unternehmen als Wettbewerbsvorteil entwickeln kann. Dabei bezeichnet er angelehnt an KRYSTEK den Vorgang der Früherkennung als *„alle systematisch erfolgten Handlungen der Wahrnehmung, Sammlung, Auswertung und Weiterleitung von Informationen über latente (d.h. verdeckte) bereits vorhandene Chancen und Risiken in einem frühen Stadium, so dass noch ausreichend Zeit zur Durchführung geeigneter Strategien und Maßnahmen zur Nutzung signalisierter Chancen und zur Abwehr gezeigter Risiken verbleibt.“* (vgl. (Krystek, 1990), S. 68, zitiert von (Gehra, 2005), S. 23 f.). Die Methoden der Sammlung, Auswertung und Weiterleitung von Informationen führen unmittelbar zur Business Intelligence. In den Ausführungen von GEHRA (vgl. (Gehra, 2005), S. 24 f., S. 113) wird deutlich, dass sich die Forderung nach einer Identifikation von Chancen und Risiken in der Praxis als schwierig darstellt. Sein Vorschlag ist daher, Techniken der Business Intelligence zur Unterstützung im Früherkennungsprozess einzusetzen. Neben der Früherkennung von Chancen und Risiken beschreibt er auch die Weiterleitung der identifizierten Erkenntnisse in Präsentationssystemen und Portalen. Seine Ausführungen betrachten jedoch nicht die Verwendung dieser Daten beispielsweise in Simulationsstudien. Problematisch bleibt

beim Forschungsansatz von GEHRA die Möglichkeit zur weitergehenden Verwendung der Informationen bzw. Erkenntnisse zur Optimierung des zugrundeliegenden (d. h. die Daten liefernden) Prozesses.

Sowohl BANGE ET AL. (vgl. (Bange et al., 2009), S. 69) als auch REICHMANN (vgl. (Reichmann, 2011), S. 20, S. 31) beschreiben die Vision eines Frühwarnsystems in Form eines ‚**Controlling-Cockpits**‘. Es handelt sich dabei um die Kombination von Konzepten des Data Warehousing, des Controlling sowie der Simulation. Steuerungsrelevante Informationen werden Entscheidungsträgern *„[...] mittels eines Controlling-Cockpits übersichtlich, konzentriert und unter Berücksichtigung vorhandener Interdependenzen zur Verfügung [gestellt].“* ((Reichmann, 2011), S. 20). Die Basis bilden die im Data Warehouse hinterlegten Data Marts, aus denen Kennzahlen in Form von zentralen Unternehmenskennzahlen gebildet werden. Diese werden orientiert an Controllingstrategien bewertet und für die zukünftige Planung in die Zukunft projiziert und somit deren tendenzielle Entwicklung simuliert. Festgelegte Wertekorridore ermöglichen dann die Abbildung einer Ampelsteuerung zur schnellen Identifikation kritischer Werte und des daraus resultierenden Handlungsbedarfs (vgl. (Reichmann, 2011), S. 20).

Einen Ansatz zur Kombination der Themenbereiche der Business Intelligence und der Simulation stellen SABBOUR ET AL. vor. Gegenstand der Forschung ist die Fragestellung, wie die Verwendung von Visualisierung durch Simulation in Kombination mit BI die strategische Entscheidungsfindung im Unternehmensmanagement unterstützen kann (vgl. (Sabbour et al., 2012), S. 1).

2.3.3 Einordnung der Forschungsansätze

In den vorangegangenen Unterabschnitten wurden Forschungsansätze beschrieben, bei denen ein Zusammenhang mit dem Forschungsgegenstand dieser Arbeit zu erkennen ist. Für den Themenbereich der Simulation ist dies zum einen der Aspekt der Werkzeugunterstützung bei der Input- und Outputdatenanalyse und -verwaltung sowie bei der Modellbildung. Zum anderen werden Aspekte der Modellwiederverwendung betrachtet. Im Themenbereich des Data Warehousing sind Gesichtspunkte zur Nutzung von BI-Werkzeugen als Frühwarnsysteme Gegenstand der Forschung.

Die Einordnung der beschriebenen Forschungsansätze und deren Abgrenzung zu dem in dieser Arbeit beschriebenen Ansatz sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Abbildung basiert auf den in Abbildung 6 dargestellten Problemstellungen (PI – PIII). Die beschriebenen Forschungsansätze werden zu diesen Problemstellungen zugeordnet. Durch die Einordnung des Forschungsansatzes dieser Arbeit wird verdeutlicht, wie die Abgrenzung zu verstehen ist:

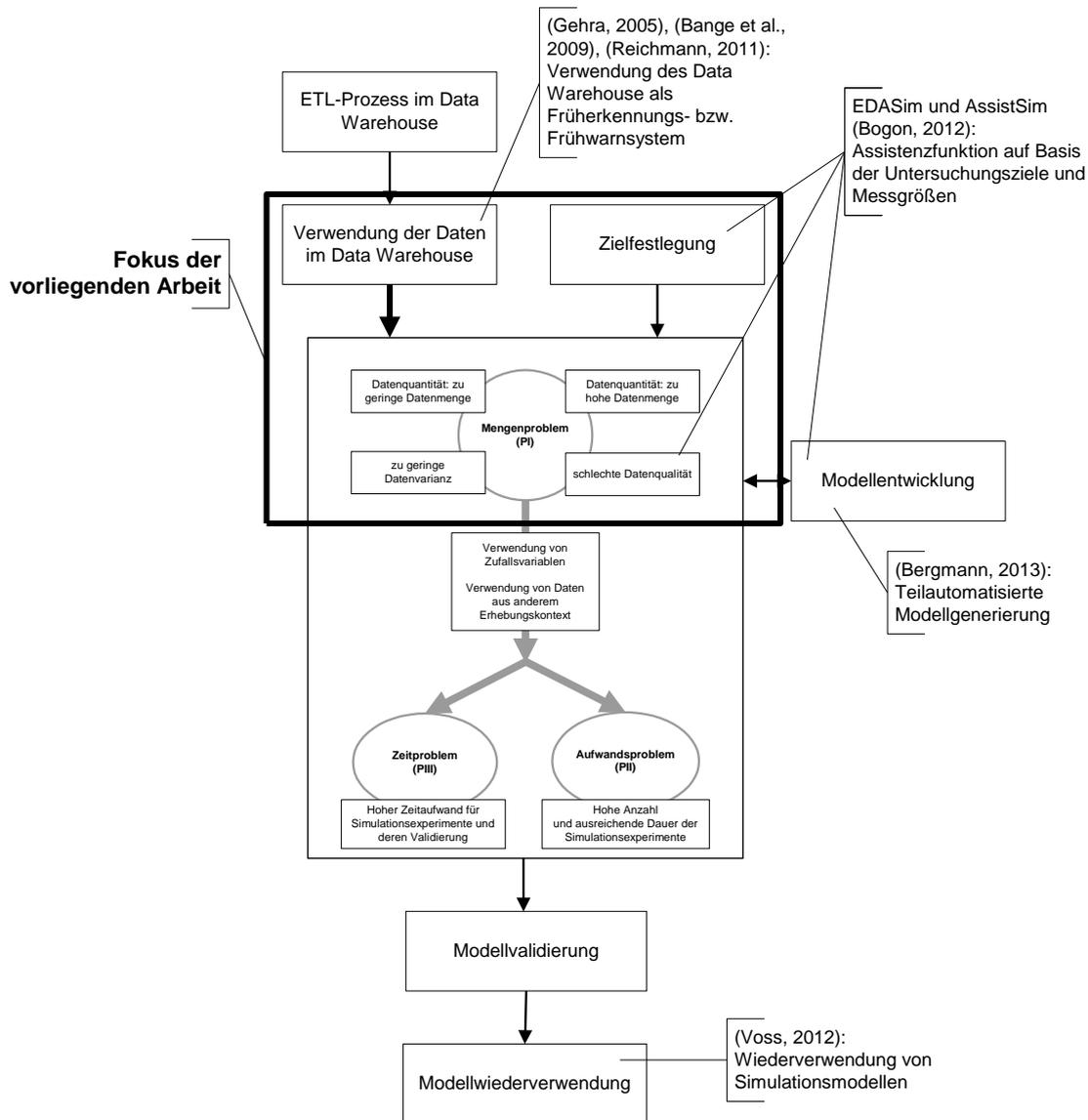


Abbildung 8: Einordnung der Forschungsansätze (eigene Darstellung)

Aus der Darstellung wird deutlich, dass die skizzierten Ansätze sich nicht oder nur zum Teil mit den in Abbildung 6 dargestellten Problemfeldern und deren Ursachen in ihrer Gesamtheit beschäftigen, es werden jeweils Teilaspekte fokussiert. Das Forschungsprojekt EDASim weist auch aufgrund der Prozesseinordnung (siehe Abbildung 7) eine relativ hohe Überschneidung auf. Der Fokus dieser Arbeit (fett dargestellt in Abbildung 8) liegt auf der Spezialisierung auf die Nutzenaspekte multidimensionaler Datenmodelle an der Schnittstelle der Themenbereiche Simulation und Data Warehousing. Generell bewegen sich die Forschungen jeweils nur in einem der Themenbereiche (Simulation bzw. Data Warehousing). Der Forschungsgegenstand dieser Arbeit richtet sich darauf, einen Mehrwert durch die Verbindung der Themenbereiche zu erzeugen. Damit fällt er unter die interdisziplinäre Forschung, welche Kernbestandteil der Wirtschaftsinformatik ist (vgl. (Becker et al., 1997), S. 2); (Hollstein et al., 2012)). HOLLSTEIN ET AL. stellen ebenfalls die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Wirt-

schaftsinformatik mit den Ingenieurwissenschaften in den Vordergrund, wie er auch in dieser Arbeit verfolgt wird (siehe Unterabschnitt 1.4.1). Mit der Erkenntnis, dass mit dem Forschungsgegenstand dieser Arbeit der Entwurf eines Konzeptes an der Schnittstelle zwischen Simulation und Data Warehousing betrachtet wird, lässt sich erklären, warum die beschriebenen Aspekte der beiden Einzeldisziplinen nicht umfassend übertragbar sind.

3 Theoretische Aspekte

Die Erläuterungen relevanter theoretischer Aspekte, auf die sich die Arbeit bezieht, erfüllen zwei Aufgaben. Zuerst erfolgt ausgehend von dem in Abschnitt 1.2 definierten Rahmen (siehe Abbildung 1) eine Erläuterung der wesentlichen relevanten Themen zu diesen Bereichen. Damit werden die theoretischen Grundlagen für das Verständnis der Arbeit gelegt (Abschnitte 3.1 bis 3.4). Des Weiteren dienen diese Abschnitte zur Einführung und Erläuterung diverser Begriffe und Zusammenhänge, deren Kenntnis für die Herleitung des Handlungsbedarfs und des Handlungspotenzials notwendig ist. Für die Bildung der Artefakte dieser Arbeit, insbesondere für die Identifikation der relevanten Aspekte und Elemente des Ordnungskatalogs (siehe Abschnitte 5.3 und 5.6) sind diese Ausführungen die Grundlage und dienen dem Verständnis für den Inhalt und die Struktur der Konzeptkomponenten. Daher ist die ausführliche Betrachtung der theoretischen Aspekte eine unerlässliche Voraussetzung.

3.1 Relevante Aspekte der Wirtschaftsinformatik

In diesem Abschnitt werden einige wenige grundlegende Konzepte erläutert, die in beiden betrachteten Themenbereichen (Simulation und Data Warehousing) Anwendung finden.

3.1.1 Systeme und Modelle

Innerhalb der Wirtschaftsinformatik werden in der Systemtheorie die Begriffe System und Modell detailliert untersucht. Grundlage der Problembearbeitung und -lösung in beiden Themenbereichen (Simulation und Data Warehousing) sind Modelle (vgl. (Corsten et al., 2005), S. 225; (Bange et al., 2009), S. 173). Basis der Modellierung ist ein **System**. Die Definition von GAL enthält alle wesentlichen Aspekte des Systembegriffs: *„Ein System ist eine endliche Menge von Elementen einschließlich der Beziehungen zwischen den Elementen und ihren Eigenschaften. Ein System kann ein physikalisches, abstraktes, ökonomisches o. ä. System sein.“* ((Gal, 1973), S. 19 f.). Die Menge der Elemente ist definiert als nicht weiter zu zerlegende Bestandteile eines Systems (vgl. (Biethahn et al., 2004), S. 142), für deren Beschreibung **Attribute** dienen. Sie finden ihren Ursprung in der Datenmodellierung, welche sich mit der Beschreibung der Struktur einer Datenbasis von Informationssystemen beschäftigt (vgl. (Ferstl und Sinz, 2001), S. 125). Der Begriff des Informationssystems bzw. informationstechnologischen Systems dient als Oberbegriff für die in Abbildung 1 aufgeführten Systeme. In der Datenmodellierung dieser drei Systemwelten sind Datenobjekttypen und die ihnen zugeordneten Attribute Gegenstand der Betrachtung. Eine Menge von möglichen Ausprägungen eines Attributs wird als Domäne des betreffenden Attributs bzw. seiner Attributwerte bezeichnet. Die Menge aller Beziehungen (häufig auch als Relationen bezeichnet) in ei-

nem System bilden dessen Struktur (vgl. (Klein und Scholl, 2011), S. 31; (Heinen, 1991), S. 350 und (Biethahn et al., 2004), S. 142).

Der Begriff des **Modells** beschreibt eine Repräsentation eines (häufig) vereinfacht abgebildeten bzw. modellierten Systems inkl. der im System vorhandenen Prozesse. Erforderliche Vereinfachungen gegenüber dem modellierten System werden durch Abstraktion und Vernachlässigung unwichtiger Aspekte erreicht und müssen sich innerhalb einer zum Untersuchungsziel angemessenen Toleranz bewegen. Innerhalb der Wirtschaftsinformatik wird das Ergebnis einer Abbildung eines Systems auf ein Modell teilweise auch als konzeptionelles Modell bezeichnet, beispielsweise in der Datenmodellierung oder beim Entwurf von Informationsmodellen (vgl. (Kühn, 2006), S. 412; (Klein und Scholl, 2011), S. 32; (VDI, 2010), S. 3; (Hansen, 1998), S. 470 und 943 f.).

Um die Differenzierung des für diese Arbeit gewählten Begriffes Konzept gegenüber den Begriffen System, Modell, Referenz- und Metamodell zu verdeutlichen, wird die von KLINGER UND WENZEL¹³ dargestellte Abgrenzung übernommen. In vereinfachter Form dargestellt, die für die Ausführungen dieser Arbeit als ausreichend anzusehen ist, erfüllen Referenzmodelle demnach eine semantische und Metamodelle eine syntaktische Aufgabe. **Referenzmodelle** dienen dazu, semantische Gemeinsamkeiten zwischen Modellen zu beschreiben und als Basis bzw. Vorlage für zukünftige Abbildungen zu dienen. **Metamodelle** liefern für die Abbildung notwendige einheitliche Syntaxregeln und Abbildungskonventionen (vgl. (Klinger und Wenzel, 2000), S. 13 f.).

Der Begriff des **Konzeptes** bzw. der Konzeption kann grundsätzlich als gedanklicher Entwurf eines Werkes sowie klar umrissene Grundvorstellung verstanden werden (vgl. (Duden, 2002), S. 291). Konzepte stellen in der Informatik und Wirtschaftsinformatik einen gegenüber den diversen Modellarten abweichenden Blickwinkel dar. Konzepte können sowohl die Modellierung, bestimmte theoretische Aspekte, Sprachen (im Sinne der IT), generische Aspekte oder auch applikationsspezifische Themen zum Gegenstand haben (vgl. (Klinger und Wenzel, 2000), S. 25).

Für die **Systemanalyse** stehen prinzipiell mehrere Verfahren zur Verfügung. Da die beiden Verfahren der Top-Down-Analyse sowie der Bottom-Up-Analyse im weiteren Verlauf der Ausführungen relevant sind, werden sie kurz erläutert. Beide Verfahren werden dazu genutzt, die Komplexität der betrachteten Systeme zu reduzieren. Bei der Top-Down-Analyse wird auf der obersten Ebene des Systems mit der Auflösung in einzelne Elemente (beispielsweise in Prozesse, Komponenten oder Akteure) begonnen, sie folgt daher der Maxime: [Detaillierung

¹³ KLINGER UND WENZEL zitieren SCHÜTTE: Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung – Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Dissertation. Gabler. 1998.

ausgehend vom Ganzen (Differenzierung)]. Bei der Bottom-Up-Analyse beginnt die Identifikation einzelner Elemente auf der feinsten zu identifizierenden Ebene, sie folgt daher der Maxime: [vom Detail ausgehend das Ganze schrittweise synthetisierend (Integration)]. Wiederum in beiden Verfahren werden die Mechanismen der Reduktion (Verzicht auf unwichtige Einzelheiten) und der Idealisierung (Vereinfachung unverzichtbarer Einzelheiten) eingesetzt (vgl. (VDI, 2010), S. 26).

In der VDI Richtlinie 3633 werden die beiden Vorgehensweisen der Bottom-Up-Analyse sowie der Top-Down-Analyse gegenübergestellt (vgl. (VDI, 2010), S. 26). Die Ausführungen beziehen sich in der VDI Richtlinie allerdings auf die Systemanalyse im Zusammenhang mit der Simulation. Für die Relevanz der Vorgehensweisen in dieser Arbeit müssen sie daher verallgemeinert werden. Die verallgemeinerte Gegenüberstellung ist in Tabelle 3 aufgeführt (vgl. (VDI, 2010), S. 26).

Aspekt	Top-Down-Analyse	Bottom-Up-Analyse
Maxime	Detaillierung ausgehend vom Ganzen (Differenzierung)	Vom Detail ausgehend das Ganze schrittweise synthetisierend (Integration)
Vorteile	Sichere Erkennung relevanter Aspekte durch ganzheitlichen Ansatz; Schnelles Verständnis der Gesamtzusammenhänge durch strukturiertes Vorgehen;	Einfaches des notwendigen Systemsverständnisses durch Reduktion der Komplexität;
Nachteile	Hohe Anforderungen an das Abstraktionsvermögen; Potenzieller Mehraufwand bei der Systemanalyse durch zu weit gefasste Systemgrenzen;	Erkennung der Gesamtzusammenhänge schwierig; Hoher Verständnisaufwand bei Analyse komplexer Systeme; Zusammenfassung von Teilaspekten (im Einzelfall) schwierig;

Tabelle 3: Gegenüberstellung Top-Down- und Bottom-Up-Analyse

Für die Erstellung des in dieser Arbeit verfolgten Lösungsansatzes und des daraus resultierenden Konzeptes werden beide Vorgehensweisen in Kombination angewendet, um die jeweils bestehenden Nachteile zu kompensieren.

3.1.2 Abstraktion und Aggregation

Im Bereich der Simulationsstudien ist die Einordnung von Elementen der Simulation in Abstraktionsgrade bzw. Aggregationsebenen bisher in der Literatur sowohl zur Simulationstheorie als auch zur Simulationspraxis nicht klar nachvollziehbar. In zahlreichen Praxisberich-

ten¹⁴ werden konkrete Einzelverwendungen zur Nutzung der Simulation erläutert, ohne jedoch eine einheitliche Systematik für die verwendete Abstraktion und Aggregation zu referenzieren. Eine Systematisierung ist jedoch als Voraussetzung für die Verknüpfung mit den Konzepten des Data Warehousing notwendig. Die bei der Übertragung der Daten vom operativen System in das Data Warehouse bzw. in das Simulationssystem verwendeten Abstraktions- und Aggregationsprozesse beinhalten vergleichbare Aufgabenstellungen.

Abstraktion

Unter dem Vorgang der Abstraktion können die folgenden Strategien zusammengefasst werden: Reduzierung der Komplexität bei der Umsetzung eines Systems in ein Modell, Idealisierung oder Weglassen unwichtiger Details, Entnahme des Allgemeinen aus dem Besonderen (Verallgemeinerung), Loslösung vom Gegenständlichen, Ableitung des Wesentlichen vom Zufälligen (vgl. (Kühn, 2006), S. 405; (VDI, 2010), S. 25 f.). KÜHN definiert den Abstraktions- bzw. Detaillierungsgrad als das „[...] Maß für die Abbildungsgenauigkeit bzw. das Maß der Realitätstreue bei der Umsetzung eines Systems in ein Modell. (Je höher der Abstraktionsgrad, desto geringer ist der Aufwand für die Modellierung.)“ ((Kühn, 2006), S. 405). Der Begriff der Abstraktion beschreibt somit die Strukturebene. In der Simulation wird der Begriff häufig im Zusammenhang mit der Simulation elektronischer Schaltungen verwendet (vgl. (Rammig, 1984); (Ernst und Huss, 2011)). In diesem Bereich der Simulation werden Ebenen wie Modellebene, Programmierenebene, Logikebene und Schaltkreisebene verwendet. Im Data Warehousing umfasst die Unterteilung die Makro-, Meso- und Mikroebene. KEMPER ET AL. verwenden die Makro- und Mikroebene für die Definition eines Vorgehensmodells innerhalb der BI (vgl. (Kemper et al., 2006), S. 147 ff.). Die strukturellen Ebenen können, ergänzt um eine Mesoebene, auf die Abstraktion übertragen werden. Auf der **Mikroebene** werden einzelne Objekte der zu analysierenden Systeme und deren direkte Beziehungen zueinander betrachtet (z. B. Maschinen, Transporteinheiten, detaillierter Warenfluss). Der Fokus liegt auf den Details innerhalb des Systems (vgl. (Kühn, 2006), S. 412). Eines der häufig zu betrachtenden Szenarios für Simulationsstudien ist die Bewältigung der Reihenfolgenproblematik (scheduling bzw. general job shop problem) (vgl. (Kiran, 1998)). Typische betrachtete Fragestellungen sind beispielsweise auftragsbezogene Durchlaufzeiten, Fertigstellungszeitpunkte und Auftragsreihenfolgen auf Arbeitsplätzen/Maschinen. Der Abstraktionsgrad kann als gering bezeichnet werden und ist deshalb als Beispiel für die Mikroebene bzw. in Ausnahmen für die Mesoebene geeignet. Auf der **Mesoebene** werden organisatorische

¹⁴ Berichte für den Einsatz von Simulation auf unterschiedlichen Abstraktions- und Aggregationsebenen sind z. B. zu finden in: (Kühn und Rabe, 1998); (Banks, 1998); (Schmidt-2, 2012); (Bracht und Ostermann, 1999). Als weitere Quellen sind Tagungsbände von Simulationskonferenzen zu nennen, auf deren Einzelaufzählung wird an dieser Stelle verzichtet.

Einheiten und deren Beziehungen betrachtet (z. B. Lagerstrukturen, Transportsysteme). Auf der **Makroebene** können sowohl komplexere Subsysteme inklusive ihrer Interaktionen eingeordnet werden (z. B. Werksplanung, Warenflussplanung) als auch gesamte Systeme (von außen betrachtet) (vgl. (Kühn, 2006), S. 412).

Aggregation

Der Vorgang der Aggregation wird in der Chemie als der Vorgang bezeichnet, bei dem die Vereinigung von Molekülen zu Molekülverbindungen stattfindet (vgl. (Duden, 2002), S. 37). Übertragen auf die Betrachtungsgegenstände der Wirtschaftsinformatik findet bei der Aggregation eine Abbildung von linearen Beziehungen zwischen Objekten als eigenständige Objekte höherer Ordnung statt. Dabei werden diese anhand des Beziehungsgeflechts zusammengezogen bzw. gruppiert. Verwandt mit der Aggregation ist die Generalisierung, bei der Objekte, die einander ähnlich sind, als generische Objekte zusammengefasst werden (vgl. (Ferstl und Sinz, 2001), S. 139).

Da es sich bei der Aggregation im Gegensatz zur Abstraktion nicht um die Reduzierung von Komplexität handelt, sondern um einen Prozess der linearen bzw. mathematischen Zusammenfassung, wird dieser in der vorliegenden Arbeit für die Darstellung und Zusammenfassung von Daten anhand zeitlicher Einheiten verwendet. In der Betriebswirtschaftslehre erfolgt die zeitliche Unterteilung in die drei Betrachtungszeiträume **kurzfristig, mittelfristig und langfristig**. Die Übertragung auf konkrete Zeitspannen weicht dabei je nach Themenbereich ab. In der Unternehmensplanung werden die drei Betrachtungszeiträume mit den Ebenen der operativen, taktischen und strategischen Planung verbunden. Nach dem Top-down-Ansatz liefert die strategische, langfristige Planung über mehr als fünf Jahre die Rahmendaten für die taktische, mittelfristige Planung von drei bis fünf Jahren und diese wiederum ist Grundlage für die operative kurzfristige Planung für bis zu einem Jahr (vgl. (Heinen, 1991), S. 65; (Breuer und Breuer, 2014)). In der betriebswirtschaftlichen Produktionsplanung werden die Zeiträume in langfristig mit mehr als drei Jahren, mittelfristig mit Quartals- und Jahresfrist sowie kurzfristig mit unterjähriger Planung beschrieben (vgl. (Kistner und Steven, 2001), S. 12). In der Logistik werden die drei Zeiträume mit kürzeren Fristen definiert. Dort betrachtet die langfristige Zeitspanne Aktivitäten über mehr als ein Jahr, die mittelfristige Zeitspanne betrachtet Quartale und die kurzfristige Zeitspanne bezieht sich auf einzelne Monate (vgl. (Winkels, 2001), S. 30 ff.). Die Definition der unterschiedlichen Zeitspannen für die gleichen Fristen zeigt, dass die Verwendung in unterschiedlichen Szenarios möglich ist. Daher wird diese Einteilung in kurz-, mittel- und langfristige Betrachtungszeiträume auf die Aggregationsebenen übertragen und dient als Basis für die Individualisierung abhängig vom konkreten Szenario.

In den Prozessen der Datenintegration (siehe Unterabschnitt 3.3.2) dient die Aggregation der Verdichtung von Daten und bezieht sich somit auf deren Granularität bzw. Summierung (z. B. über die Zeit). KEMPER UND FINGER sehen es als Ziel eines Aggregationsprozesses an, konsistente Dimensions- und Summierungsstrukturen zu erzeugen. Bei der Betrachtung der bei KEMPER UND FINGER genannten Beispiele ist allerdings keine klare Abgrenzung zwischen der für die in dieser Arbeit betrachteten Aufgabenstellung relevanten Aspekte der Aggregation und der Abstraktion zu erkennen (vgl. (Kemper und Finger, 2010), S. 170 f.). Daher wird dieser Zusammenhang für das Verständnis der Verwendung der Begriffe in dieser Arbeit nachfolgend erläutert.

Zusammenhang zwischen Abstraktion und Aggregation

Die Mechanismen der Abstraktion und Aggregation werden für die Einteilung in räumliche Strukturen (Abstraktion) sowie in zeitliche Strukturen (Aggregation) verwendet. Die Grenzen sowohl zwischen den Abstraktionsgraden als auch den Aggregationsebenen sind fließend und sollen auch nicht starr abgegrenzt werden. Zwei der in Abschnitt 3.2 erläuterten Anwendungsbereiche für die ereignisdiskrete Simulation in der Produktion, die Fabrik- und Produktionsplanung sowie die Fertigungssteuerung, verdeutlichen die unterschiedlichen möglichen Abstraktionsgrade und Aggregationsebenen (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 1; (Zell, 1992), S. IX).

Der Zusammenhang wird in der nachfolgenden Abbildung schematisch verdeutlicht.

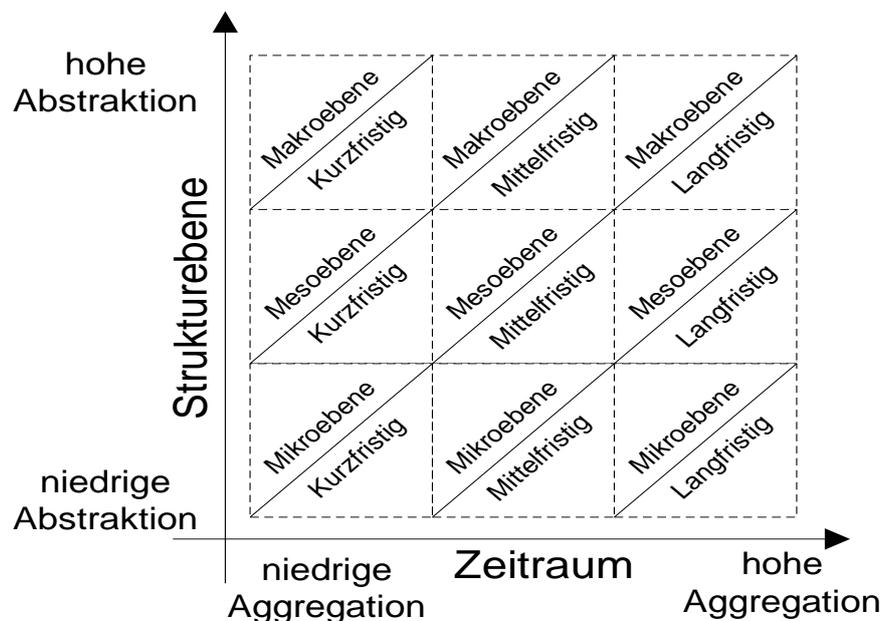


Abbildung 9: Abstraktion und Aggregation (eigene Darstellung)

3.1.3 Die Aspektorientierte Zerlegungsstrategie

In der Wirtschaftsinformatik stehen für die Zerlegung von Betrachtungsgegenständen verschiedene Strategien als Basis für die Modellierung betrieblicher Informationssysteme zur Verfügung¹⁵. Eine mögliche Variante ist die **Funktionale Zerlegung** (Funktionsorientiertes Paradigma), welche bei der Modellierung von Informationssystemen zum Einsatz kommt. Die Unterteilung eines Informationssystems erfolgt anhand seiner Funktionen, Teilfunktionen und Schnittstellen. In der Strukturierten Analyse¹⁶ wird häufig die **Datenflussorientierte Zerlegung** gewählt, bei der ein Informationssystem anhand seiner Datenflüsse, Aktivitäten, Datenspeicher sowie Umweltkontakte unterteilt wird. Während FERSTL UND SINZ eine Aufteilung in Funktionale und Datenflussorientierte Zerlegung vornehmen und die Strukturierte Analyse in letzterer einordnen, ordnet GOLL die Strukturierte Analyse in der Funktionsorientierung ein und differenziert (wie auch MCMENAMIN UND PALMER) zusätzlich die **Ereignisorientierte Zerlegung**. Bei dieser Zerlegungsstrategie erfolgt die Zerlegung eines Systems in Knoten, welche die Reaktion eines Systems auf (in der Systemumgebung) stattfindende Ereignisse definieren. Jeder dieser Knoten wird als essenzieller Prozess angesehen (vgl. (Goll, 2011), S. 192 ff. und 213 f.; (McMenamin und Palmer, 1988), S. 47 ff.).

In der Datenmodellierung bzw. der **Datenorientierten Zerlegung** (Datenorientiertes Paradigma) erfolgt die Zerlegung anhand von Datenobjekttypen, Attributen und deren Beziehungen zueinander. Eine bekannte Methode dieser Zerlegungsstrategie ist die Entity-Relationship-Modellierung¹⁷. In der Modellierung moderner Informationssysteme wird heute i. d. R. die **Objektorientierte Zerlegung** propagiert. Das zugrunde liegende objektorientierte Paradigma ist in der Softwareentwicklung etabliert und basiert auf dem Prinzip, dass in einem Informationssystem Objekttypen mit Attributen und Operatoren definiert und charakterisiert werden können. Gleichartige Objekte werden innerhalb dieser Objekttypen in Form von Klassen zentral abgebildet und beschrieben (vgl. (Zeppenfeld, 2004), S. 3). Im objektorientierten Paradigma basiert die Erzeugung von Objekten auf dem **Prinzip der Instanziierung**. Objekte werden als Instanzen der ihnen zugrunde liegenden Klassen gebildet und erhalten aufgrund dieses Prinzips alle Attribute und Operatoren, die der Klasse zugeordnet sind (vgl. (Zeppenfeld, 2004), S. 4 f.). In der Referenzmodellierung ist das Prinzip der Instanziierung ebenfalls zu finden. Dort dienen innerhalb des Metamodells definierte abstrakte

¹⁵ Die aufgeführten Strategien sind ausführlich beschrieben bei (Ferstl und Sinz, 2001), S. 124 ff; (Aßmann, 2011); (Aßmann, 2013); (Goll, 2011), S. 50 ff.; (McMenamin und Palmer, 1988).

¹⁶ Die Strukturierte Analyse dient als Methode zur Erstellung von Modellen für Anwendungen auf verschiedenen Granularitätsstufen. Diese werden in einem einheitlichen Modell beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung findet sich bei (Goll, 2011), S. 192 ff. sowie bei (McMenamin und Palmer, 1988).

¹⁷ Die Entity-Relationship-Modellierung wird ausführlich beschrieben bei (Goll, 2011), S. 258 ff.; (Ferstl und Sinz, 2001), S. 130 ff.; (Knorz, 1997), S. 676 ff.).

Platzhalter als Basis für die Instanziierung konkreter Modellteile. Als Vorteile der Modellierung unter Verwendung von Instanzen sind die Reduzierung der Komplexität sowie die Wiederverwendbarkeit der abstrakten Teile des Metamodells zu nennen (vgl. (Brocke und Budendick, 2004), S. 25, S. 32). In der **Geschäftsprozessorientierten Zerlegung** erfolgt die Unterteilung anhand der statischen Funktionssicht, Datensicht, Interaktionssicht und der Vorgangssicht. (vgl. (Ferstl und Sinz, 2001), S. 124 ff.). Die beschriebenen Zerlegungsstrategien beziehen sich auf die Zerlegung bzw. Modellierung von Informationssystemen in der Softwareentwicklung.

ABMANN (vgl. (Abmann, 2011); (Abmann, 2013)) ordnet den **Aspektorientierten Zerlegungsstrategien** (Aspektorientiertes Paradigma) die Dokument-Zerlegung, die Essentielle Zerlegung, die Architektonische Zerlegung, die Zerlegung von Softwarekomponenten Zerlegung (nach SIEDERSLEBEN) sowie die Plattformorientierte Zerlegung zu. Die Dokument-Zerlegung enthält die Aspekte der Struktur sowie des Layouts. In der Essentiellen Zerlegung findet eine Einordnung der Aspekte in die Perspektiven der essentiellen Aktivitäten, zu denen Datenstrukturen und ihre Speicher gehören, administrative Aktivitäten zur Prüfung von Daten und Infrastrukturaktivitäten zur Kommunikation und Anpassung an eine Plattform statt. In der Architektonischen Zerlegung erfolgt eine Unterteilung in die Aspekte der logischen Sicht, der Entwicklungssicht, der Prozesssicht sowie der physikalischen Sicht. Bei den beiden letztgenannten Zerlegungsstrategien (Softwarekomponenten- und Plattformorientiert) handelt es sich um Strategien, die Softwaresysteme anhand von technischen und entwicklungs-spezifischen Aspekten zerlegen (vgl. (Siedersleben, 2003), S. 5). Da diese Blickwinkel sich wiederum auf Informationssysteme im engeren Sinne beziehen, finden sie keine Berücksichtigung.

In der Softwaretechnik wird das **Paradigma der Aspektorientierten Programmierung** definiert als Erweiterung der Objektorientierung, da gleichartige (Software-) Leistungen, die in mehreren Geschäftsprozessen enthalten sind (wie z. B. die Protokollierung von Änderungen) als Aspekte betrachtet werden, die nach dem Single-Source-Prinzip¹⁸ zentral erstellt werden und allen Objekten zur Nutzung zur Verfügung stehen (vgl. (Goll, 2011), S. 50 f. und 886 ff.).

Für die Einordnung identifizierter Aspekte empfiehlt ABMANN die Verwendung eines Perspektivenmodells (vgl. (Abmann, 2013)). In einem solchen Modell werden Perspektiven definiert, die als Blickwinkel auf das System zu verstehen sind, welche sie beschreiben. Eines der bekanntesten Perspektivenmodelle ist die von KAPLAN und NORTON 1992 veröffentlichte Ba-

¹⁸ Das Single-Source-Prinzip fordert, dass nichts im System mehrfach angelegt werden darf (vgl. (Goll, 2011), S. 555).

lanced Scorecard (vgl. (Kemper et al., 2006), S. 116 ff.). Sie enthält vier Perspektiven zur Umsetzung einer Unternehmensstrategie mit den Blickwinkeln auf Finanzen, Geschäftsprozesse, Kunden und Entwicklung.

3.2 Aspekte der ereignisdiskreten Simulation

Der VDI definiert Simulation als „das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt.“ ((VDI, 2010), S. 3). Die Simulation wird als Methode häufig in das Forschungsgebiet des Operations Research eingeordnet (vgl. (Liebl, 1995), S. 5; (Küll und Stähly, 1999), S. 2; (Suhl und Mellouli, 2006), S. 8 ff., S. 17; (Domschke und Drexl, 2011), S. 225). Die Problemlösung mit Hilfe der Simulation dient dazu, ein vertieftes Verständnis für die zu analysierenden Systeme zu entwickeln und Prognosen über deren zukünftiges Verhalten zu gewinnen. Ein wesentlicher Qualitätsaspekt ist dabei die Modellgenauigkeit. Diese zeigt sich in der Güte der Abbildungstreue des Simulationsmodells gegenüber dem zugrundeliegenden System. Um eine hohe Modellgenauigkeit zu erhalten, muss das zu analysierende System möglichst gut im Hinblick auf unterschiedliche Ziele oder Zielbündel der Simulation abgebildet werden. Um verschiedene Ziele zu untersuchen, werden innerhalb der Methode häufig unterschiedliche Parameterkonstellationen geprüft (vgl. (Küll und Stähly, 1999), S. 2 f.). Als Lösungsmethoden innerhalb der Simulation dienen generell heuristische¹⁹ Verfahren in Form eines systematischen Probierens (vgl. (Koxholt, 1967), S. 23 f.; (Küll und Stähly, 1999), S. 7 und (Arnold und Furmans, 2007), S. 322).

3.2.1 Simulationsklassen, -sichten und Lebenszyklus

Innerhalb der Simulationstheorie werden drei Klassen unterschieden, mit denen jeweils Fragestellungen mit unterschiedlichen Eigenschaften betrachtet werden (vgl. (Domschke und Drexl, 2011), S. 226 f.; (Liebl, 1995), S. 55; (Witte, 1973), S. 25 f. und (Klein und Scholl, 2011), S. 285 f.):

¹⁹ Unter dem Begriff Heuristische Verfahren werden Methoden zur Lösungssuche zusammengefasst, die das Auffinden befriedigender Lösungen basierend auf definierten (Ausschluss-) Kriterien und begrenztem Wissen betreiben, ohne eine Garantie auf die Ermittlung der optimalen Lösung zu haben. Diese Verfahren können verwendet werden, wenn die Suche nach der optimalen Lösung (z. B. aus wirtschaftlichen Gründen oder aufgrund der Vielzahl möglicher Lösungen) nicht sinnvoll ist (vgl. (Heinen, 1991), S. 41 f. und S. 336).

Simulationsklasse	Eigenschaften der Fragestellungen
Monte-Carlo-Simulation (Monte-Carlo-Methode)	statisch, stochastisch, bekannte statistische Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Inputparameter, Unabhängigkeit aufeinander folgender Ereignisse und deren Parameter, künstliche Erzeugung von Stichproben für Zufallsvariablen
Ereignisdiskrete Simulation	dynamisch, stochastisch, Objekte ändern ihren Zustand zu bestimmten (diskreten) Zeitpunkten
Kontinuierliche Simulation	dynamisch, deterministisch, Objekte ändern ihren Zustand kontinuierlich mit der Zeit

Tabelle 4: Simulationsklassen und deren Eigenschaften

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit beschränken sich auf die ereignisdiskrete Simulation, der Begriff der Simulation wird also ab hier äquivalent zur diskreten Simulation bzw. Discrete Event Simulation verwendet. Innerhalb dieser Klasse werden wiederum mehrere Konzepte unterschieden, die den Auslöser des zu betrachtenden diskreten Ereignisses differenzieren (vgl. (Adelsberger und Bick, 2003), S. 12 ff.; (Page, 1991), S. 29 ff.; (VDI, 2010), S. 12):

- zeitgesteuert (fixed-increment time advance)
Diese Sicht bildet zeitliche Intervalle als konstante Schritte ab.
- die ereignisorientierte Sicht (event scheduling)
Diese Sicht auf die zeitdiskrete Simulation ist materialorientiert²⁰ und betrachtet Zustandsänderungen in Form von Ereignissen, die zu bestimmten Zeitpunkten stattfinden. Aktivitäten werden nicht simuliert.
- die transaktionsorientierte Sicht (transaction flow)
Bei dieser materialorientierten Sicht werden Zustandsänderungen an dynamischen Objekten, die in diesem Konzept als Transaktionen bezeichnet werden, ausgelöst, indem diese im Simulationsmodell die statischen Elemente (sogenannte Blöcke) durchlaufen. Ereignisse werden als Zusammentreffen von Transaktionen und Blöcken interpretiert.
- die prozessorientierte Sicht (process interaction)
In dieser maschinenorientierten²¹ Sichtweise werden die auf ein Objekt anzuwendenden Aktivitäten mit ihren Attributen als Gesamtprozess verstanden. Als Ergänzung zur ereignisorientierten Sicht können Prozesse unterbrochen und fortgeführt werden.

²⁰ Bei der materialorientierten Modellierung stehen die Materialflüsse und die Betrachtung der Wege der dynamischen Elemente zwischen den statischen Elementen des Simulationssystems im Vordergrund (vgl. (Page, 1991), S. 28 f.).

²¹ Bei der maschinenorientierten Modellierung stehen die Bearbeitungsvorgänge an den dynamischen Elementen bzw. auf den statischen Elementen im Zentrum der Betrachtung (vgl. (Page, 1991), S. 28 f.).

- die aktivitätsorientierte Sicht (activity-scanning)
Diese ebenfalls maschinenorientierte Sichtweise betrachtet Ereignisse basierend auf der Erfüllung von beliebig komplexen Bedingungen. Sie hat in der Simulationspraxis wenig Bedeutung.

Die VDI Richtlinie 3633 (vgl. (VDI, 2010), S. 5 ff.) beschreibt entlang des Lebenszyklus der für Simulationsstudien geeigneten Fragestellungen verschiedene Anwendungsszenarios für die ereignisdiskrete Simulation. In der **Planungsorientierten Anwendung** kommt sie in der Phase der Planung von (technischen) Systemen zum Einsatz. In der Planungsphase bietet sich die Möglichkeit, nicht real existierende Systeme zu untersuchen und bereits zu einem frühen Zeitpunkt zu verbessern. Es werden z.B. Aspekte wie Anlagendimensionierung, Durchsatz, Leistungsgrenzen usw. betrachtet. Eine genauere Spezifikation des Nutzens in der thematischen Domäne der Intralogistik bezieht sich auf den Anwendungsbereich der Fabrik- und Produktionsplanung. In der Planungsphase definieren KUHN UND RABE als relevante Aspekte etwa die Absicherung der Planung durch das Sammeln von Erfahrungen mit dem Simulationsmodell, die Überprüfung der Funktionalität und mögliche Korrekturen, die korrekte Dimensionierung von geplanten Anlagen durch Optimierung von Puffergrößen und Lagerbeständen, die Einsparung oder Vereinfachung von Systemelementen bzw. die Vermeidung der Überdimensionierung der Elemente, die Durchführung von Sensitivitätsanalysen sowie die Überprüfung von Anlagenspezifikationen (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 7).

In der **Realisierungsorientierten Anwendung** findet die ereignisdiskrete Simulation bei Systemen in deren Entstehungsprozess Verwendung. Hier können mit Hilfe der Simulation auf Eingriffe in das reale System verzichtet und Gestaltungsaspekte im Simulationssystem untersucht werden. Dazu gehören z. B. Untersuchungsaspekte wie Wirkungszusammenhänge, Validierung erwarteter Leistungsannahmen und Maßnahmen zur Prozessstabilisierung. In der thematischen Domäne der Intralogistik gehören zu den Realisierungsorientierten Anwendungen die Überprüfung von Konzepten zur Fabrik- und Produktionsplanung. Relevante Aspekte sind beispielsweise die Detaillierung von Steuerungsmechanismen, die Ausbildung von Personal anhand dargestellter Funktionen und Zusammenhänge, die Festlegung von Notfallstrategien bei Anlagenstörungen, Unterstützung bei der Durchführung von Anlagentests sowie die Verkürzung der Inbetriebnahmephase. Kosteneffekte lassen sich erzielen, wenn der Zeitraum zur Erreichung des optimalen Anlagendurchsatzes verkürzt werden kann (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 7; (Zell, 1992), S. IX).

In der **Betriebsorientierten Anwendung** findet die ereignisdiskrete Simulation bei existierenden Systemen in Betrieb Verwendung. In der Betriebsphase gehören dazu in der thematischen Domäne der Intralogistik insbesondere Elemente der Produktionsplanung und -steuerung wie die Mengen- und Terminplanung, die Prüfung alternativer Einplanungssze-

narios und der Verbesserung der Kapazitätsauslastung der Anlagen sowie das kontinuierliche Redesign der Produktionsanlagen (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 1; (Zell, 1992) S. IX; (Kühn, 2006), S. 90; (Knothe, 2000), S. 103). Die Ablösung eines existierenden Systems wird in die betriebsorientierten Anwendungsszenarios eingeordnet und deshalb nicht als separater Schritt im Lebenszyklus betrachtet.

3.2.2 Simulationsmodell und -elemente

In der ereignisdiskreten Simulation bildet das Simulationsmodell die Komponenten des Systems sowie seine Interaktionen in dynamischer Form und über einen festgelegten Zeitraum ab. Die Zeit ist die wesentliche unabhängige Variable. Andere Variablen der Simulation, wie z. B. ein Maschinenstatus, eine Anzahl von Teilen im Lager usw. sind funktional abhängig vom Zeitfaktor und somit abhängige Variablen (vgl. (Pritsker, 1998), S. 37). Die Dynamik wird durch auslösende Events (Ereignisse) erreicht, durch welche sich die Objekte bzw. Attribute von Objekten im Simulationsmodell zu diskreten Zeitpunkten innerhalb des Simulationszeitraums verändern (sogenannte Zustandsänderungen der Objekte). Die den Systemstatus verändernden Events wiederum werden durch entsprechende Aktivitäten im Modell getriggert. Aktivitäten sind zeitverbrauchende Vorgänge, die jeweils durch ein Anfangs- und ein Endereignis begrenzt sind. Objekte in einem Simulationsmodell können Entities (dynamische Objekte, die im Simulationsverlauf in der Quelle erzeugt, verändert und in der Senke wieder vernichtet werden), Variablen (von Entities unabhängige Größen) oder statistische Zähler sein. Zur Steuerung und Dokumentation der Abläufe innerhalb eines Simulationsmodells werden abgesehen von Nutzervariablen Systemstatusvariablen unterschieden. Neben dynamischen Objekten werden i. d. R. auch statische Objekte im Modell benötigt. Diese werden auch als Ressourcen bezeichnet. Sie werden durch Entities abgebildet, häufig simulieren sie eine Bearbeitung des dynamischen Objektes. Ressourcen können nur verwendet werden, wenn sie für das Entity frei zur Verfügung stehen. Diese Eigenschaft einer Ressource wird ebenfalls durch Aktivitäten zu definierten Events modifiziert. Steht eine Ressource nicht zur Verfügung oder soll im Simulationsmodell ein Zeitverzug dargestellt werden, erfolgt dies häufig über Prozess-Queues bzw. Warteschlangen. In diesen können dynamische Objekte gepuffert werden, um auf die weitere Bearbeitung oder den Durchlauf durch das Simulationssystem zu warten. Algorithmen zur Abarbeitung mehrerer Entities in einer Queue sind beispielsweise FIFO, LIFO²² oder die Auswahl über eine Zufallsvariable. Die beschriebenen Si-

²² Bei den Verfahren LIFO (Last in, First out) und FIFO (First in, First out) handelt es sich um zeitbezogene Prinzipien zur Verwendung von Beständen (Bestandsumschlag). Bei LIFO verlässt die Ware zuerst wieder den Bestand, die zuletzt vereinnahmt bzw. produziert wurde, bei FIFO wird die zuerst in den Bestand aufgenommene Ware diesen wieder verlassen (vgl. (Heinen, 1991), S. 1402). Bezogen auf die Elemente in einer Warteschlange gelten die gleichen Prinzipien bezogen auf das Element und seine Ankunftszeit in der Queue.

mulationselemente werden im Verlauf eines oder mehrerer Simulationsexperimente verwendet, bzw. die ihnen zugeordneten Attribute werden zum Zeitpunkt des auslösenden Events verändert. Attributwerte, die zum Start eines Simulationsexperiments gesetzt werden, werden häufig auch als Simulationsparameter bezeichnet (vgl. (Banks, 1998), S. 6 ff.; (Suhl und Mellouli, 2006), S. 275 und (Kühn, 2006), S. 405).

Mit Hilfe des in Anhang A: Der Simulationsprozess und Abschnitt 2.1 beschriebenen Simulationsprozesses können unterschiedliche Entscheidungsebenen im Rahmen der Unternehmensplanung adressiert werden. Auf der **strategischen Ebene** bzw. im Rahmen langfristiger Entscheidungen beinhaltet die Unternehmensplanung Fragestellungen der Konzeption von Investitionen und Prozessen. Sie bietet Unterstützung für Layoutanalyse, Systemplanung, Optimierung von Steuerungsalgorithmen, zur Dimensionierung von Kapazitäten sowie zur Planung und simulativen Vorstellung von Anlagen für Investitionen und für die Budgetplanung. Auf der **planerischen/taktischen Ebene** bzw. im Rahmen mittelfristiger Entscheidungen umfasst sie Fragestellungen der Produktions- und (Material-) Flussplanung. Planerische Aspekte wie die Terminierung von Ressourcen, Minimierung von Kapitalbindung oder Steigerung der Liefertermintreue. Auf der **operativen bzw. Steuerungsebene** im Tagesbetrieb treten Fragestellungen der konkreten Fertigungssteuerung in den Vordergrund. Dies sind z. B. die Losgrößenoptimierung, Auftragsreihenfolgenoptimierung, Ausnahmebehandlung, Reaktionen auf Ressourcenausfälle sowie in besonderen Fällen Unterstützung beim Mitarbeitertraining (vgl. (Witte et al., 1994), S. 213 ff.; (Gansor et al., 2010), S. 48).

3.3 Aspekte des Data Warehousing

Im nachfolgenden Abschnitt werden einige der für die Aufgabenstellung relevanten Aspekte der analytischen IT-Systeme und des Data Warehousing beschrieben und somit die Begriffe im Kontext der Themenstellung eingeführt.

3.3.1 Abgrenzung der Begriffe

Unter analytischen IT-Systemen werden Anwendungen verstanden, mit denen große Datenmengen verglichen und ausgewertet werden können. Analytische IT-Systeme sind beispielsweise Managementinformationssysteme, Systeme der Textanalyse (Text Mining) und der Datenanalyse (Data Mining), Ad-hoc-Reporting-Systeme sowie Systeme zur Unterstützung der Unternehmensplanung. Als Oberbegriff dieser Systeme und Tätigkeiten kann der Begriff der **Business Intelligence (BI)** angesehen werden (vgl. (Bange et al., 2009), S. 7). Dieser wird gegenüber dem Begriff des Data Warehouse (DWH) folgendermaßen abgegrenzt. Bei BI handelt es sich zum einen um eine Ausweitung des Themas Data Warehousing um Aspekte der Integration – neben Datenintegration werden auch Strategien, Prozesse, Anwendungen und

Technologien integriert. Zum anderen werden die Aspekte der Analyse erweitert. Neben der Analyse der Daten wird die Erzeugung von Wissen über Status, Potenziale und Perspektiven ergänzt. Insbesondere gehören zur BI die stärkere betriebswirtschaftliche Ausrichtung sowie die Ausweitung auf Themen der Entscheidungsunterstützung zur Steuerung auf operativer, taktischer und strategischer Ebene. Im Prozess der Entscheidungsunterstützung unterstützt die BI daher sowohl die Beherrschung der Komplexität als auch die Bereitstellung von Instrumenten wie multidimensionale Analysen, Dashboards und Reportingwerkzeuge zur Bearbeitung von konkreten Szenarios (vgl. (Klein und Scholl, 2011), S. 26 f.; (Bange et al., 2009), S. 13 f. und (Winter, 2010), S. 91). Aus dem Blickwinkel der Business Intelligence können Data-Warehouse-Konzepte im Gegenzug als Teilgebiet bzw. Basis angesehen werden.

Unter dem Begriff des **Data Warehousing** wird die Integration verschiedenster Datenquellen unter thematischen, strukturellen und zeitbezogenen Aspekten und somit fokussiert auf Umsetzungsaspekte verstanden. Ein Data Warehouse bietet eine persistente und eindeutige Datenquelle an, den ‚Single point of Truth‘ (vgl. (Winter, 2010), S. 91).

Innerhalb des Data Warehousing werden die Methoden zur Datenanalyse i. d. R. unter dem Oberbegriff des **Online Analytical Processing (OLAP)** zusammengefasst. Im Unterschied zum Online Transactional Processing (OLTP), welches sich auf die transaktionsorientierte Einzeldatenverarbeitung konzentriert, beschreiben die OLAP-Methoden Verfahren zur Bearbeitung von größeren Datenmengen mit multidimensionalen Bezügen. Zur Abgrenzung der beiden Datenverarbeitungsverfahren (OLTP und OLAP) dient die nachfolgende Tabelle (Gegenüberstellung basierend auf (Bange et al., 2009), S. 10 f.; (Leser und Naumann, 2007), S. 374 und (Kemper et al., 2006), S. 14; (Marx Gómez et al., 2006), S. 4 ff.):

Kriterium	Transaktional (OLTP) (Operative Daten)	Analytisch (OLAP) (Dispositive Daten)
Anfragenfokus	Lesen, Schreiben, Modifizieren, Löschen	Lesen, periodisches Hinzufügen
Transaktionsdauer und -typ	Kurze Lese-/Schreibtransaktionen	Lange Lesetransaktionen
Anfragestruktur	Einfach strukturiert	Komplex
Anfragedatenvolumen	Wenige Datensätze	Viele Datensätze
Datenmodell	Anfrageflexibel	Analysebezogen
Datenquellen, Datenherkunft	Meist eine, die Daten werden in diesem System erzeugt	Datenintegration aus mehreren Quellen
Eigenschaften	Nicht abgeleitet, zeitaktuell, autonom, dynamisch, evtl. redundant, inkonsistent	Abgeleitet, konsolidiert, historisiert, integriert, stabil, konsistent, kontrollierte Redundanz
Datenvolumen	Megabyte – Gigabyte	Gigabyte – Terabyte

Zugriffe	Einzel tupelzugriff	Bereichsanfragen
Anwenderzahl	Sehr viele	Wenige (bis einige Hundert)
Antwortzeit	Millisekunde – Sekunde	Sekunde – Minute
Art der Daten	Aktuelle Rohdaten, detailliert und granular	Abgeleitete und historische Daten, verdichtet, transformiert, zusätzlich viele Metadaten
Änderungsfrequenz	Dauernde Änderungen	Keine Änderungen, periodische Ergänzungen
Ziel	Abwicklung der Geschäftsprozesse	Informationen für das Management; Entscheidungsunterstützung
Zeitbezug	Zeitpunktbezogen	Unterschiedliche Aktualität, historische Betrachtung, Zeitraumbezogen

Tabelle 5: Abgrenzung OLTP- und OLAP-Systeme

Relevante Aspekte aus den Themengebieten Data Warehousing und Online Analytical Processing werden nachfolgend detaillierter beschrieben.

3.3.2 Das Data-Warehouse-Konzept

Die meist verbreitete Definition eines Data Warehouse stammt von INMON: „*A data warehouse is a subject oriented [fachorientiert], integrated [integrierte Datenbasis], non-volatile [nicht flüchtig / persistent], and time variant [mit Zeitbezug, historisiert] collection of data in support of management's decisions.*“ ((Inmon, 1996), zitiert von (Bange et al., 2009), S. 7). Eine wesentliche Eigenschaft eines Data Warehouse ist die Verarbeitung von Daten über die Zeit. Alle Daten haben einen Zeitbezug und sind über einen längeren Zeitraum gespeichert. Es ist i. d. R. in ein Data-Warehouse-System eingebettet, welches die Integration und Analyse aller notwendigen Komponenten umfasst. Dazu gehören Komponenten zur Datenbeschaffung und Analyse sowie die Datenbankbasis, die der Haltung des Datenbestands dient (vgl. (Bange et al., 2009), S. 8).

Innerhalb eines DWH-Systems lassen sich verschiedene Datenflüsse skizzieren (vgl. (Reichmann, 2011), S. 482):

- Inflow: Übernahme von Daten aus vorgelagerten Systemen;
- Upflow: Verdichtung, Strukturierung und Aufbereitung der Daten im DWH;
- Downflow: Datenverwaltung und -archivierung;
- Outflow: Verwendung der aufbereiteten Daten zur Auswertung (z. B. in BI-Werkzeugen);

- Metaflow: Verwaltung von Metainformationen über die im DWH enthaltenen Daten (z. B. Struktur, Herkunft, Transformation usw.).

BANGE ET AL. beschreiben neben technischen und wissenschaftlichen Anwendungsszenarios detaillierter die Informationsorientierte Anwendung von Data-Warehouse-Systemen. Im Zentrum der Ausführungen steht die Bereitstellung von Informationen, die im DWH enthalten sind, z. B. über Kennzahlenberichte und Webfrontends (vgl. (Bange et al., 2009), S. 16 f.). Als weiterer Anwendungsbereich kommen DWH in Analyseorientierten Anwendungen zum Einsatz. Ziel ist die Generierung neuer Informationen durch den Transformationsprozess. Hierbei kann es sich beispielsweise um die Klassifikation von Objekten in ABC/XYZ-Analysen handeln (vgl. (Bange et al., 2009), S. 18).

Die Verwendung von Data-Warehouse-Systemen in Planungsorientierten Anwendungen ist gekennzeichnet durch die Integration von Plangrößen in das System. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass die erfassten Soll- und Istdaten für den Planungsprozess unmittelbar zur Verfügung stehen. Ziel ist es, durch Data-Warehouse-basierte Planungssysteme die Top-Down und Bottom-Up verlaufenden Planungsprozesse zu verbessern. Diese Verbesserung kann sich ergeben, wenn planerische Daten ergänzend gespeichert werden können und wenn Abläufe im DWH-System direkt um Planungsprozesse erweitert werden (vgl. (Bange et al., 2009), S. 22 f.).

Eine spezielle Verwendung stellt die Nutzung eines Data-Warehouse-Systems im Sinne einer Kampagnenorientierten Anwendung dar. Der Einsatz in diesem Bereich bezieht sich nicht auf einzelne Aspekte oder Fragestellungen, sondern beinhaltet eine Kombination der bisher beschriebenen Anwendungsszenarios. Der bei BANGE ET AL. ausführlich beschriebene Einsatz von DWH-Systemen im Kampagnenmanagement, welcher sich sowohl auf informations-, planungs- als auch analyseorientierte Unterstützung erstreckt, findet im weiteren Verlauf dieser Arbeit keine Beachtung, da die ausgeführten Fragestellungen sich auf betriebswirtschaftliche bzw. speziell marketingorientierte Themen fokussieren (vgl. (Bange et al., 2009), S. 24 ff.). Wichtige Aspekte des Data-Warehouse-Konzeptes werden nachfolgend erläutert.

Der ETL-Prozess

Die Übertragung der Daten vom operativen System in das Data Warehouse wird unter Nutzung des ETL-Prozesses (Extraktion, Transformation, Laden) vorgenommen. Der Prozess der beschriebenen Datenflüsse in DWH, Inflow und Upflow wird durch diese Teilschritte abgebildet. Im Detail beinhalten die Schritte folgende Tätigkeiten (vgl. (Bauer und Günzel, 2013), S. 618 ff.; (Leser und Naumann, 2007), S. 382 ff.; (Marx Gómez et al., 2006), S. 10 f.).

- **Extraktion:** Damit ist die Selektion der Daten aus den operativen Datenquellen gemeint, um sie der nachfolgenden Transformation zur Verfügung zu stellen. Zielspeicher der Extraktion ist der Arbeitsbereich des Data Warehouse, die Staging Area;
- **Transformation:** Dieser Schritt beinhaltet die Anpassung der extrahierten Daten an vorgegebene Qualitäts- und Schemaanforderungen des Zielsystems. Dabei kann es sich beispielsweise um Umformung von Datumsangaben, Normierungen von Schreibweisen, Eliminierung von Redundanzen und die Integration von Daten aus mehreren Quellsystemen handeln. Außerdem können durch Rückgriff auf zentrale Definitionen Lücken (wie z. B. fehlende Bezeichnungen, Schlüsselfelder, Einheiten) in den Quelldaten geschlossen werden;
- **Laden:** Der letzte Schritt des Prozesses umfasst die Übernahme der transformierten Daten aus dem Arbeitsbereich (Staging Area) in die Basisdatenbank und von dort in das Data Warehouse.

In diesem Prozess werden verschiedene Speicherebenen unterschieden. Die Staging Area wird häufig noch nicht als Teil des Data Warehouse angesehen. Dieses beginnt auf der Ebene der bereits erwähnten Basisdatenbank, welche auch als Operational Data Store bezeichnet wird. Die Daten haben nach Durchführung des Extraktionsvorgangs in der Staging Area strukturell erst geringe Veränderungen erfahren und orientieren sich an den Quellsystemen. Die nächste Stufe der Transformation und Integration erfahren die Daten auf der Ebene des Operational Data Store. Von dort aus erfolgt die Speicherung häufig in Form sogenannter Data Marts, welche sich an den Aspekten der Analyse orientieren²³. Beim ‚Data Mart‘ handelt es sich nicht um eine physikalische, sondern um eine konzeptionelle Abbildung der Daten. Einzelne Data Marts bilden innerhalb des Data Warehouse themen- oder analyseorientierte Schwerpunkte ab. Mit dem Konzept der Data Marts werden verschiedene Ziele verfolgt. Es dient dazu, innerhalb eines Data Warehouse (unter dem Gesichtspunkt des Datenschutzes) Teilsichten zu realisieren und die Komplexität des Datenmodells und das Volumen der Daten zu verringern. Organisatorische Aspekte, z. B. bezogen auf eine gegebene Unternehmensstruktur und differenzierte Verantwortlichkeiten, können abgebildet werden. Aus Datenbanksicht entspricht die Bildung von Data Marts einer Verteilung des Datenbestands im Data Warehouse, sodass eine Lastverteilung bei Auswertungen erreicht werden kann (vgl. (Bange et al., 2009), S. 61 ff. und (Bauer und Günzel, 2013), S. 616 f.).

²³ Detaillierte Ausführungen zur Architektur von Data-Warehouse-Systemen unter Analyseaspekten sind beispielsweise bei (Sinz und Ende, 2010) zu finden.

Ziel des ETL-Prozesses ist die Erreichung und Sicherstellung der Datenqualität innerhalb des Data Warehouse. Mängel der Quellsysteme werden eliminiert, als Ergebnis stehen für die weitere Analyse homogene, integrierte und qualitativ hochwertige Daten²⁴ zur Verfügung. Die ursprünglich über (ggf. mehrere) heterogen strukturierte Quellen verteilten Daten werden im ETL-Prozess aufbereitet (vgl. (Leser und Naumann, 2007), S. 385).

Das multidimensionale Datenmodell

Aggregation und Abstraktion der Daten (siehe auch Abschnitt 3.1) sind integrativer Bestandteil des beschriebenen ETL-Prozesses. Die im operativen System, häufig in relationalen Datenbanken, abgebildete Speicherung der Daten in normalisierter Form wird innerhalb des ETL-Prozesses aufgegeben. Stattdessen erfolgt im Data Warehouse die Speicherung in multidimensionaler Form, denormalisiert²⁵ und nach definierten Regeln aggregiert in Form von Dimensionen und Fakten. Von multidimensionalen Datenstrukturen wird gesprochen, wenn mehrere Dimensionen die Charakteristika eines Faktums beschreiben. Innerhalb der Dimensionstypen können hierarchische, kategorische, nicht-hierarchische sowie Tupel-Dimensionen unterschieden werden (vgl. (Holthuis, 1997), S. 144 ff.). Innerhalb des multidimensionalen Datenmodells sind die häufigsten Speicherformen das Star-Schema sowie das Snowflake-Schema. Zur Visualisierung von Fakten und Dimensionen aus einem Data Warehouse wird i. d. R. ein BI-Werkzeug verwendet, welches beispielsweise in Form eines Webfrontends in der Lage ist, die Daten als aufbereitete Kennzahlen mit interaktiver Visualisierungsfunktionalität darzustellen. Auf die Themen der Abstraktion und Aggregation wird in Unterabschnitt 3.1.2 detailliert eingegangen.

Würfel, Dimensionen und Fakten

Elemente des multidimensionalen Datenmodells sind die bereits erwähnten Dimensionen und Fakten. Der Begriff der Dimension kann mit einer Analyse- bzw. Auswertungssicht auf die Daten verglichen werden. Dimensionen orientieren sich am Anwendungsszenario, in dem das Datenmodell zum Einsatz kommt. Die Elemente einer Dimension beschreiben die jeweilige Granularität der Analysesicht bzw. deren Verdichtungsstufen und unterliegen einer eindeutigen Struktur (vgl. (Bange et al., 2009), S. 109 ff. und (Bauer und Günzel, 2013), S. 617 f.;

²⁴ Ausführliche Informationen über die Anforderungen an Datenqualität beim Prozess der Datenintegration, Anforderungen an den Prozess sowie dessen Optimierung sind bei (Leser und Naumann, 2007), S. 317 ff.; (Apel und Behme, 2010) und (Kemper und Finger, 2010) zu finden.

²⁵ Das Prinzip der Normalisierung dient im Design relationaler Datenbanksysteme dazu, funktionale Abhängigkeiten und Redundanzen zwischen Datenelementen zu identifizieren und zu eliminieren. Je besser dies gelingt, desto höher ist der Grad der Normalisierung eines Datenschemas (vgl. (Hansen, 1998), S. 949 und (Ferstl und Sinz, 2001), S. 163ff.). Eine ausführliche Beschreibung der Normalformenlehre ist bei (Knorz, 1997) zu finden. Im multidimensionalen Modell wird das Prinzip der Normalisierung entschärft, da die Speicherung redundanter Daten zu Performance- und Aggregationszwecken sinnvoll ist. Der Vorgang wird als Denormalisierung bezeichnet.

(Marx Gómez et al., 2006), S. 13). Mit Hilfe der Dimensionselemente können die Eigenschaften der Fakten, d. h. einzelner Datenelemente, beschrieben werden. Häufig verwendete Analysesichten sind beispielsweise Raum und Zeit.

Das Konzept des Würfelschemas (konzeptionelle Ebene) bzw. des Würfels (Instanz eines Würfelschemas) bildet im multidimensionalen Datenmodell eine mehrdimensionale Matrix ab, wobei die Zellen eine oder mehrere Kenngrößen enthalten. Das Resultat aus Würfelachsen und Zellen wird als Datenquader bezeichnet (vgl. (Bauer und Günzel, 2013), S. 620). Dimensionen bilden über die verschiedenen Verdichtungsstufen häufig Hierarchien ab. Von einfachen Hierarchien wird gesprochen, wenn auf den einzelnen Ebenen ein Element zugeordnet ist, parallele Hierarchien können je Ebene mehrere Elemente enthalten (vgl. (Bange et al., 2009), S. 110 ff.). Orientiert an der Visualisierung der Zusammenhänge zwischen Dimensionen und Fakten stellen die Würfelzellen die anhand der Dimensionen klassifizierten Fakten dar. Jedes Faktum kann anhand von mehreren Dimensionen beschrieben und analysiert werden. Ein Beispiel für einen multidimensionalen Datenwürfel, der das Faktum Umsatz in Relation zu den parallelen Dimensionen Produkt, Zeit und Verkaufsort darstellt, ist in Abbildung 10 dargestellt ((Sattler et al., 2012), S. 23):

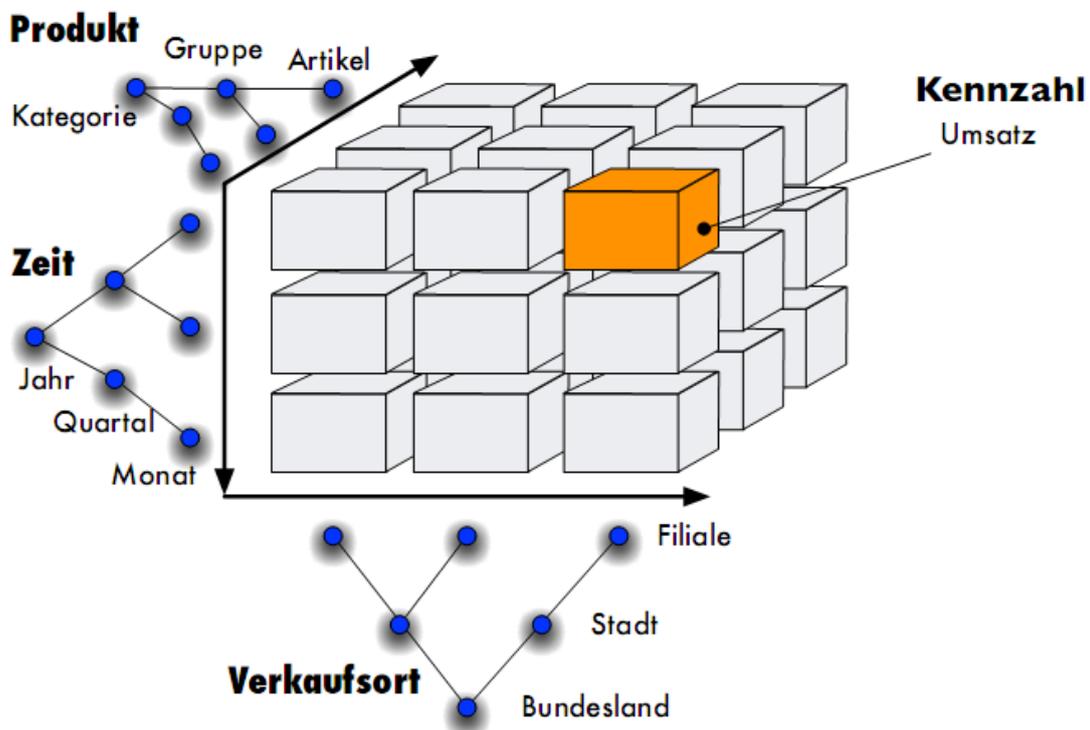


Abbildung 10: Multidimensionaler Datenwürfel (Sattler et al., 2012)

In der Intralogistik sind typische hierarchische Dimensionen die Zeit (z. B. Zeitpunkt eines Pickvorgangs, eines Transports oder einer Lieferung) und der Ort (z. B. Lagerort). Als kategoriale Dimensionen werden Artikel bzw. Artikelgruppen verwendet sowie nicht-

hierarchische Dimensionen wie Auftragsarten oder Arbeitsbereiche. Als relevante Fakten im Prozess werden häufig Mengen, Chargen, Ladehilfsmittel oder Aufträge betrachtet (vgl. (Walter, 2011)).

Star-Schema und Snowflake-Schema

Sowohl das Star-Schema als auch das Snowflake-Schema beschreiben, wie multidimensionale Datenmodelle in einer relationalen Datenbank gespeichert werden können (vgl. (Marx Gómez et al., 2006), S. 21 ff.). Der wesentliche Unterschied in beiden Konzepten liegt im Umgang mit Referenzen, den Fremdschlüsseln sowie im umgesetzten Grad der Normalisierung (vgl. (Bauer und Günzel, 2009), S. 214 ff.). Da es sich um Implementierungsdetails des Data Warehouse handelt, wird auf diese Themen nicht weiter eingegangen.

Metadaten im DWH-Konzept

Unter dem Begriff der Metadaten werden alle Informationen zusammengefasst, die Aufbau, Inhalt, Kontext und Bedeutung, Administration, Struktur im sowie die Informationsgewinnung aus dem Data Warehouse beschreiben. Zusätzlich sind ETL-prozessbezogene Informationen enthalten. Diese Metadaten liegen im DWH-System in maschinenlesbarer Form vor, sodass sie zur automatisierten Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen. Der vielfältige Metadatenbegriff macht es notwendig, ihn weiter zu differenzieren. BANGE ET AL. unterteilen die im Repository des Data Warehouse enthaltenen Metadaten in die Gruppe der technischen bzw. der geschäftlichen Metadaten. Innerhalb dieser beiden Gruppen erfolgt eine zusätzliche Unterteilung in operative Metadaten (Systeminformationen), Strukturmetadaten (Informationen zur Sicherheits-, Daten-, Schnittstellen- und Kommunikationsarchitektur des DWH), Prozessmetadaten (Implementierungsinformationen, Ausführungsreihenfolgeinformationen) und Begriffsmetadaten (Fachbegriffe, domänenspezifisches Wissen, Kontextinformationen) (vgl. (Bange et al., 2009), S. 72).

3.4 Aspekte der Intralogistik

Logistik als Teil der betriebswirtschaftlichen Prozesse wird im Allgemeinen als die Disziplin definiert, die sich mit den Material- und Informationsflüssen in und zwischen Unternehmen befasst. Sie umfasst damit alle Prozesse, die sich mit der Raumüberwindung und Zeitüberbrückung befassen. Diese allgemeine Definition beinhaltet somit sowohl Aspekte, die sich innerhalb eines Unternehmens abspielen als auch solche, die außerhalb, also auf der Straße, zu Wasser oder in der Luft stattfinden, häufig als Prozesse der Transport- oder Extralogistik bezeichnet (vgl. (Ferstl und Sinz, 2001), S. 75 ff.).

Eingegrenzt auf die betriebliche Logistik werden die Bereiche der Beschaffungs-, Produktions-, Distribution- und Entsorgungslogistik zusammengefasst (vgl. (Kurbel, 2005), S.

337 ff.). Sie umfasst alle Aktivitäten zur Planung, Steuerung und Kontrolle der Lagerhaltung, des Handlings und des Transportes logistischer Objekte und damit den gesamten Materialfluss (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Kaufteile, unfertige Erzeugnisse, Fertigerzeugnisse und Handelsware) innerhalb des Betriebes sowie zwischen Betrieb und Umwelt. In der Logistik werden häufig für einzelne Teilbereiche unterschieden. Die Aufgaben der Beschaffungslogistik umfassen die Bedarfsermittlung und Disposition, den Wareneingang, die Lagerhaltung, die Lagerverwaltung, den innerbetrieblichen Transport sowie die Planung, Steuerung und Kontrolle des Material- und Informationsflusses (vgl. (Schulte, 2013), S. 283). Innerhalb der Produktionslogistik sind neben den Querschnittsfunktionen Transport und Lagerung die Funktionen der Schaffung einer materialflussgerechten Fabrikstruktur, die Planung und Steuerung der Produktion sowie die interne Materialbereitstellung in Produktion und Montage angeordnet (vgl. (Schulte, 2013), S. 359). Die Distributionslogistik stellt die Verbindung zwischen interner Logistik und Warenverteilung zum Kunden dar. Sie beinhaltet als Funktionen die Lager- und Transporttätigkeiten zum Abnehmer inkl. der verbundenen Informations-, Steuerungs- und Kontrolltätigkeiten (vgl. (Schulte, 2013), S. 467). Als Konkretisierung der Produktionslogistik bezeichnet KÜHN diese als Teil der logistischen Kette zwischen der Beschaffungs- und der Distributionslogistik als Kernstück der Unternehmenslogistik (vgl. (Syska, 1990), S. 1; (Kühn, 2006), S. 412 und 414; (Reichmann, 2011), S. 357²⁶).

Der Begriff der **Intralogistik** innerhalb der Logistik wird zur Abgrenzung der innerbetrieblichen Warenflussprozesse gegenüber diesen externen Logistikprozessen verwendet. Damit umfasst dieser Begriff alle Tätigkeiten, welche im Zusammenhang mit innerbetrieblichen Warenbewegungen und den damit zusammenhängenden Arbeitsabläufen stehen (vgl. (VDMA, 2010)). Sie umfasst die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlages in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen. (vgl. (Arnold, 2006), S. 1).

Die Abwicklung der beschriebenen Einzelfunktionen bzw. Tätigkeiten im logistischen Prozess steht in engem Zusammenhang zum einen mit den Informationen, die zur Abwicklung benötigt werden und zum anderen mit den Informationen, die sich aus der Abwicklung und als Basis späterer Analysen und Optimierungen ergeben. Das Management der Prozesse und des Informationsflusses für beide Aspekte wird durch den Einsatz von Lagerverwaltungssystemen (LVS) unter Verwendung entsprechender IT-Systeme unterstützt (vgl. (Chamoni und Gluchowski, 2010), S. 6). Diese Softwaresysteme beinhalten ein Informationssystem und

²⁶ Dort angegebene Quellen: Pfohl, Hans-Christian: Logistiksysteme, betriebswirtschaftliche Grundlagen. 6. Aufl., Berlin, Heidelberg 2000, S. 118; Jünemann, Reinhardt: Die Bedeutung des Arbeitsschutzes in den Logistikbereichen der Wirtschaft, in: Handbuch für Logistik und Arbeitsschutz, hrsg. Vom Institut für Logistik, Dortmund, 1980, S. 2

dienen außerdem der Steuerung, Kontrolle und Optimierung der innerbetrieblichen Lager- und Distributionsprozesse. Zu den Funktionen eines LVS gehören die Bestandsführung, Auftragsbearbeitung, Inventur sowie im erweiterten Sinne die Abwicklung des innerbetrieblichen Warenflusses wie der Wareneingang, die Einlagerung, die Lagersteuerung sowie der Warenausgang mit Kommissionierung und Auslagerung (vgl. (Wolf und Dietze, 2005) S. 62 f.). Die Funktionen des LVS unterstützen somit die in der Intralogistik abgegrenzten Prozesse. Das Wesen eines LVS ist dabei die Unterstützung der operativen Komponenten des logistischen Prozesses. Es basiert auf dem Stand heutiger Technologie häufig auf Datenbanksystemen, welche die Speicherung und Analyse großer Mengen von Daten ermöglichen.

3.4.1 Simulation in der Intralogistik

In Systemen zur Produktionssteuerung sowie zur Steuerung der Logistik ist die Methodik der Simulation seit vielen Jahren ein etabliertes Hilfsmittel (vgl. (Rohrer, 1998), S. 519; (Zell, 1992), S. IX). Im Zusammenhang mit den Konzepten der Digitalen Fabrik²⁷ wird die Simulation von KÜHN sogar als Kerntechnologie bezeichnet. Dabei sollen mit Hilfe von betriebsbegleitenden Simulationsstudien Fragestellungen zum Verhalten des modellierten Systems unter verschiedenen Bedingungen beantwortet werden, wie z. B. nach Beschaffungszeitpunkten für Betriebsmittel, Fragen zur Anzahl benötigter Mitarbeiter bezogen auf das vorhandene Auftragsvolumen, konkrete Ressourcenfragen wie die, ob neue Aufträge angenommen werden können (Engpassidentifikation), ohne dass andere Arbeit dadurch verzögert wird (Reihenfolgenplanung) (vgl. (VDI, 2010), S. 8). Ebenfalls soll die Möglichkeit des strategischen Ausblicks wie die Frage nach der Nutzung vorhandener Anlagen in zukünftigen Jahren oder auch grundsätzliche Effektivitätsverbesserungen in Arbeitsabläufen und Durchsatzerhöhung möglich sein. Dabei ist eine der am häufigsten gestellten Fragen die nach der Engpassidentifikation, da die Zahl der beeinflussenden Faktoren abhängig vom modellierten System sehr hoch sein kann und vorhandene Abhängigkeiten häufig eher zu einer Verschiebung statt einer Beseitigung des Engpasses führen (vgl. (Kühn, 2006), S. 19 f.). Ein Hilfsmittel zur Beherrschung der komplexen Zusammenhänge ist daher die Ermittlung von Leistungskennzahlen (Performance measures) auf verschiedenen Ebenen des Systems (lokal und global) (vgl. (Rohrer, 1998), S. 529; (Liebl, 1995), S. 143). Als Hilfsmittel für die Reihenfolgenplanung kommen in der Fertigungssteuerung häufig Kapazitätsplanungssysteme zum Einsatz, die eine Kapazitätsplanung gegen begrenzte (Engpass-) Ressourcen ermöglichen. ROHRER emp-

²⁷ In der VDI-Richtlinie 4499 wird die Digitale Fabrik definiert als: „Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. Simulation und 3D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ ((Kühn, 2006), S. 1 f.)

fehlt in diesem Umfeld die Verwendung von Simulationsstudien zur Validierung der Ergebnisse vor deren Umsetzung im realen System. Je komplexer eine Steuerung ist, desto höher ist die Notwendigkeit, simulationsbasierte Tests vor der Inbetriebnahme neu entwickelter Konzepte durchzuführen (vgl. (Rohrer, 1998), S. 519 und 529).

Während einige Simulationsmodelle zur Planung und Gestaltung verwendet werden, werden andere Modelle im täglichen Betrieb (Operationsmodelle) von Produktionsanlagen eingesetzt. Diese 'as built'-Modelle bieten dem Anwender die Möglichkeit, die Kapazität seiner Produktionssysteme für neue Aufträge, unvorhergesehene Ereignisse wie Ausfallzeiten und Veränderungen im Betrieb zu beurteilen (vgl. (Rohrer, 1998), S. 521). Einige Operationsmodelle bieten Zeitpläne, welche für die Auslastungsplanung von Produktionsanlagen genutzt werden können. Simulationssysteme können als Ergänzung zu anderen Planungssystemen eingesetzt werden, um deren Planungen zu validieren und Zeitpläne zu bestätigen. Die Simulation ist dabei insbesondere in der Lage, Phänomene wie Prozessinteraktionen, Downtime, Warteschlangen (queueing) darzustellen und analysierbar zu machen. Auf Basis der im operativen System gesammelten Daten sind Simulationsstudien außerdem in der Lage, nahezu jeden gewünschten Detaillierungsgrad abzubilden (vgl. (Rohrer, 1998), S. 520 f.).

Die ASIM-Fachgruppe ‚Simulation in Produktion und Logistik‘²⁸ definiert eine Abgrenzung, welche Themen aus der Produktionslogistik im Verständnis der Arbeitsgruppe im Zusammenhang mit der Simulation betrachtet werden. Dazu gehören der inner- und außerbetriebliche Transport von Waren, automatisierte und manuell bediente Materialflusssysteme, Fertigungssysteme mit integrierten Transporteinrichtungen sowie organisatorische Aspekte von Produktions- und Logistiksystemen. Nicht behandelt werden z. B. urform- oder umformtechnische Prozesse, wie das Verhalten von Schmelzen oder die Verformung von Stahl beim Tiefziehen, die Nachbildung mithilfe numerischer Computerprogramme sowie Roboterbewegungen, z. B. zur Kollisionskontrolle (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 2).

Abschließend kann anhand der Argumentation von ROHRER verdeutlicht werden, dass die Simulation in der Intralogistik Unterstützung durch messbare Inputdaten benötigt. Nach seiner Auffassung basieren Prozessverbesserungen auf vorausgehenden Messungen, gemäß dem Axiom ‚Man kann nichts verbessern, was nicht messbar ist‘ (vgl. (Helmholtz, 1887); (Rohrer, 1998), S. 520). Mit Methoden der Ingenieurdisziplinen können Daten von Fertigungssystemen gemessen, gesammelt und Prozesse analysiert werden. Diese Messungen sind der erste Schritt zu einem besseren Verständnis von Fertigungssystemen. Wenn ein Fertigungsprozess gemessen und dessen Daten gesammelt wurden, kann die Simulation als Ent-

²⁸ Die Fachgruppe ‚Simulation in Produktion und Logistik‘ gehört zur Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) in der Gesellschaft für Informatik (vgl. (Rabe et al., 2008), S. V).

scheidungshilfe angewendet werden, um das Systemverständnis zu verbessern (vgl. (Rohrer, 1998), S. 520).

3.4.2 Data Warehousing in der Intralogistik

SYSKA stellt an Data-Warehouse-Systeme bzw. Kennzahlensysteme in der Intralogistik nachfolgende Anforderungen. Notwendig ist die vollständige Beschreibung der Funktionsbereiche (z. B. Transport, Umschlag, Lagerung) und der Unternehmensbereiche (Beschaffung, Fertigung und Montage, Distribution). Die betriebswirtschaftlich relevanten Faktoren (Mensch, Betriebsmittel, Material) sowie Steuerungsdimensionen (Menge, Zeit, Kosten/Wert) müssen berücksichtigt werden. DWH-Systeme für die Intralogistik sollen verschiedene Kennzahlenarten wie Absolutzahlen, Verhältniszahlen, qualitative und quantitative Kennzahlen berücksichtigen. Die praxisgerechte Aufbereitung der Kennzahlen durch Aufstellen von Definitionen, Angabe von Differenzierungen, Aufzeigen von Datenquellen, Angabe der Kennzahlenbeziehung und Hilfestellung bei der Interpretation ist notwendig. Gleichzeitig muss eine Zielsystematik, Ordnungssystematik und Rechensystematik zugrunde gelegt werden (vgl. (Syska, 1990), S. 54).

Die Auswertung der in den operativen Systemen der Intralogistik entstandenen Daten kann durch den Einsatz eines Data-Warehouse-Systems mit den beschriebenen Eigenschaften als Ergänzung angesehen werden und gibt dem Unternehmensmanagement Aufschluss über die wesentlichen Prozesskennzahlen des intralogistischen Prozesses. Die Argumentation zum Aufbau eines Kennzahlensystems für die Analyse der Intralogistik ist eng verbunden mit der Argumentation, welche Informationen in einem solchen System sinnvoll ausgewertet werden können. Die zu verwendenden Kennzahlen haben die Aufgabe, Transparenz zu schaffen, die Beurteilung erbrachter Prozessleistungen zu ermöglichen sowie im besten Falle den Vergleich mit Branchenkennzahlen oder Kennzahlen anderer Unternehmen zu erleichtern (vgl. (Külpmann, 2006), S. 9 f.). Notwendig ist daher eine möglichst allgemeingültige und umfassende Identifikation von Kennzahlen. Es besteht die Anforderung auf einen tiefgehenden Einblick in die reale Leistung des Unternehmens sowohl über lange Zeiträume hinweg als auch konkret auf einzelne Stichpunkte bezogen. Der Nutzen lässt sich anhand von drei wesentlichen Verbesserungspotenzialen darstellen. Erstens kann die Analyse zu einer gesteigerten Prozessleistung führen, welche die Verbesserung der Erträge durch eine schnellere Identifikation von Engpässen im Warenfluss zur Folge hat. Zweitens resultiert aus der Analyse eine verbesserte Auftragserfüllung, welche auf der Identifikation von strukturellen Defiziten und der Optimierung der Bestände basiert und drittens wird eine Verbesserung der Supply Chain ermöglicht, indem die Optimierung der Abläufe innerhalb der Lieferkette durch Analyse der Serviceleistung von Lieferanten und gegenüber den Kunden forciert wird (vgl. (Walter, 2011)).

Weitere Potenziale zur Nutzung von Data-Warehouse- und BI-Funktionalitäten in der Intra-logistik zeigen BAARS UND LASI auf. Sie beschreiben Einsatzszenarios zur Optimierung des Ladungsträgermanagements (Ladehilfsmittelmanagements) in der Produktionslogistik sowie zur Analyse von Daten, die durch Einsatz von RFID-Technik²⁹ in der Supply-Chain-Optimierung entstehen. Im Bereich der Produktion können Optimierungspotenziale durch Auswertung von Daten aus Qualitäts- und Reklamationsystemen sowie Produktionssteuerungssystemen entstehen (vgl. (Baars und Lasi, 2010), S. 427 ff.).

Die theoretischen Anforderungen an ein standardisiertes Kennzahlensystem in der Logistik lassen sich in drei Gruppen unterteilen (vgl. (Syska, 1990), S. 41):

- vollständige Abbildung der Funktionen der Logistik,
- vollständige Abbildung der logistischen Aufgaben entlang der innerbetrieblichen Prozesskette,
- vollständige Betrachtung der relevanten Kosten- und Leistungsfaktoren der Logistik.

Aus der Praxis lassen sich zusätzliche Anforderungen ableiten. Ein logistisches Kennzahlensystem muss demnach die nachfolgenden Kriterien erfüllen: Es muss aussagefähig, so aktuell wie möglich, allgemein verständlich und leicht verwendbar sein sowie nachvollziehbare und vergleichbare Werte enthalten (vgl. (Syska, 1990), S. 45). Ein Beispiel für ein solches interaktives Logistik-Data-Warehouse stellt das 2010 entwickelte ProStore® Logistics Intelligence System dar (vgl. (Walter, 2010); (Walter, 2011)).

Im Zusammenhang mit den in dieser Arbeit betrachteten Fragestellungen zur Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen in Simulationsstudien ist die Erkennung des Nutzens von solchen Systemen in der Intra-logistik als wesentliche Voraussetzung anzusehen. Der lange Zeitintervall dieser Diskussion, hier exemplarisch verdeutlicht durch Aussagen von SYSKA aus dem Jahre 1990 bis zu BAARS UND LASI im Jahr 2010, zeigt sowohl dessen Relevanz als auch das Potenzial, welches sowohl in den vorhandenen Ansätzen als auch in deren Weiterentwicklung steckt.

²⁹ Radiofrequenz-Identifikation (RFID) wird als Technologie eingesetzt, um Objekte von Interesse beispielsweise in der Logistik und im Supply-Chain-Management mit einem kleinen Chip mit relevanten Informationen auszustatten, durch welchen die Objekte mit Hilfe elektronischer Lesevorrichtungen jederzeit identifiziert werden können. Ausführliche Informationen zur RFID-Technologie und ihr Einsatzpotenzial finden sich bei (Seebauer und ten Hompel, 2005).

3.4.3 Aggregation und Abstraktion in der Intralogistik

Der bereits in Abbildung 9 dargestellte Zusammenhang zwischen Abstraktion und Aggregation kann auf die Aspekte der Intralogistik übertragen werden. Von niedriger Abstraktion in Kombination mit niedriger Aggregation kann ausgehend von der Betrachtung von Daten, deren räumliche Struktur auf Lagerplatzebene und deren Zeitbezug auf Tagesebene zusammengefasst ist, gesprochen werden. Die mittlere Aggregation und Abstraktion, in Abbildung 11 eingeordnet in Lagerort (räumlich) und Monatsbezug (zeitlich), stellt in der Intralogistik einen Blickwinkel dar, der häufig für regelmäßige Kennzahlenanalysen und Reportingmaßnahmen verwendet wird. Von einer hohen Abstraktion kann gesprochen werden, wenn Daten auf Werksebene zusammengefasst sind und für eine hohe Aggregation auf zeitlicher Ebene die Zusammenfassung auf Jahresebene erfolgt. Der Zusammenhang wird im folgenden Bild verdeutlicht:

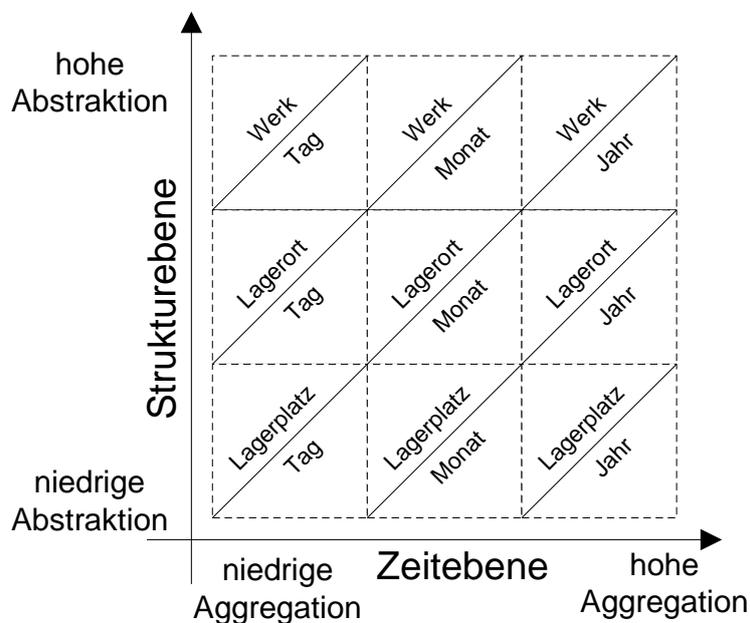


Abbildung 11: Abstraktion und Aggregation in der Intralogistik (eigene Darstellung)

Die bereits in Unterabschnitt 3.3.1 dargelegten Eigenschaften von OLTP-Systemen führen dazu, dass Einzeltransaktionen in den operativen Systemen in sehr feingranularer Form als Ausgangsdaten zur Verfügung stehen. Beispielsweise wird sich der explizite Zeitstempel einer Materialbuchung häufig auf Sekundenebene zuordnen lassen. Daher ist selbst bei der beschriebenen niedrigen zeitlichen Aggregation auf Tagesebene eine Zusammenfassung der Daten im ETL-Prozess Voraussetzung für deren Auswertung und Nutzung als Input für Simulationsstudien.

4 Handlungsbedarf und Lösungsansatz

In diesem Kapitel werden basierend auf den Problemstellungen (Abschnitt 2.2) und dem Stand der Forschung (Abschnitt 2.3) der abzuleitende Handlungsbedarf (Darstellung der Gestaltungslücke) beschrieben. Aus diesem Handlungsbedarf wird das Handlungspotenzial aus dem dieser Arbeit zugrunde liegenden Lösungsansatz (Nutzen von multidimensionalen Datenmodellen) verdeutlicht. Zur Einführung in die weiteren Kapitel wird der Lösungsansatz skizziert und dessen Potenzial beschrieben.

4.1 Handlungsbedarf

Im Prozess zur Durchführung einer Simulationsstudie nimmt die Beschaffung und Aufbereitung von Daten einen Umfang von 30 % bis 50 % des Gesamtaufwands ein (vgl. (Rabe et al., 2008), S. 45; (Košturiak und Gregor, 1995), S. 110; (Bogon et al.; 2012), S. 2). Diese Zahlen basieren auf den für Simulationsstudien typischen Mechanismen der Datenbeschaffung und Datenaufbereitung, wie sie im Unterabschnitt 2.1.1 beschrieben sind. Für die Identifikation eines möglichen Handlungsbedarfs zur Verbesserung der datengetriebenen Prozessschritte wird nachfolgend für die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Problemaspekte des Mengenproblems (PI) sowie den daraus resultierenden Methoden die Fragestellung geklärt, ob die Verwendung von Daten aus Data-Warehouse-Systemen Verbesserungspotenziale aufweist. Im Detail sind dies die Aspekte

1. Datenquantität: zu geringe Datenmenge, zu hohe Datenmenge, zu geringe Datenvarianz;
2. Schlechte Datenqualität;
3. Verwendung von Zufallsvariablen;
4. Verwendung von Daten aus einem anderen Erhebungskontext.

Die Potenziale zur Verbesserung der einzelnen Aspekte werden nachfolgend beschrieben und es wird eine Einschätzung vorgenommen, ob Daten aus multidimensionalen Datenmodellen in der Lage sind, diese Potenziale zu erfüllen.

1. Datenquantität: zu geringe oder zu hohe Datenmenge, zu geringe Datenvarianz

Die beschriebenen Probleme einer zu geringen Datenmenge und ihre Abhängigkeit vom Anwendungsszenario führen dazu, dass die Fragestellung der Verwendbarkeit von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen basierend auf einer allgemeinen, szenariounabhängigen Basis nur von theoretischen Annahmen ausgehend betrachtet werden kann. Die Möglichkei-

ten zur Verwendung adaptierter Daten ist in Tabelle 2 beschrieben. Daten in einem Data Warehouse sind aufgrund der dimensionsorientierten Aufbereitung theoretisch dazu geeignet, für vergleichbare Szenarios adaptiert zu werden. Das Problem einer zu hohen Datenmenge wird durch die im ETL-Prozess enthaltenen Datenaufbereitungsmechanismen entschärft. Daten aus differierenden Datenquellen werden bereinigt und auf einen einheitlichen Stand gebracht. Zur Minimierung einer zu hohen Datenmenge, die aufgrund der im OLTP-Ansatz vorhandenen feingranularen Implementierung entsteht, dienen die Abstraktions- und Aggregationsprozesse des multidimensionalen Datenmodells.

Die benötigte Varianz der Inputdaten ist ebenfalls in hohem Maße von der Simulationsfragestellung abhängig. Im Detail gehören dazu Aussagen zur Zielbeschreibung, zur Aufgabenspezifikation des zu erstellenden Modells sowie das Modell selbst. RABE ET AL. beschreiben dazu folgende Ansätze (vgl. (Rabe et al., 2008), S. 51 ff.):

- In der Zielbeschreibung können Informationen zur Berücksichtigung eines bestimmten Geschäftsjahres oder bestimmter Produkte enthalten sein,
- in der Aufgabenspezifikation finden sich Informations- und Datenquellen,
- aus dem Modell sind die anzulegenden Datenquellen sowie die benötigten Simulationsparameter abzuleiten.

Generell bietet das vom VDI aufgestellte System der für eine Simulationsstudie benötigten Daten (siehe Abbildung 5) eine Information zur Datenvarianz. Das Prinzip der Sammlung von Daten in einem Data Warehouse unter dem Aspekt des ‚Single Point of Truth‘ (siehe Unterabschnitt 3.3.1) sowie die Ausführungen in Kapitel 3.4.2 lassen die Annahme zu, dass viele der benötigten Daten im Data Warehouse zu finden sind und die notwendige Datenvarianz gegeben ist. Nachfolgende Beispiele für Kennzahlen der Intralogistik dienen als Orientierung; die Erfüllung der Forderung der Datenvarianz ist im Einzelfall basierend auf dem vorliegenden Data Warehouse zu klären.

Für die Analyse der Leistungsfähigkeit der intralogistischen Prozesse können Kennzahlen bzw. Kennzahlensysteme verwendet werden, die spezifische Werte für die Teilprozesse der Beschaffungs-, Vorrats-, Produktions- und Distributionslogistik enthalten (vgl. (Bichler, 2007), S. 11). Exemplarisch für die einzelnen Bereiche nennt BICHLER folgende Kennzahlen:

- Beschaffungslogistik: Kosten pro Bestellung, Beschaffungskosten pro Mitarbeiter, Stammlieferantenquote, Warenannahmezeit (vgl. (Bichler, 2007), S. 25 ff.);

- Vorratslogistik: Lagerungskosten, Kapitalbindungskosten, Kommissionierkosten pro Auftrag, Lagerquote, durchschnittliche Lagerdauer, Umschlagshäufigkeit, Lagernutzungsgrad (vgl. (Bichler, 2007), S. 51 ff.);
- Produktionslogistik: Kostenanteil innerbetrieblicher Transporte, Aufträge pro Transportmittel, Auslagerungszeit, Verschrottungsanteil, Zeitbedarf pro Transportauftrag (vgl. (Bichler, 2007), S. 85 ff.);
- Distributionslogistik: Transportkosten pro Transportauftrag, Lieferzuverlässigkeit, Lieferverzögerungsquote, Auslieferqualität, Schadenshäufigkeit, Fuhrparkkostenanteil (vgl. (Bichler, 2007), S. 99 ff.).

Für alle genannten Kennzahlen sind bei BICHLER die benötigten Informationsbestandteile beschrieben, welche zur Ermittlung der Kennzahl als Bestandteil der Formel relevant sind. Die Bandbreite der hier genannten Kennzahlen sowie die in Unterabschnitt 3.4.2 beschriebenen Aspekte des Data Warehousing in der Intralogistik und die dort genannten Beispiele stellen dar, welche hohe Varianz ein Kennzahlensystem in der Intralogistik aufweisen kann. Daher ist die Annahme gerechtfertigt, dass Simulationsstudien mit Fragestellungen der Intralogistik, wie sie in dieser Arbeit betrachtet werden, mit Daten aus DWH-Systemen der Intralogistik versorgt werden können.

2. Schlechte Datenqualität

Die Auswirkungen schlechter Inputdatenqualität werden im Verlauf der Durchführung einer Simulationsstudie an verschiedenen Stellen relevant. Für die **Prozessschritte der Beschaffung und Bereinigung** empfiehlt MUSSELMAN als mögliche Strategien zur Reduzierung mangelnder Datenqualität die Analyse der Inputdaten, bevor diese verwendet werden sowie die Verwendung von hypothetischen Inputdaten. Zur Analyse gehören Fragestellungen wie der Erhebungszeitpunkt, die Angemessenheit der Datenquelle, die Art der Erhebung sowie die Identifikation von Einschränkungen, die sich aus der Datenerhebung ergeben. Für die Verwendung von hypothetischen Inputdaten argumentiert MUSSELMAN, dass fehlende Daten den Verlauf einer Simulationsstudie nicht blockieren sollten. Die Auswirkungen solcher hypothetischen Inputdaten müssen dann durch entsprechende Sensitivitätsanalysen verifiziert werden (siehe Unterabschnitt 2.1.3) (vgl. (Musselman, 1998), S. 730 ff.). Die Nutzung von Daten aus einem Data Warehouse kann den Analyseaufwand für die zu verwendenden Inputdaten reduzieren, da der Erhebungszeitpunkt und die Art der Datenerhebung durch den definierten ETL-Prozess eindeutig nachvollziehbar sind, das Data Warehouse aufgrund der in ihm enthaltenen (bzw. geforderten) Datenqualität (vgl. (Bange et al., 2009), S. 47 f.; S. 58 und 72) als angemessene Datenquelle angesehen werden kann und Einschränkungen aus den Metadaten des DWH (vgl. (Albrecht et al., 2009), S. 350 f.) abzuleiten sind. Ob im Einzelfall

die Möglichkeit besteht, die Nutzung von hypothetischen Inputdaten zu reduzieren, ist abhängig von den im Data Warehouse vorliegenden Daten. Da die Nutzung von aggregierten und abstrahierten Daten die Menge der verfügbaren Inputdaten erweitert und der Fragestellung entsprechend konkretisiert, resultiert aus der Prüfung dieses Aspektes ein Optimierungspotenzial des erstellten Konzeptes.

Im **Prozessschritt der Initialisierungsphase** innerhalb eines Simulationsexperiments ist ein wesentlicher Punkt die Erreichung eines Systemzustands, der die Verwendung der aus dem System zu gewinnenden Daten für die Ergebnisanalyse erlaubt. Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist dabei nicht relevant, ob es sich um stationäre oder nichtstationäre Simulationen handelt (siehe Unterabschnitt 2.1.2). Vielmehr geht es darum, die Qualität der Startparameter für die Erreichung des steady state basierend auf validierten Daten aus einem Data Warehouse zu verbessern und damit die Zeit bis zum Erreichen des initialisierten Zustands zu verkürzen. Die Optimierung der Initialisierungsphase basierend auf der Optimierung des Dateninputs stellt somit ein Optimierungspotenzial bezüglich des Initialisierungszeitraumes dar.

Zur Reduzierung der beschriebenen Problematiken wird in der Simulation häufig die **Sensitivitätsanalyse** verwendet (siehe Unterabschnitt 2.1.3). Neben ihrer eigentlichen Aufgabe kann sie dazu genutzt werden, die Qualität des Dateninputs zu prüfen, die benötigte Laufzeit der einzelnen Simulationsexperimente zu bestimmen sowie Auswirkungen von Zufallsvariablen zu verifizieren. Damit stellt die Verbesserung der Sensitivitätsanalyse einen alle drei Problematiken (PI – PIII) betreffenden, übergreifenden Handlungsbedarf dar.

3. Verwendung von Zufallsvariablen

Für die Annahme, dass Daten aus multidimensionalen Datenmodellen als Alternative zu Zufallsvariablen verwendet werden können, ergibt sich die Aufgabenstellung, die Güte von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen mit der von Zufallsvariablen zu vergleichen. Als Gütekriterien dienen die in der Simulationstheorie definierten Kriterien, welche für die Beurteilung guter Zufallsvariablen zu finden sind (vgl. (Liebl, 1995), S. 26 f.; (Suhl und Mellouli, 2006), S. 280 ff.); (Domschke und Drexler, 2011), S. 230):

- **Unabhängigkeit:** Zufallsvariablen sind unabhängig, wenn die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Wertes unabhängig von den ihn umgebenden Werte ist. Die Unabhängigkeit bezieht sich jeweils auf paarweise Werte innerhalb einer Teilfolge von Elementen.
- **Verteilungsqualität:** Die Zufallsvariablen sollen eine gute Annäherung der Verteilung (z. B. Gleichverteilung) an die gewünschte Verteilungsfunktion (kontinuierlich, disk-

ret, empirisch) aufweisen. Diese Bedingung kann anhand des Verlaufs der Dichtefunktion geprüft werden. Für gleichverteilte Zufallsvariablen wird beispielsweise ein konstanter Verlauf der Dichtefunktion erwartet. Die Verteilung über dem ausgewählten Intervall darf also keine Tendenzen zu bestimmten Wertebereichen beinhalten.

- **Besetzungsdichte:** Der Wertebereich von Zufallsvariablen muss eine höchstmögliche Verteilung über dem Werteintervall darstellen.
- **Effizienz:** Der eingesetzte Algorithmus soll schnell und wenig speicherintensiv arbeiten. Die Bedeutung der Anforderung hat aufgrund leistungsstarker Hardware an Relevanz verloren.
- **Reproduzierbarkeit:** Die Forderung scheint im Zusammenhang mit dem Begriff des Zufalls eher paradox. Sie bezieht sich darauf, dass basierend auf ergebnistreuen wiederholbaren Simulationsdurchläufen die Ergebnisanalyse optimiert werden kann.

Für die Erzeugung der benötigten Zufallsvariablen dienen Zufallszahlengeneratoren. Diese beruhen auf Softwarealgorithmen und weisen in sich wiederum systematisch bedingte Mängel auf, die es durch die Verwendung von Werten aus den multidimensionalen Datenmodellen zu vermeiden gilt (vgl. (Liebl, 1995), S. 26 f.).

- **Mangelnde Besetzungsdichte:** Zufallszahlengeneratoren können nur eine endliche Zahl von Zufallszahlen für eine Variable erzeugen. Dies führt dazu, dass die Ergebnismenge Lücken enthält.
- **Mangelnde Erhebung bedingter Verteilungen:** bei komplexen Fragestellungen kann die Verwendung korrelierter mehrdimensionaler Zufallsvariablen notwendig werden. Die Erhebung aller Regeln und Vorgaben für diese bedingten Verteilungen stellt sich häufig als schwierig dar (vgl. (Liebl, 1995), S. 54).
- **Mangelnde Bestimmbarkeit der Dichte- oder Wahrscheinlichkeitsfunktion:** Die verschiedenen möglichen Dichtefunktionen für Zufallsvariablen können in der Realität i. d. R. nicht vollständig beschrieben werden, daher ist allenfalls eine empirische näherungsweise Bestimmung möglich (vgl. (Domschke und Drexler, 2011), S. 229; (Arnold und Furmans, 2007), S. 322).

Die Anforderungen, welche an ‚gute Zufallsvariablen‘ gestellt werden, können durch Daten aus DWH-Systemen erfüllt werden³⁰. Der Grad der Datenaktualität ist in einem Data Warehouse sehr gut nachvollziehbar, da alle gespeicherten Daten mit einem Zeitpunkt versehen sind. Somit kann nicht nur zum letztmöglichen aktuellen Zeitpunkt auf Daten zurückgegriffen werden, sondern auch auf Datenpakete zu einem beliebigen Zeitpunkt, wobei alle benötigten Daten unter Verwendung des gleichen Zeitstempels identifiziert werden können. Da die Daten im Data Warehouse in atomarer Form gespeichert werden und erst durch die Verwendung der Dimensionen eine Aggregation bzw. Abstraktion erfolgt, kann sowohl auf sehr detaillierte bzw. genaue Daten (niedrige Abstraktion und Aggregation) als auch auf hoch aggregierte und abstrahierte Werte zurückgegriffen werden (vgl. (Bange et al., 2009) S. 109 f.). Die Anforderung der Rechtzeitigkeit ist erfüllt, sofern Daten in einem Data Warehouse zur Verfügung stehen. Durch die Aufbereitung im ETL-Prozess liegen die Daten mit größtmöglicher Fehlerfreiheit und Korrektheit vor, sodass sie verlässlich und insbesondere reproduzierbar verwendet werden können. Aufgrund der in einem DWH implizit sowie explizit vorhandenen Metadatenstrukturen werden die Interpretation und Verständlichkeit der Inputdaten für die Simulation deutlich erhöht. Aufgrund der hohen Informationsdichte der Daten in einem DWH kann davon ausgegangen werden, dass sowohl das Kriterium der Relevanz als auch der Vollständigkeit auf die Daten abbildbar sind, dies hängt allerdings in hohem Maße vom Datenumfang des Data Warehouse ab. Die an den Aufbau und die kontinuierliche Pflege gestellten Anforderungen in einem DWH sind i. d. R. sehr hoch (siehe Unterabschnitt 3.3.2). Daher sind die Datenqualität sowie die Datenbasis bekannt und diese Kenntnis kann den Analyse- und Erhebungsaufwand reduzieren sowie die frühzeitige Erreichung des Endes der Initialisierungsphase unterstützen.

Die Verwendung von Zufallsvariablen beinhaltet in sich die bereits beschriebene Problematik der Ermittlung der angemessenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Damit ist die Festlegung errechneter Größen auf einem Zeitstrahl gemeint (siehe Fußnote 10). Die Verwendung von Daten aus einem Data Warehouse muss daher gewährleisten, dass entsprechende Größen (nicht errechnet, sondern als Input aus dem DWH entnommen) ein verlässliches Zeitattribut aufweisen. Aus den beschriebenen Beispielen für typische stochastische Größen (siehe Abschnitt 2.2) kann dieser Zeitpunkt ermittelt werden (Bedarfszeitpunkt, Ankunftszeiten, Lieferzeiten, Zeitintervalle für diverse Events usw.). Das Zeitattribut, welches an allen Daten im Data Warehouse hinterlegt ist, bietet daher die Möglichkeit, Werte aufgrund ihres tatsächlichen Auftretens auf dem Zeitstrahl zu verteilen und somit auf Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu verzichten. Da Simulationsstudien, je mehr Zufallsvariablen in diesen verwendet wer-

³⁰ Auf die Aspekte der Datenaufbereitung im Data Warehouse sowie die Eigenschaften multidimensionaler Datenmodelle wird in Unterabschnitt 3.3.2 detailliert eingegangen.

den, in ihrer Aussagekraft gegenüber Simulationsstudien mit einem geringen Anteil von Zufallsvariablen benachteiligt sind, ist die Reduzierung des stochastischen Datenanteils sinnvoll.

Der Vergleich der Anforderungen bestätigt, dass die Reduktion von Zufallsvariablen in Simulationsstudien zwei Potenziale bietet. Zum einen dient sie zur Reduktion der Simulationsexperimentwiederholungen, zum anderen dient die Reduktion von wahrscheinlichkeitsbasiertem Simulationsinput der Konkretisierung der ableitbaren Schlussfolgerungen.

4. Verwendung von Daten aus anderem Erhebungskontext

Prinzipiell könnte im Zusammenhang mit diesem Handlungsbedarf die Argumentation greifen, dass Daten aus einem Data Warehouse nicht relevant für dessen Optimierung sind, da diese aus einem anderen Erhebungskontext als dem für die Simulation relevanten stammen. Dass die Art und Zusammensetzung der Daten, welche für eine Simulationsstudie benötigt werden, mit deren Zielen sowie der Modellbildung und Veränderungen am Modell eng verbunden ist, kann aus den Ausführungen zum Simulationsprozess in Anhangkapitel A abgelesen werden. Basis sowohl für die Modellierung als auch für die Datenerhebung ist daher eine möglichst realitätsgetreue Beschreibung des zu simulierenden Systems, die gleichzeitig die notwendige Abstraktion und Aggregation der Aufgabenstellung berücksichtigen (vgl. (Küll und Stähly, 1999), S. 6). Die zu verwendenden Daten müssen also auf den geforderten Abstraktionsgrad bzw. die notwendige Aggregationsebene gebracht werden können. Daten aus einem Data Warehouse werden von möglichen Erhebungskontexten in größtmöglichem Maß neutralisiert gesammelt und unter Verwendung des Konzeptes der Strukturierung in Data Marts (siehe Kapitel 3.3.2) für inhaltliche Zwecke zusammengefasst (vgl. (Bange et al., 2009), S. 61 ff.). Dies gewährleistet die Verwendbarkeit der Daten für möglichst viele Analysefragestellungen und ermöglicht gleichzeitig die Verwendung einzelner Data Marts (Eingrenzung der Daten) durch Abgleich von dessen inhaltlichem Zweck mit der Simulationsfragestellung. Die Verwendung von Data Marts als Input für die Simulation bietet somit die Möglichkeit, zielsystemorientiert zur Simulationsfragestellung Daten zur Verfügung zu stellen. Diese Aspekte des DWH erlauben es, bei Daten aus einem Data Warehouse nicht von einem ‚anderen‘, sondern von einem ‚neutralen‘ Erhebungskontext zu sprechen. Damit kann die Problematik durch die Verwendung der Daten reduziert und der Aspekt als Optimierungspotenzial betrachtet werden.

4.2 Handlungspotenzial und Lösungsansatz

Die beschriebenen Problemstellungen datengetriebener Prozessschritte lassen sich zwar argumentativ in der Theorie durch die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen reduzieren. Es bleibt aber die Problematik, dass die Entscheidung, ob die Ver-

wendung dieser Daten im konkreten Anwendungsszenario sinnvoll ist, letztlich nur individuell für die jeweilige Fragestellung der Simulationsstudie zu beantworten ist. Wesentlicher Grund dafür ist die nur im konkreten Anwendungsszenario zu beantwortende Frage zu den Rahmenbedingungen der Simulationsstudie. Daher ergibt sich das Handlungspotenzial, ein Konzept zu erstellen, welches die Fragestellungen der Simulationsstudie sowie deren Rahmenbedingungen auf effektive Art analysiert und basierend auf der Analyse eine Verwendungsempfehlung als Ergebnis liefert. Die Einordnung des Lösungsansatzes erfolgt innerhalb des thematischen Rahmens, der bereits in Abbildung 1 beschrieben wurde. Die Erweiterung ist in Abbildung 12 dargestellt:

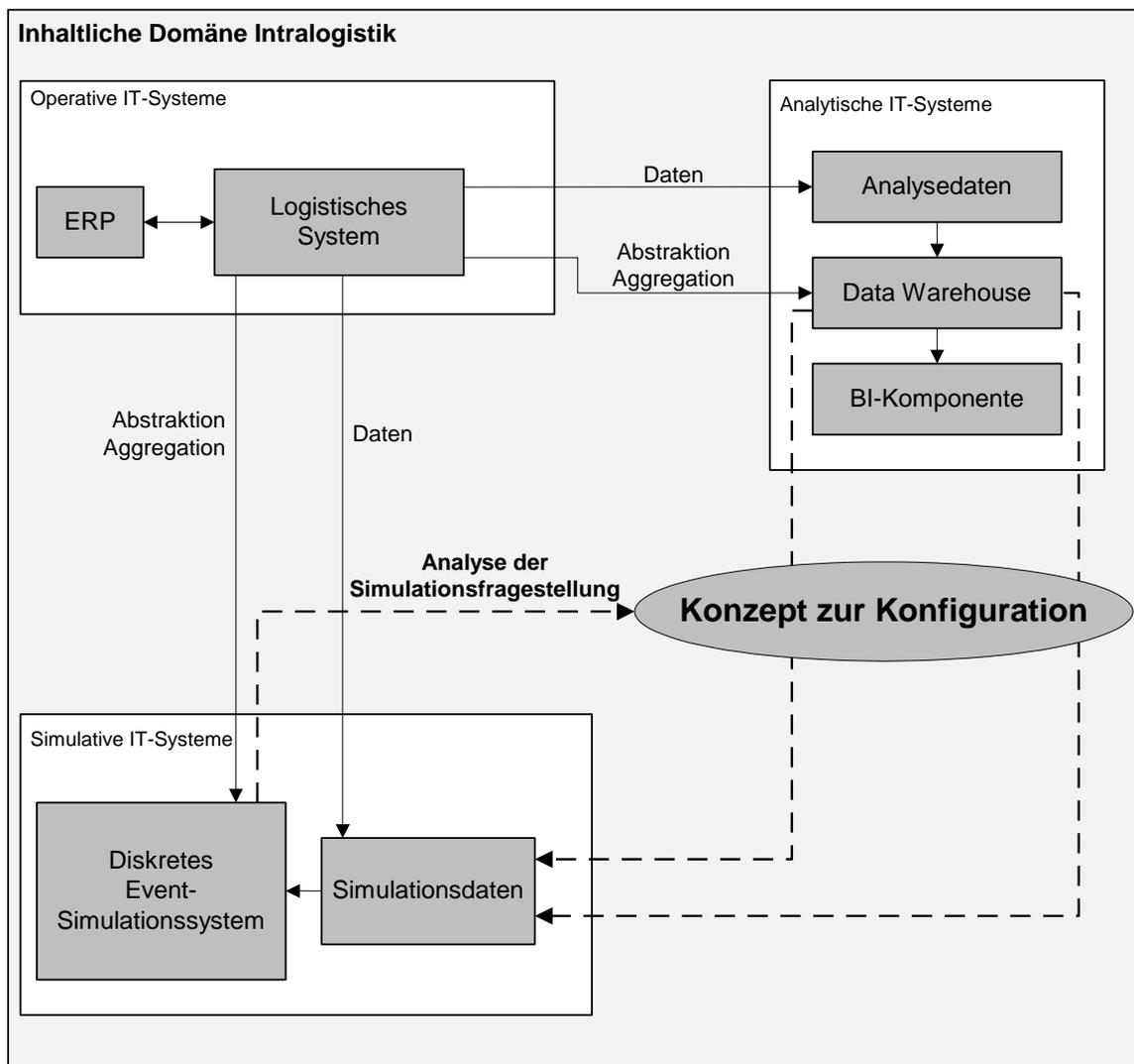


Abbildung 12: Entwickeltes Konzept (eigene Darstellung)

Der bereits in Abschnitt 1.2 beschriebene thematische Rahmen besteht aus den Themenbereichen der operativen, der analytischen sowie der simulativen IT-Systeme. Zwischen den operativen und den analytischen bzw. den operativen und den simulativen Systemen findet

eine unidirektionale Übertragung von Daten statt. Bei dieser Übertragung werden die in Unterabschnitt 3.1.2 beschriebenen Mechanismen zur Abstraktion und Aggregation eingesetzt.

Die Erweiterung des thematischen Rahmens um den Lösungsansatz in Form des Konzeptes zur Konfiguration stellt grafisch dar, wie das Konzept die beiden Systemwelten der analytischen und der simulativen IT-Systeme verbindet. Die Umsetzung des identifizierten Handlungspotenzials erfordert die Erstellung eines Lösungsansatzes, welcher die Fragestellungen der Simulationsstudien sowie deren Rahmenbedingungen auf effektive Art analysiert und basierend auf der Analyse eine Verwendungsempfehlung als Ergebnis liefert. Der Lösungsansatz soll systematisch den Nutzen von Daten multidimensionaler Datenmodelle für Simulationsstudien identifizierbar machen. Er soll das Unterstützungspotenzial für datengetriebene Prozessschritte ermittelbar machen sowie die systematische Analyse von Simulationsfragestellungen bezogen auf den benötigten Dateninput ermöglichen. Durch das Konzept erfolgt eine Strukturierung der Abstraktions- und Aggregationsmechanismen unter Verwendung der in Unterabschnitt 3.1.2 definierten Kategorien. Das Konzept enthält Handlungsempfehlungen für die Beschaffung der benötigten Simulationsdaten. Durch eine effiziente Analyse der Simulationsfragestellung soll es einen zeitlichen und wirtschaftlichen Nutzen bezogen auf die drei in Abschnitt 4.1 beschriebenen Problemstellungen verdeutlichen und eine Entscheidung über die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle ermöglichen. Neben diesen Anforderungen an den Lösungsansatz dienen weitere zu berücksichtigende Punkte aus den in Tabelle 1 beschriebenen Forschungsfragen als Grundlage für die Entwicklung des Lösungsansatzes. Der Zusammenhang zwischen den abzudeckenden Prämissen und den Konzeptkomponenten ist in Abbildung 13 verdeutlicht:

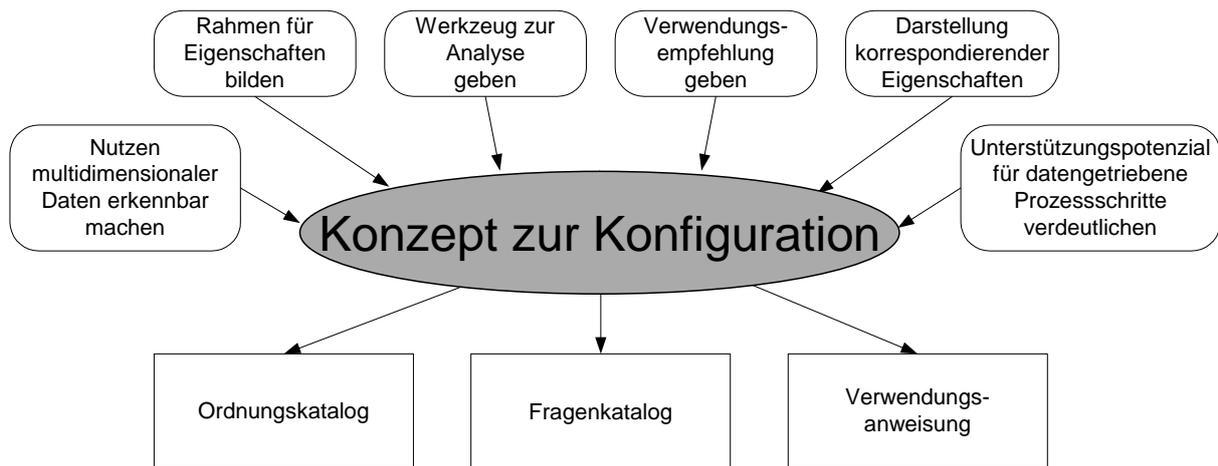


Abbildung 13: Abdeckung des Lösungsansatzes (eigene Darstellung)

Die sich aus den Forschungsfragen ergebenden Punkte fordern die Darstellung von wesentlichen, die beiden zu verbindenden IT-Systeme charakterisierenden und miteinander korrespondierenden Eigenschaften, einen gemeinsamen Rahmen für die identifizierten Eigenschaf-

ten, ein Werkzeug zur effektiven Analyse sowie ein Instrument zur Ableitung einer Verwendungsempfehlung. Aus den hier aufgeführten Grundlagen ist der Lösungsansatz in Form eines Konzeptes mit drei Artefakten entstanden. Innerhalb des Konzeptes dient die Konzeptkomponente des *Ordnungskatalogs* als Rahmen und zur Darstellung der identifizierten korrespondierenden Eigenschaften. Die Konzeptkomponente des *Fragenkatalogs* dient als Werkzeug für die Analyse der Simulationsfragestellung. Die *Verwendungsanweisung* dient zum einen als Nutzungsleitfaden für die beiden Kataloge und zum anderen dazu, eine Verwendungsempfehlung abzugeben. Diese soll den Nutzen multidimensionaler Daten erkennbar zu machen sowie Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte zu verdeutlichen. Die Erstellung des Konzeptes verfolgt basierend auf den in Unterabschnitt 4.1 beschriebenen Potenzialen folgende Zwecke:

- Z1: Analyse und Berücksichtigung der Simulationsfragestellung,
- Z2: Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte,
- Z3: Berücksichtigung des Anwendungsszenarios,
- Z4: Identifikation relevanter Abstraktions- und Aggregationsprozesse,
- Z5: Berücksichtigung der vorhandenen bzw. benötigten Datenstrukturen.

Die aufgeführten Punkte werden in der Beschreibung der Konzeptkomponenten (siehe Abschnitt 5.3) aufgegriffen und deren Einfluss im Kontext beschrieben.

4.3 Definition der Anforderungen an das Konzept

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die drei Konzeptkomponenten definiert. Da die Erfüllung der Anforderungen später im Kapitel 6 gegen den Entwurf des Konzeptes geprüft wird, erhalten alle Anforderungen ein eindeutiges Identifikationskriterium (z. B. A1, B1 usw.). Die allgemeinen Anforderungen beziehen sich auf alle drei Komponenten. Für den Ordnungskatalog, den Fragenkatalog sowie die Verwendungsanweisung sind außerdem jeweils spezifische Anforderungen aufgeführt. Die Anforderungen wurden aus den in der jeweiligen Forschungsrichtung etablierten Ansprüchen an die Erstellung von Komponenten abgeleitet. Für den Ordnungskatalog ist dies der Bereich der Modellentwicklung und Modellierung. Für den Fragenkatalog wurden die empirische Forschung und deren Anforderungen adaptiert und für die Verwendungsanweisung dienen die Grundlagen zur Erstellung von Bedienungsanleitungen aus der Technik als Basis für die Anforderungen.

4.3.1 Allgemeine Anforderungen

Die allgemeinen Anforderungen an das Konzept orientieren sich an den Grundsätzen ordnungsgemäßer Modellierung (GoM) (vgl. (Becker et al., 1995)) und den Prinzipien der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik für Artefakte (vgl. (Österle et al., 2010), S. 5 f.).

A1 Generische Erweiterbarkeit: Alle drei zu entwickelnden Komponenten des Konzeptes dürfen nicht als abschließend definiert verstanden werden. Basierend auf speziellen Fragestellungen, Anforderungen oder Systemumgebungen soll die Möglichkeit bestehen, variable Ergänzungen vorzunehmen. Die Komponenten sind daher als erweiterbar anzulegen, sodass weitere Elemente zu einem späteren Zeitpunkt hinzugefügt werden können, wenn beispielsweise andere Domänen als die zur initialen Konzepterstellung verwendete betrachtet werden sollen.

A2 Semantische Vollständigkeit und Korrektheit: Die semantische Vollständigkeit und Korrektheit kann orientiert an der Struktur- und Verhaltenstreue gegenüber den abgebildeten Themenbereichen (Data Warehousing und Simulation) gemessen werden. Dazu gehören z. B. Widerspruchsfreiheit, Einhaltung von Namenskonventionen und Richtigkeit sachlogischer Zusammenhänge (vgl. (Becker et. al, 1995), S. 438). Die Anforderung muss im Zusammenhang mit dem definierten Rahmen betrachtet werden. Dieser beinhaltet Fragestellungen der Intralogistik. Aus diesem Themenkreis müssen die Elemente insofern vollständig und korrekt sein, dass die Elemente auf (mindestens) ein Szenario unverändert angewendet werden können (vgl. (Hars, 1993)).

A3 Syntaktische Korrektheit: Für die Erstellung der Elemente sowie für deren Erweiterbarkeit (A1) werden Regeln und syntaktische Vorgaben benötigt. Die erstellten Elemente müssen diese selbst erfüllen, d. h. syntaktisch korrekt sein. Die Regeln müssen für Erweiterungen anwendbar sein.

A4 Systematischer Aufbau und Integration: Die entwickelten Elemente müssen unter dem Aspekt des Gesamtkonzeptes systematisch aufeinander aufbauend erstellt und integriert sein. Dazu gehört die durchgängige Abbildung der Themenbereiche in allen drei Elementen.

A5 Originalität und Nutzen: Die entwickelten Elemente müssen innovativ und originär sein sowie einen Nutzen für die Lösung der betrachteten Fragestellungen bieten.

A6 Heuristischer Anspruch: Aufgrund des heuristischen Anspruchs sollen die Komponenten dazu befähigen, unter Berücksichtigung von begrenztem Wissen über das (z. B. zu simulierende) System und unvollständigen Informationen zu einer Entscheidung über die Verwendung multidimensionaler Daten zu kommen.

4.3.2 Anforderungen an den Ordnungskatalog

Die für den Ordnungskatalog zu wählende Struktur soll die folgenden Anforderungen erfüllen:

B1 Strukturelle Klarheit: Die Struktur des Ordnungskatalogs muss die verschiedenen Aspekte der beteiligten Themenbereiche berücksichtigen. Allgemein wird dieser Grundsatz in den GoM mit den Aspekten der Strukturiertheit, Übersichtlichkeit, Transparenz und Lesbarkeit verbunden (vgl. (Becker et. al, 1995), S. 438 f.).

B2 Abstraktion und Allgemeingültigkeit: Die im Ordnungskatalog beschriebenen Elemente sollen von Implementierungsdetails der Themenbereiche, auf denen sie basieren, in einem höchstmöglichen Maß abstrahieren. Diese Anforderung dient dem Anspruch der Allgemeingültigkeit und folgt dem Prinzip der Abstraktion (vgl. (Bange et al., 2009), S. 33 f. und S. 77). Vergleichbare Elemente werden zusammengefasst und wesentliche Aspekte betont. Der Ordnungskatalog muss in einem angemessenen Maße abstrahiert sein, um auf eine Klasse von Problemen (Simulationsfragestellungen) angewendet werden zu können.

B3 Idealtypische Definition der Elemente: Die Elemente des Ordnungskatalogs sind idealtypisch definiert. Sie sollen trennscharf abgegrenzt sein und der Gewinnung von Erkenntnissen im Zusammenhang mit der Fragestellung dienen (heuristischer Anspruch) (vgl. (Bange et al., 2009), S. 35 und (Weber und Winkelmann, 1985), S. 190 f.).

B4 Hierarchische Struktur: Eine hierarchische Struktur beinhaltet eine Rangordnung, welche durch eine Ordnungsrelation zwischen den Elementen ausgedrückt wird (vgl. (Bange et al., 2009), S. 77).

B5 Orientierung an einem Architekturansatz: Der Aufbau des Ordnungskatalogs soll einem Architekturansatz folgen (siehe hierzu auch Anforderungen C1 und D1).

4.3.3 Anforderungen an den Fragenkatalog

Die Anforderungen an den Fragenkatalog orientieren sich zusätzlich an den für Unterabschnitt 4.3.1 definierten theoretischen Aspekten an den in den Sozialwissenschaften angewandten Gütekriterien für die quantitative Sozialforschung (vgl. (Böhm-Kasper et al., 2009), S. 37 f.; (Kallus, 2010), S. 15 f.).

C1 Orientierung an einem Architekturansatz: Der Aufbau des Fragenkatalogs soll einem Architekturansatz folgen (siehe hierzu auch Anforderungen B5 und D1).

C2 Objektivität des Ergebnisses: Die Fragen sollen so formuliert sein, dass sie interpretationsfrei beantwortet werden können und die Beantwortung zu objektiven Ergebnissen führt, die unabhängig von subjektiven Einflüssen des Antwortgebers reproduzierbar sind.

C3 Reliabilität des Ergebnisses: Die Fragen sollen so formuliert sein, dass die Beantwortung der Fragen und die daraus resultierende Konfiguration bei Wiederholung zu den gleichen Ergebnissen führen.

C4 Validität: Die Fragen sollen insgesamt den Merkmalsbereich valide abbilden, d. h. es sollen genau die Ergebnisse abgefragt werden, deren Erhebung beabsichtigt ist. Basis ist eine präzise Festlegung des Merkmalsbereichs.

Für die Erstellung von Fragebögen im Zusammenhang mit Antworttendenzen und systematischen Messfehlern benennt KALLUS tendenziell problematische Reaktionen bei der Beantwortung von Fragen (vgl. (Kallus, 2010), S. 52 f.). Einige der aufgeführten Punkte sind auch für den Fragenkatalog relevant und werden deshalb unter dem Aspekt zu vermeidender Fehler als Anforderung aufgenommen.

C5 Vermeidung von Antworttendenzen und systematischen Messfehlern: Zu vermeiden sind folgende Effekte:

- Tendenz zur Mitte: Häufig werden bei der Beantwortung von Fragen mittlere Antwortkategorien gewählt. Eine Alternative bieten Skalen ohne Mittelwert, diese können jedoch (in der quantitativen Sozialforschung) zu erhöhten Messfehlern führen.
- Tendenz zur ersten passenden Kategorie: Häufig wird die erste passende Antwort gewählt, ohne weitere Antworten zu berücksichtigen.
- Polung der Fragen durch Formulierung mit Negationen: Durch Negativformulierungen wird die Komplexität der Fragenbeantwortung erhöht, daher sind diese zu vermeiden.
- Nichtbeantwortung von Fragen: Dies kann im Fragenkatalog zu Filterproblemen bzw. unvollständigen Filterungen führen.
- Motivationale Überforderung: Zu viele Fragen oder sich scheinbar wiederholende Fragestellungen können zur Demotivation bei der qualifizierten Beantwortung führen. Durch Maßnahmen wie angemessene Instruktionen oder angemessene Länge des Fragenkatalogs sind solche Effekte zu vermeiden.

4.3.4 Anforderungen an die Verwendungsanweisung

Für die Erstellung der Verwendungsanweisung können die grundlegenden Aussagen der VDI Norm DIN EN 82079-1:2013-06³¹ herangezogen werden. Diese Norm dient als Grundlage für die Erstellung von Gebrauchsanleitungen für Produkte (vgl. (Schmeling, 2013)). Wesentliche Anforderungen, die in der Norm enthalten sind, können auf die Erstellung der Verwendungsanweisung übertragen werden. Aus der Norm sowie aus den beiden Katalogen zugrundeliegenden Quellen ergeben sich folgende Anforderungen (vgl. (Schmidt, 2012); (itl, 2012); (Schmeling, 2013)):

D1 Orientierung an einem Architekturansatz: Der Aufbau der Verwendungsanweisung soll einem Architekturansatz folgen (siehe hierzu auch Anforderungen B5 und C1).

D2 Zielgruppenorientierung: Der Aufbau sowie das Niveau des Inhalts sollen auf die Kenntnisse der Zielgruppe der Verwendungsanweisung und deren Bedürfnisse angepasst sein.

D3 Dauerhafte Begleitung des gesamten Lebenszyklus: Die Verwendungsanweisung soll für die Kataloge auf deren gesamtem Lebenszyklus anwendbar sein.

D4 Vorgabe einer handlungslogischen Reihenfolge: Die Verwendungsanweisung soll für die Nutzung der Kataloge eine handlungslogische Reihenfolge vorgeben.

D5 Explizite Erläuterung der Darstellungskonventionen: Die in der Verwendungsanweisung verwendeten Darstellungsformen und Konventionen sollen beschrieben werden.

D6 Einhaltung von Verständlichkeitsprinzipien: Die Verwendungsanweisung soll in ihrem Aufbau vom allgemeinen Überblick zur Beschreibung von speziellen Aspekten gegliedert sein. Sie soll folgende Fragen beantworten: Was ist zu tun? Wie ist es zu tun? Des Weiteren sollen alle Formulierungen in der höchstmöglichen Kürze und Einfachheit gehalten sein sowie nur relevante Information enthalten.

Weitere Anforderungen, welche die Norm DIN EN 82079 an Gebrauchsanleitungen stellt, treffen auf die Verwendungsanweisung nicht zu, da diese sich auf materielle Produkte und insbesondere deren Handhabungsrisiken beziehen (vgl. (Schmeling, 2013)).

³¹ Die Norm DIN EN 82079-1:2013-06 trägt den Titel: ‚Erstellen von Gebrauchsanleitungen – Gliederung, Inhalt und Darstellung – Teil 1: Allgemeine Grundsätze und ausführliche Anforderungen‘ und ist das deutsche Äquivalent zur IEC 82079-1:2012 sowie die deutsche Fassung der EN 82079-1:2012 (vgl. (Schmeling, 2013)).

5 Entwurf der Konzeptkomponenten

In diesem Kapitel erfolgt die detaillierte Beschreibung des Konzeptes. In Abschnitt 5.1 werden die drei Komponenten, aus denen das Konzept besteht, eingeführt. Es werden sowohl die verwendete Vorgehensmethode zur Erstellung der Komponenten als auch die grundlegende Vorgehensweise zur Nutzung des Konzeptes beschrieben. Als Basis für die Ausführungen der folgenden Abschnitte wird der Begriff der Architektur erläutert. In Abschnitt 5.2 wird das für die Erstellung der Komponenten entwickelte syntaktische Metamodell vorgestellt. Dieses bildet die Grundlage für den Entwurf der drei Konzeptkomponenten, der in den Abschnitten 5.3 (Ordnungskatalog), 5.4 (Fragenkatalog) und 5.5 (Verwendungsanweisung) ausführlich erklärt wird.

Bestandteil dieser Arbeit ist neben der Erstellung der Komponenten auch deren initiale Befüllung. Diese wird in den Abschnitten 5.6 sowie 5.7 erläutert. Den Abschluss des Kapitels bilden die beiden Abschnitte, welche die Erweiterung des Konzeptes (5.8) sowie die beispielhafte Nutzung des Konzeptes und die Interpretation der Ergebnisse anhand dieses Beispiels (5.9) beschreiben.

5.1 Das Konzept im Überblick

Beim entwickelten Konzept handelt es sich um einen Ansatz zur Verbindung der betrachteten Themenbereiche Data Warehousing und Simulation. Dieses Konzept wird nachfolgend erläutert und besteht aus den in Abbildung 14 dargestellten und bereits in Abschnitt 4.2 hergeleiteten Artefakten.

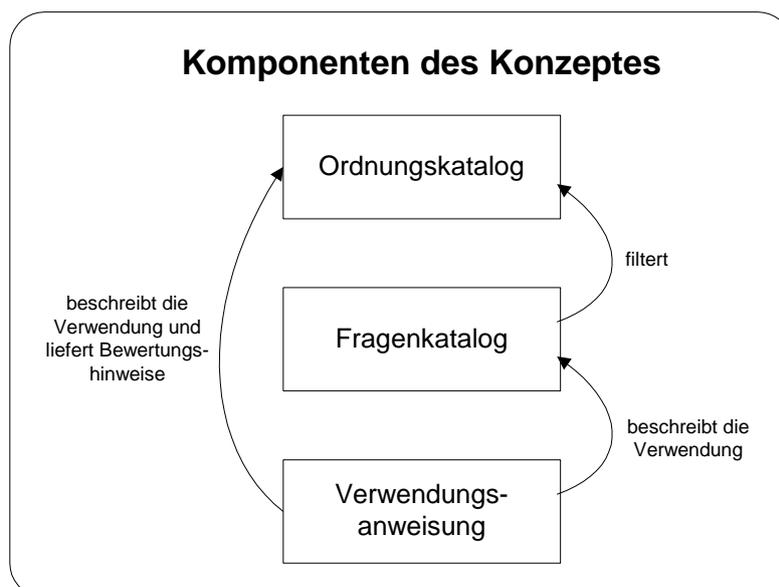


Abbildung 14: Komponenten des Konzeptes (eigene Darstellung)

Die Abbildung des Konzeptes erfolgt in drei Komponenten. Durch den Aufbau eines Ordnungskatalogs mit einem Satz an Elementen und einem Fragenkatalog mit den dazugehörigen Fragen werden entscheidungsrelevante Aspekte zur Analyse der Simulationsfragestellung dargestellt. Als Beschreibungskomponente zu den beiden Katalogen sowie als Bewertungsinstrument zur Ableitung von Handlungsempfehlungen dient eine Verwendungsanweisung.

Die Struktur und der Inhalt des **Ordnungskatalogs** dienen als Rahmen für die zu berücksichtigenden verschiedenen Aspekte der beteiligten Themenbereiche. Dabei handelt es sich um charakteristische Eigenschaften der Simulation und des Data Warehousing. Diese Aspekte sind systematisch gruppiert und in Elemente gegliedert. Sie bilden eine Obermenge, die auf eine möglichst umfassende Zahl von verschiedenen Anwendungsszenarios anwendbar ist und somit die breite Anwendbarkeit des Konzeptes gewährleistet.

Der **Fragenkatalog** resultiert unmittelbar aus dem Ordnungskatalog. Die enthaltenen Fragen bzw. Antworten dienen der Filterung der Obermenge der im Ordnungskatalog enthaltenen Elemente (bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen) bezogen auf die jeweilige Simulationsfragestellung. Dabei werden die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Anforderungen berücksichtigt. Die einzelnen Fragen erfüllen die Aufgaben der Analyse der Simulationsfragestellung und der Berücksichtigung der sich daraus ergebenden Rahmenbedingungen. Sie dienen dazu, Informationen über das Anwendungsszenario zu ermitteln und zu beachten sowie zur Identifikation der szenarioabhängigen relevanten Abstraktionsgrade und der notwendigen Aggregationsebenen. Weitere Elemente und die auf diese bezogenen Fragen dienen dazu, Informationen über die vorhandenen bzw. benötigten Datenstrukturen zu gewinnen.

Die **Verwendungsanweisung** enthält zum einen eine Bedienungsanleitung zur Nutzung der beiden Kataloge sowie eine Vorgehensweise zur Erweiterung der Komponenten. Zum anderen enthält die Verwendungsanweisung Bewertungstabellen, welche Hinweise über die Eignung der Simulationsfragestellung zur Verwendung von Inputdaten aus multidimensionalen Datenmodellen enthalten. Als Ergebnis bleiben nach Anwendung des Fragenkatalogs auf den Ordnungskatalog und durch die damit verbundene Filterung für den jeweiligen Sachverhalt relevante Elemente (bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen) übrig, die eine Antwort auf die zentrale **Konzeptfragestellung** ermöglichen sollen:

„Ist die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung anwendbar bzw. empfehlenswert und bringt sie für diese Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen?“

Sowohl die beiden Kataloge als auch die Verwendungsanweisung dürfen nicht als abschließend definierte Artefakte verstanden werden. Basierend auf speziellen Fragestellungen, Anforderungen für weitere Inhaltsdomänen oder Systemumgebungen soll die Möglichkeit bestehen, Erweiterungen vorzunehmen.

5.1.1 Vorgehensmethode zur Erstellung der Komponenten

Die Vorgehensmethode zur Erstellung der Konzeptkomponenten gliedert sich in die in Abbildung 2 dargestellten Phasen zwei bis vier. Die Methode zur Identifikation von Inhalten für die drei Komponenten orientiert sich an der in Unterabschnitt 3.1.3 vorgestellten **Aspektorientierten Zerlegungsstrategie**. Diese basiert auf der Zerlegung von Systemen nach unterschiedlichen Aspekten. Die Identifikation der relevanten Elemente, welche die Themenbereiche der analytischen und simulativen IT-Systeme im Wesentlichen und bezogen auf die datenbezogene Fragestellung charakterisieren, erfolgte durch intensive Recherche und Untersuchung zur Verfügung stehender Basis- und Aufbau-literatur (siehe dazu Einträge im Literaturverzeichnis dieser Arbeit) und durch Analyse der bestehenden Konzepte der Themenbereiche. Hierbei wurden insbesondere die Abläufe im Data Warehousing, in der diskreten Eventsimulation und im intralogistischen Prozess berücksichtigt. Zur Abgrenzung der Relevanz wurden aber auch angrenzende Bereiche der analytischen BI sowie weitere Simulationsvarianten einbezogen. In dieser Arbeit kann die Relevanz der identifizierten Elemente durch die Ausführungen in Kapitel 3 nachvollzogen werden. Wie in Abbildung 15 (als Auszug aus Abbildung 2) verdeutlicht sind die drei Phasen als iterativer Prozess zu verstehen.

Phase	Inhaltliche Zuordnung	Methoden	Referenz
2	Identifikation der relevanten Elemente innerhalb der dargestellten Systeme (operativ, analytisch, simulativ) sowie deren Attribute	konzeptionell- und argumentativ-deduktive Analyse / Literaturrecherche, Auswertung bestehender Konzepte innerhalb der Themenbereiche	Gestaltungsorientierte WI, Analysephase
3	Die Elemente werden mit entsprechenden Konfigurationskriterien ausgestattet sowie klassifiziert und strukturiert	Aspektorientierte Zerlegung	Ingenieurmäßiges Vorgehen, Merkmal der Abstraktion und Modellbildung
4	Resultat sind die Elemente des zu erstellenden Ordnungskatalogs sowie deren Konfigurationskriterien. Diese werden innerhalb der definierten Ebenen beschrieben	Aspektorientierte Zerlegung	Ingenieurmäßiges Vorgehen, Merkmal der Abstraktion und Modellbildung

iterativ

Abbildung 15: Phasen zur Erstellung des Ordnungskatalogs (eigene Darstellung)

Die Identifikation der Elemente, Eigenschaften und Ausprägungen sowie deren Einordnung in die hierarchischen Ebenen der Aspekte und Perspektiven erfolgt nach dem Bottom-Up-Ansatz. Die Identifikation der Perspektiven und der notwendigen Aspekte zur Einordnung von Elementen erfolgt parallel dazu nach dem Top-Down-Ansatz. Die Nutzung dieser beiden Ansätze zur Analyse und Strukturierung greift ineinander.

Die Einordnung der identifizierten Aspekte erfolgt in einem ebenfalls von AßMANN beschriebenen **Perspektivenmodell** (vgl. (Aßmann, 2013), S. 13 ff.), welches damit die Grundstruktur des Ordnungskatalogs bildet. Die für die initiale Erstellung des Ordnungskataloges verwendeten Aspekte, das konkrete Perspektivenmodell sowie die berücksichtigten Abstraktions- sowie Aggregationsprozesse sind detailliert in Unterabschnitt 5.3.1 beschrieben.

Innerhalb des Ordnungskatalogs werden die (durch die beschriebene Zerlegung) identifizierten Elemente orientiert am **objektorientierten Klassenparadigma** beschrieben. In der Objektorientierung beinhaltet eine Klasse die Beschreibung eines Objektes durch seine Eigenschaften und sein Verhalten (vgl. (Zeppenfeld, 2004), S. 3 f.). Die Konkretisierung bzw. die Adaption dieses Paradigmas auf die Konzeptkomponenten wird im Abschnitt 5.3 in Form der entwickelten Diagramme (siehe Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 9) näher beschrieben.

Neben den beschriebenen Prinzipien zum Aufbau, welche sich auf den Ordnungskatalog beziehen, dienen die Prinzipien der Sozialwissenschaften zur quantitativen Forschung sowie die VDI Norm (DIN EN 82079) zur Erstellung von Bedienungsanleitungen als Grundlage und architektonische Orientierung für die Komponenten Fragenkatalog und Verwendungsanweisung.

5.1.2 Vorgehensweise zur Nutzung des Konzeptes

In diesem Unterabschnitt werden die Nutzung der beiden Kataloge (Fragenkatalog und Ordnungskatalog) und die Auswertung anhand der Verwendungsanweisung beschrieben. Auch wenn die drei Komponenten in ihren Strukturen und in ihrem Aufbau bisher nicht detailliert erläutert sind, dient die frühzeitige Darstellung der Vorgehensweise zur Verwendung zum Verständnis der Zusammenhänge.

Der in Abbildung 16 beschriebene Ablauf erfüllt verschiedene Nutzenaspekte. Er ermöglicht eine systematische Herangehensweise an die Analyse und Bewertung der Simulationsfragestellung. Er führt zu der Einordnung der Simulationsfragestellung in strukturierte Abstraktionsgrade und Aggregationsebenen. Die im Fragenkatalog ausgewählten Antworten werden bezüglich der Konzeptfragestellung bewertet und ermöglichen die Einschätzung, ob und in welcher Form die Verwendung von Daten basierend auf multidimensionalen Datenmodellen sinnvoll bzw. möglich ist. Die Kataloge können in der Praxis eingesetzt werden, um eine indi-

viduelle Einzelbeurteilung der konkreten Simulationsfragestellung vorzunehmen, möglich ist die Verwendung des Konzeptes durch einen einzelnen Nutzer. Denkbar ist aber auch die Analyse der gleichen Simulationsfragestellung durch mehrere Nutzer, um die Ergebnisse anschließend zu vergleichen und Einschätzungen zu prüfen.

Führend für die **Nutzung des Konzeptes** ist die Verwendungsanweisung. Sie dient in ihren Kapiteln 1 und 2 als Einstieg im Sinne einer Bedienungsanleitung. Diese beiden Kapitel beschreiben den Aufbau und die Verwendung der Komponenten in der notwendigen Reihenfolge. Die Nutzung des Konzeptes beginnt daher in **Schritt 1** mit dem Lesen dieser beiden Kapitel. In **Schritt 2** erfolgt die Prüfung, ob die inhaltliche Domäne³² der zu analysierenden Simulationsfragestellung im Konzept abgedeckt ist. Es kann sich bei fehlender Übereinstimmung die Notwendigkeit zur Erweiterung des Konzeptes ergeben. **Schritt 3** widmet sich der Festlegung der notwendigen räumlichen Abstraktion und der zeitlichen Aggregation. Dazu dienen zwei Elemente im Ordnungskatalog, die bezogen auf die zu analysierende Simulationsfragestellung angepasst werden können. Die Angleichung der initial gewählten Einteilungen dient der Individualisierung des Konzeptes auf die konkrete Fragestellung und gibt bezüglich der relevanten Dimensionen und deren Struktur Hinweise für den optimierten Datentransfer aus dem Data Warehouse. Daher ist eine Anpassung anzuraten, um die zeitlichen bzw. räumlichen Blickwinkel möglichst genau abzudecken. In **Schritt 4** erfolgt die Analyse der Simulationsfragestellung durch die Beantwortung der Fragen des Fragenkatalogs. Die Fragen dienen der Konfiguration des Ordnungskatalogs und filtern dessen Obermenge an Elementen bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen gemäß den gewählten Antworten. In diesem Schritt dienen die Erläuterungen des Ordnungskatalogs zu den einzelnen Elementen dem Verständnis und zur Unterstützung bei der Beantwortung der Fragen. Nach Beantwortung aller Fragen dienen in **Schritt 5** die in der Verwendungsanweisung ab Kapitel 4 enthaltenen Bewertungstabellen dazu, eine Antwort auf die zentrale Konzeptfragestellung zu geben. Zu allen Elementen, Eigenschaften und Ausprägungen sind textliche Bewertungshinweise in der Verwendungsanweisung enthalten, die bei der Interpretation der Ergebnisse unterstützen. **Schritt 6** stellt die letzte Tätigkeit dar, welche in der Nutzung der Bewertungshinweise besteht. Der Ablauf ist in Abbildung 16 grafisch dargestellt:

³² Im Ordnungskatalog erfolgt die Strukturierung auf oberster Ebene anhand von Perspektiven. Unterschiedliche inhaltliche Themenbereiche werden in der Domänenperspektive durch unterschiedliche Domänen abgebildet. Daher ist es notwendig zu prüfen, ob die in der zu analysierenden Simulationsfragestellung abzubildende inhaltliche Domäne bereits in der Domänenperspektive vorhanden ist. Eine ausführliche Erläuterung dieses Prinzips erfolgt in Unterabschnitt 5.3.1.

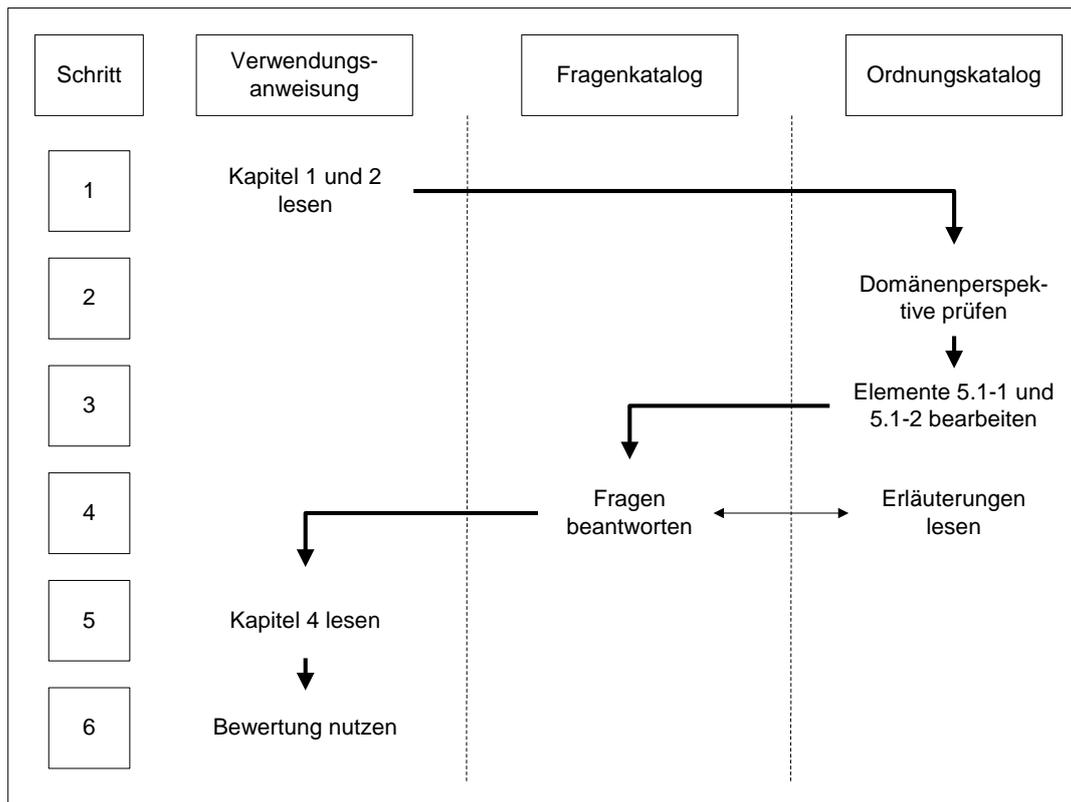


Abbildung 16: Ablauf der Nutzung des Konzeptes (eigene Darstellung)

5.1.3 Erläuterung des Architekturbegriffes

Der Begriff **Architektur** beschreibt allgemein betrachtet die Struktur eines Gegenstands, welche sowohl robust gegen Änderungen sein als auch eine angemessene Ästhetik³³ aufweisen sollte. Zudem sind statische, strukturbildende sowie dynamische Aspekte zu berücksichtigen (vgl. (Bange et al., 2009), S. 3, S. 34). Beim Design von Software wird der Begriff der Software-Architektur ähnlich verwendet. Software-Architektur beinhaltet hier neben den strukturellen und statischen ebenfalls dynamische und auf Interaktion bezogene Aspekte (vgl. (Andresen, 2003), S. 43). Die in dieser Arbeit entwickelte Architektur dient dazu, die beim Aufbau verwendete Struktur und Dynamik in den Elementen aller drei Komponenten von den fachspezifischen Aspekten der Themenbereiche zu abstrahieren. Außerdem dient sie dazu, einen einheitlichen Sprach- und Klassifikationsumfang³⁴ für alle Elemente zu gewährleisten und somit die Erweiterung der Komponenten über die gewählte inhaltliche Domäne der Intralogistik hinaus zu ermöglichen.

³³ Als Ästhetik wird im Allgemeinen die Lehre von der Gesetzmäßigkeit und Harmonie in Natur und Kunst verstanden (vgl. (Duden, 2002). Im Zusammenhang mit dem Begriff der Architektur (des zu entwickelnden Konzeptes) bezieht sich diese auf die Anwendung von Gesetzmäßigkeiten zur Struktur.

³⁴ In den Bibliothekswissenschaften dienen Klassifikationen zur Systematisierung und Bildung von Hierarchierungen durch (nichtnatürlichsprachige) Notationen z. B. in (Online-) Katalogen (vgl. (Stock und Stock, 2008), S. 192).

5.2 Das syntaktische Metamodell

Wie in Unterabschnitt 3.1.1 beschrieben, ist die Aufgabe eines Metamodells, eine für die Modellierung durchgängige syntaktische Basis zu schaffen. Daher basieren alle drei Komponenten des Konzeptes auf einem solchen syntaktischen Metamodell. Dieses wird durch das Elementdiagramm (siehe Tabelle 6), das Fragediagramm (siehe Tabelle 7) und die Bewertungstabelle (siehe Tabelle 9) repräsentiert. Das Metamodell dient sowohl für die in dieser Arbeit vorgenommene initiale Befüllung als auch für mögliche zukünftige Erweiterungen der Komponenten als Syntaxrahmen. Im Metamodell sind folgende Notationsregeln enthalten:

- Regeln zur Benennung der Elemente im Ordnungs- und Fragenkatalog;
- Regeln zur Identifikation (Nummerierung) der Elemente im Ordnungs- und Fragenkatalog;
- Regeln zur Festlegung der Konfigurationskriterien für die den Elementen zugeordneten Eigenschaften und Ausprägungen;
- Regeln zur Syntax der Filterbedingungen im Ordnungs- und Fragenkatalog.

Die einzelnen Syntaxregeln sind in den nachfolgenden Abschnitten detailliert erklärt. Das um das Metamodell ergänzte Konzept ist in Abbildung 17 dargestellt:

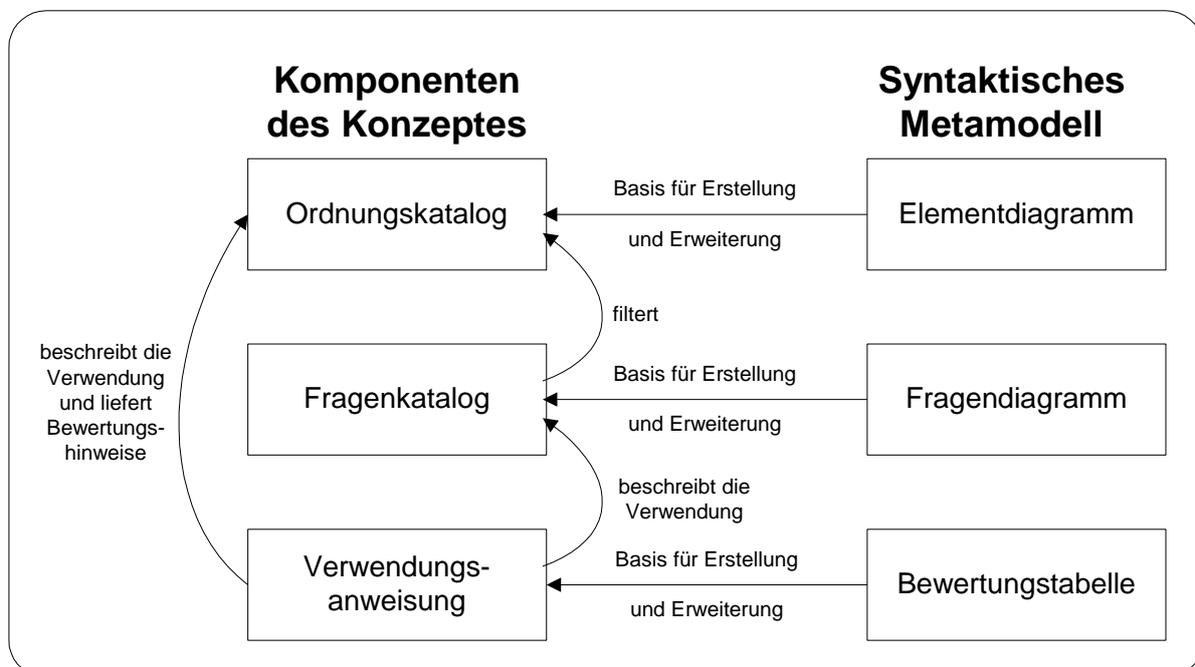


Abbildung 17: Erweiterung des Konzeptes um das syntaktische Metamodell (eigene Darstellung)

5.3 Entwurf des Ordnungskatalogs

Der Begriff der **Ordnung** steht für die Sortierung von Elementen, die Bildung von Rangordnungen sowie in der Mathematik innerhalb der Gruppen- bzw. rationalen Zahlentheorie für die Bildung von Ordnungsrelationen (vgl. (Müller-Fonfara, 1995), S. 68 f.). Der sowohl im Themenbereich Simulation als auch Data Warehousing verwendete Begriff des ‚Elements‘ repräsentiert im Ordnungskatalog einen nicht weiter unterteilbaren oder als nicht weiter unterteilbar betrachteten Gesichtspunkt. Zur Strukturierung der Elemente dient der Aspektraum (bzw. Belangraum). Er gruppiert eine Menge von Aspekten (bzw. Belangen) in einer algebraischen Struktur zur Gliederung (vgl. (Aßmann, 2011)).

Dem Ordnungskatalog liegt der Anspruch zugrunde, Elemente aus den Themenbereichen zu strukturieren. Bezogen auf die Welt dynamischer diskreter Systeme formuliert LIEBL diesen Anspruch folgendermaßen: *„Um komplexe dynamische Systeme abbilden zu können, bedarf es eines differenzierten Instrumentariums. Im Rahmen der Modellerstellung sind die relevanten Bestandteile des Systems zu identifizieren und zu klassifizieren. Zudem hat eine geeignete Charakterisierung der Bestandteile zu erfolgen.“* ((Liebl, 1995), S. 87). Diesen vier Ansprüchen (Identifikation, Differenzierung, Klassifizierung und Charakterisierung) wird durch die Einordnung der Elemente in die nachfolgend beschriebenen Strukturen des Ordnungskatalogs nachgekommen.

Abgeleitet von der Theorie der Ordnungsrelationen und damit auch unter Verwendung des Begriffs ‚Ordnung‘ werden in dem hier beschriebenen Katalog (nachfolgend Ordnungskatalog) die durch Zerlegung identifizierten thematischen Aspekte durch Elemente, gruppiert in Aspekten, abgebildet und anhand von Eigenschaften und deren Ausprägungen beschrieben. Die Begriffe der **Eigenschaft** sowie der **Ausprägung** orientieren sich am in Abschnitt 5.1 genannten objektorientierten Klassenparadigma. In der Objektorientierung dienen die Attribute einer Klasse zur Beschreibung der Eigenschaften eines Objektes. Für jedes Attribut müssen (Werte-) Bereiche gültiger Ausprägungen definiert werden (vgl. (Zeppenfeld, 2004), S. 3 f.). Wie in der Objektorientierung dienen die Eigenschaften im Ordnungskatalog der Beschreibung des Elements. Die Ausprägungen stellen die jeweils identifizierten Wertebereiche jeder Eigenschaft dar. Ebenfalls können im Ordnungskatalog gleiche Eigenschaften, abhängig vom Element bzw. dessen Elementklasse, unterschiedliche Ausprägungen haben (z. B. die Eigenschaft *Variante*).

Zusätzlich werden den Elementen **Konfigurationsfilter** zugeordnet, die auf verschiedenen **Filterstufen** angeordnet sind. Diese Konfigurationsfilter werden durch die Verwendungsanweisung bzw. den Fragenkatalog genutzt. Der Fragenkatalog dient zur Filterung der Elemente anhand ihrer Eigenschaften und Ausprägungen. Resultat ist dann eine Untermenge der im Ordnungskatalog enthaltenen Elemente, die einen Empfehlungscharakter für die be-

trachtete Simulationsfragestellung haben, unter welcher der Fragenkatalog beantwortet wurde.

5.3.1 Aufbau und Struktur des Ordnungskatalogs

Der Ordnungskatalog gliedert sich in mehrere **Ordnungsebenen**, welche durch die algebraische Struktur der Ordnungs-, Eigenschafts- und Ausprägungszahlen differenziert werden. In jeder Ordnungsebene wird durch diese Differenzierung eine eindeutige Kennzeichnung und Identifikation der Elemente, Eigenschaften und Ausprägungen ermöglicht.

Ordnungsebene 1 stellt fünf Perspektiven dar, die nachfolgend detaillierter erläutert werden. Innerhalb dieser Perspektiven werden auf Ordnungsebene 2 verschiedene Aspekte unterschieden. Die beiden Ordnungsebenen werden nachfolgend unter dem Oberbegriff des Klassifikationssystems zusammengefasst.

Im Ordnungskatalog werden Elemente im Rahmen dieser Arbeit zu initialen Befüllung eingeordnet, die sich mit Aufgabenstellungen im thematischen Rahmen der operativen, analytischen und simulativen IT-Systeme in der Intralogistik beschäftigen bzw. diese beeinflussen.

Klassifikationssysteme

Das Klassifikationssystem bildet den strukturellen Rahmen für den Ordnungskatalog und wird mit dem ersten Teil der Ordnungszahl abgebildet. Diese hat den Aufbau [n].[m]. Beide Teile werden nachfolgend als Identifikation (ID) bezeichnet. Grundlage eines Klassifikationssystems ist die Abbildung hierarchischer Relationen. Abbildung 18 stellt zwei Hierarchien exemplarisch dar:



**Abbildung 18: Hierarchien in Klassifikationssystemen
(vgl. (Manecke, 1997))**

Das wesentliche Merkmal für die Unterteilung wird häufig als Gattungsbegriff bezeichnet, auf den in der nächsten Hierarchieebene ein Artbegriff folgt. Die hierarchischen Strukturen eines Klassifikationssystems können in Mono- und Polyhierarchien unterschieden werden. Von Monohierarchien wird gesprochen, wenn in der Top-Down-Hierarchie zwar eine 1:N Beziehung bestehen kann, in der Bottom-Up-Hierarchie aber immer eine eindeutige 1:1 Beziehung

existiert. In Polyhierarchien können dagegen sowohl Top-Down als auch Bottom-Up 1:N Beziehungen existieren (vgl. (Manecke, 1997), S. 142 ff.).

Bei der Einordnung von Begriffen in ein Hierarchiegefüge empfiehlt MANECKE die Orientierung an den Grundregeln der formalen Logik, um innerhalb der Klassifikationen Widerspruchsfreiheit zu erhalten (vgl. (Manecke, 1997), S. 142 ff.). Der Aufbau eines Klassifikationssystems ist als kontinuierlicher Prozess zu verstehen. Dieser kann sowohl als Top-down-Ansatz (Systematisches Studium zum thematischen Bereich z. B. basierend auf Lehrbüchern) als auch als Bottom-Up-Ansatz (Konsultation zukünftiger Nutzer und Analyse einzelner zu klassifizierender Dokumente) (siehe auch Unterabschnitt 3.1.1) erfolgen. Basierend auf einer der beiden Methoden erfolgt die Inhaltserschließung sowie die Extraktion relevanter Begriffe (vgl. (Stock und Stock, 2008), S. 220 f.). Die gewählte Methode für den Aufbau des dem Ordnungskatalog zugrunde liegenden Klassifikationssystems orientiert sich am Top-down-Ansatz (siehe Unterabschnitt 3.1.1) und dient der Bildung der Perspektiven, der Aspekte sowie der Identifikation der Katalogelemente.

Um Elemente zu identifizieren und den Perspektiven eines Perspektivenmodells zuzuordnen, bedarf es einer Zerlegungs- bzw. Zuordnungsstrategie. Wie bereits beschrieben orientiert sich diese Arbeit an der Aspektorientierten Zerlegung, bei deren Anwendung Elemente anhand definierter Aspekte (innerhalb der Perspektiven) eingeordnet werden. In den nachfolgenden Unterabschnitten folgt die Beschreibung des gewählten Perspektivenmodells sowie der angewendeten Zerlegungsstrategie.

Ordnungsebene 1: Perspektiven

Die Aufteilung des Ordnungskatalogs auf oberster Ebene (der Katalogarchitektur) in Perspektiven orientiert sich daran, dass die identifizierten Elemente aus den Themenbereichen Data Warehousing, Simulation und Intralogistik anhand jeweils eines wesentlichen Aspektes einer Perspektive zugeordnet werden können. Durch die Verknüpfung gemeinsamer konfigurierbarer Eigenschaften zwischen den Elementen entsteht wiederum eine Kopplung, welche die Gesamtsicht auf den Ordnungskatalog ermöglicht (vgl. (Goll, 2011), S. 74).

Für das zu erstellende Perspektivenmodell ist die Auswahl der Perspektiven basierend auf der Klassifikation der für die Identifizierung der Elemente zugrunde gelegten Aspekte zu treffen. Neben den funktionalen Aspekten sind im Themenbereich der Simulation vor allem die Modellbildung und die Abbildung von Prozessen relevant. Diese Aspekte können unter dem Begriff der Systemgestaltung zusammengefasst werden und führen zur Definition der Gestaltungsperspektive. Abläufe und Funktionen werden in der Steuerungsperspektive abgebildet. Die Basisperspektive stellt insofern eine Besonderheit dar, da diese Perspektive ausschließlich Elemente enthält, die keine Konfigurationseigenschaften enthalten. Die in der Transform-

mationsperspektive zugeordneten Elemente stellen die begriffliche Transformation des Themenbereiches Data Warehousing in den Themenbereich der Simulation dar.

Die bis hierher beschriebenen vier Perspektiven werden als Kernperspektiven des Katalogs bezeichnet. Die Differenzierung in die Kernperspektiven und die Domänenperspektive erfolgt, da die Erzeugung des Inhalts der vier Kernperspektiven unter der Prämisse erfolgt, dass dieser von domänenspezifischen Aspekten weitestgehend unabhängig sind. Aspekte der jeweils zu betrachtenden inhaltlichen Domänen sind auf die Domänenperspektive konzentriert. Für die Erzeugung der Elemente in der Domänenperspektive dient das in Unterabschnitt 3.1.3 beschriebene objektorientierte Prinzip der Instanziierung. In dieser Perspektive des Perspektivenmodells werden zum einen domänenspezifische Elemente als Instanzen der Elemente aus den Kernperspektiven abgebildet. Zum anderen werden für domänenspezifische Elemente auch einzelne Eigenschaften aus den Kernperspektiven heraus instanziiert.

Damit setzt sich das Perspektivenmodell aus folgenden fünf Perspektiven zusammen. Diese bilden Teil 1 [n] der Ordnungszahl.

Die **Gestaltungsperspektive** führt die Identifikation [1]. Sie beinhaltet Aspekte, welche die zu analysierende Fragestellung (z. B. einer Simulationsstudie oder Modellierung) gestalten. Die Aspekte bilden die Grundstrukturen der konkreten Simulationsstudie ab. In der Gestaltungsperspektive sind auch Aspekte zugeordnet, die zur Klärung von Modellierungsaspekten sowie zur Phaseneinordnung der Simulationsstudie beitragen.

Die **Steuerungsperspektive** führt die Identifikation [2]. Sie enthält Aspekte, die sich mit der Handhabung des Faktors Zeit beschäftigen, infrastrukturelle und technische Aspekte betrachten sowie die äußeren Einflüsse bezüglich der Inputdaten betrachten. Es handelt sich um Komponenten von Simulation bzw. Data Warehousing, welche die Steuerungsaspekte abbilden, wie beispielsweise die Art des Zeitfortschrittsmechanismus, den zu betrachtenden Zeithorizont, die Simulationsmethode oder Konfigurationsregeln.

Die **Basisperspektive** führt die Identifikation [3]. Sie enthält Aspekte, die sich mit Aktionen (Wann, Womit, Wodurch), Entitäten (an welchem Objekt), Funktionen (Was) und Strukturobjekten beschäftigen. In dieser Perspektive sind Elemente enthalten, die keine Konfigurations- bzw. Filtereigenschaften haben, sondern nur beschreibende Eigenschaften. Im Ordnungskatalog sind diese zum einen enthalten, um den Empfehlungscharakter der Ergebnismenge mit möglichst konkreten Informationen anzureichern. Zum anderen dienen sie als Basis für die Instanziierung der konkretisierten Elemente der Domänenperspektive.

Die **Transformationsperspektive** führt die Identifikation [4]. Diese Perspektive dient zur Überführung der Konzepte des multidimensionalen Datenmodells in die Strukturen des Da-

teninputs für Simulationen. Sie beinhaltet Aspekte zu Dimensionen und Fakten und überträgt deren Konzepte in Subjekte, Objekte und Instrumente eines Simulationsmodells.

Die **Domänenperspektive** führt die Identifikation [5]. Sie beinhaltet relevante Aspekte zur gewählten Inhaltsdomäne Intralogistik. Diese Perspektive kann zukünftig um weitere Inhaltsdomänen erweitert werden. Bei den Elementen bzw. teilweise bei Eigenschaften handelt es sich um instanziierte Objekte aus den Perspektiven 1 – 4. In dieser Perspektive sind beispielsweise auch Datenselektionselemente eingeordnet, die dazu führen, dass z. B. eine Eingrenzung von Daten aus dem Data Warehouse oder dem operativen System erfolgt, bezogen auf die exemplarisch definierten Elemente <ZEIT> (Aggregationsebenen) und <ORT> (Abstraktionsgrade).

Ordnungsebene 2: Aspekte

Die Ordnungsebene 2 *Aspekte* unterteilt sich in die für die Zerlegungsstrategie jeweils als führend bzw. ausschlaggebend für die Einordnung definierten Aspekte. Sie bilden jeweils Teil 2 [m] der Ordnungszahl. Innerhalb des Klassifikationssystems (Perspektive und Aspekt) werden die Elemente sequentiell durchnummeriert.

Beschreibung des Perspektivenmodells

Zu den fünf definierten Perspektiven werden jeweils disjunkte Aspekte zugeordnet, welche die relevanten Gesichtspunkte der Zerlegung darstellen. Innerhalb der Gestaltungsperspektive sind Modellaspekte [1] sowie Prozessaspekte [2] eingeordnet. In der Steuerungsperspektive sind Aspekte zum Außeneinfluss [1], Zeitaspekte [2], Infrastrukturaspekte [3] sowie Technikaspekte [4] enthalten. In der Basisperspektive [3] sind Aspekte zu Aktionen [1], Entitäten [2] und Funktionen [3] definiert. In der Transformationsperspektive sind Aspekte zu Fakten (Kenngrößen) [1] und Dimensionen [2] sowie die Granularitätsaspekte [3] enthalten. Die Domänenperspektive stellt Instanzen der Aspekte der vier vorher genannten Kernperspektiven dar. Initial ist in der Domänenperspektive die inhaltliche Domäne der Intralogistik [1] enthalten.

Abbildung 19 stellt das Perspektivenmodell grafisch dar. Es enthält die fünf auf Ordnungsebene 1 angesiedelten Perspektiven sowie die innerhalb der Perspektiven identifizierten Aspekte:



Abbildung 19: Perspektivenmodell mit zugeordneten Aspekten (eigene Darstellung)

Ordnungsebene 3: Element, Eigenschaft und Ausprägung

Unterhalb der Ordnungsebenen 1 und 2 sind die Elemente in Ordnungsebene 3 abgebildet. Die Elemente sind auf dieser Ebene sequentiell durchnummeriert. Unterhalb der Ordnungsebene 3 sind für das zu beschreibende Element Eigenschaften und deren Ausprägungen definiert. Die Beschreibung der Elemente unter Verwendung von Eigenschaften und deren Ausprägungen orientiert sich am Klassenparadigma der Objektorientierung. Das Prinzip der Klasse beinhaltet, dass jede Klasse durch einen Namen, mehrere Attribute sowie Methoden definiert wird. Unter einer Klassenbildung wird verstanden, dass Objekte (Elemente) mit gleichen Attributen sowie gleichen Methoden zusammengefasst werden (vgl. (Goll, 2011), S. 285 f.; (Zeppenfeld, 2004), S. 3 ff.). Das Grundprinzip der Klassenbildung von Elementen sowie die Beschreibung der Elemente durch Attribute, im Folgenden Eigenschaften und Ausprägungen genannt, und Methoden, im Folgenden durch Konfigurationskriterien abgebildet, wird bei der Definition der Ordnungskatalogelemente übernommen.

Für die Definition der Attribute der Elemente wurden verschiedene Arten von Eigenschaften verwendet. Wesentliche Eigenschaften des Ordnungskatalogs sind die Abstraktion und die Aggregation. Neben diesen strukturellen (*Abstraktions-*) und zeitlichen (*Aggregations-*) Eigenschaften können für Elemente auch andere Eigenschaften zutreffen. Vor allem bei Elementen der Kernperspektiven wird die Eigenschaft der *Variante* verwendet. Innerhalb aller Elementeigenschaften sind die Attribute disjunkt zueinander zu verstehen.

5.3.2 Wirkungszusammenhänge zwischen den Katalogen

Zwischen den Elementen des Ordnungskataloges und des Fragenkatalogs bestehen verschiedene Wirkungszusammenhänge. Innerhalb der beschriebenen Struktur der Perspektiven sind Aspekte zugeordnet. Das Verhältnis zwischen Perspektive und Aspekt ist eine 1:n-Beziehung. Jedem Aspekt sind ein oder mehrere Elemente zugeordnet. Das Verhältnis zwischen Aspekt und Element ist ebenfalls eine 1:n-Beziehung. Die Elemente enthalten mehrere Eigenschaften. Gleiche Eigenschaften können wiederum mehreren Elementen zugeordnet sein, daher besteht zwischen Element und Eigenschaft eine m:n-Beziehung. Die den Eigenschaften zugeordneten Ausprägungen sind wiederum eindeutig. Eine Eigenschaft hat aber immer mehrere Ausprägungen. Das Verhältnis ist daher eine 1:n-Beziehung.

Den Eigenschaften und Ausprägungen sind basierend auf den Ordnungszahlen Filterkriterien zugeordnet. Diese dienen als Basis für die Zuordnung der Filter im Fragenkatalog. Für jede konfigurierbare Eigenschaft im Ordnungskatalog gibt es eine Frage im Fragenkatalog. Die der Eigenschaft zugeordneten Ausprägungen bilden in der Frage die Antwortmöglichkeiten. Durch Beantwortung der Frage entsteht als Resultat die Konfiguration. Die Summe aller beantworteten Fragen bildet den konfigurierten Ordnungskatalog. Zu nahezu jeder Ausprägung ist in der Bewertungstabelle (in der Verwendungsanweisung) ein Bewertungshinweis enthalten. Dies gilt sowohl für konfigurierbare Eigenschaften und deren Ausprägungen sowie für nicht konfigurierbare Eigenschaften und deren Ausprägungen. Einzige Ausnahme stellen reine Beispieleigenschaften dar, welche als keinen funktionalen Einfluss auf die Ergebnismenge der Bewertungshinweise haben. Die Summe der Bewertungshinweise bildet den Nutzen des Konzeptes ab.

Bildlich dargestellt wird der Zusammenhang des Konzeptes in Abbildung 20:

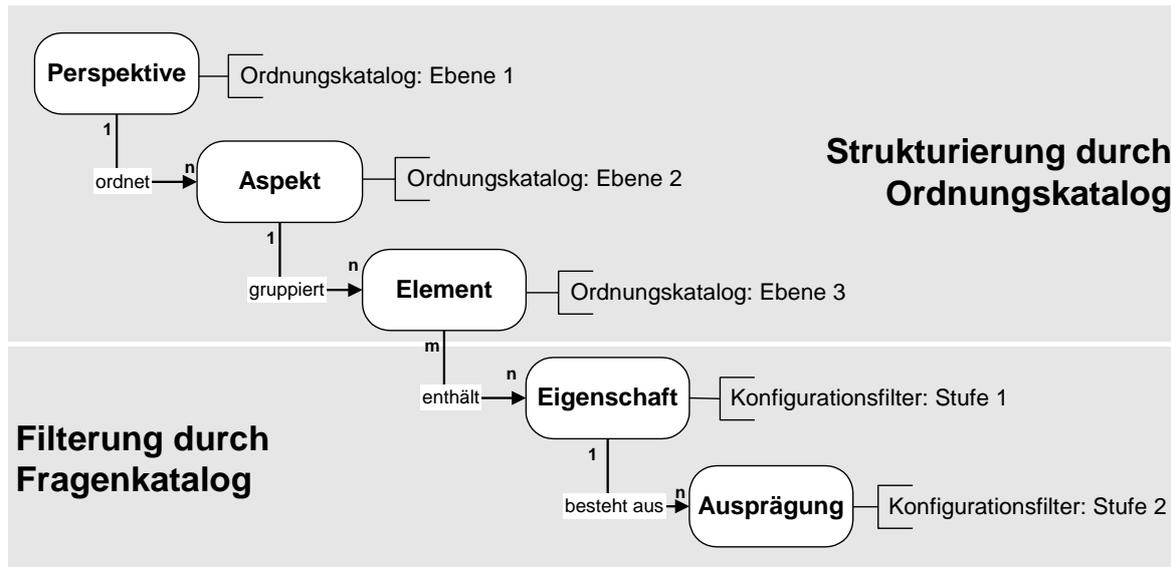


Abbildung 20: Ebenen und Zusammenhänge der Kataloge (eigene Darstellung)

Einer der wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Perspektiven des Ordnungskataloges ist der Instanzcharakter der Domänenperspektive. Die Domänenperspektive enthält Elemente, die grundsätzlich als Instanzen eines Elementes der vier domänenneutralen Perspektiven gebildet sind. Das gleiche Prinzip findet bei einzelnen Eigenschaften von Elementen ebenfalls Anwendung. Damit bleibt die thematische Unabhängigkeit der vier Perspektiven gewahrt, und die Erweiterung der Konzeptkomponenten kann sich in den meisten Fällen auf die Domänenperspektive beschränken.

Verschiedenen Elementen sowohl innerhalb der Kernperspektiven als auch in der Domänenperspektive sind die beiden Eigenschaften Abstraktion und Aggregation zugeordnet. Die Stufen der Klassifikationshierarchie der beiden Elemente können jeweils domänenspezifisch angepasst werden, da die Konfiguration mittels der aus diesen Elementen resultierenden Eigenschaften Abstraktion und Aggregation jeweils auf die drei Hauptebenen abgestimmt ist. Für die Konfiguration der Ausprägungen dieser beiden Eigenschaften wird jeweils für die räumliche und für die zeitliche Strukturierung eine zentrale Fragestellung verwendet. Die Entscheidung, welcher Abstraktionsgrad bzw. welche Aggregationsebene für die Simulationsfragestellung relevant ist, gilt für alle betrachteten Inputdaten bezogen auf eine Anzahl von Simulationsexperimenten einheitlich. Es können mehrere Abstraktions- und Aggregationsgrade ausgewählt werden. Bei der Extraktion eines einzelnen Datensets als Input für ein Simulationsexperiment ist jedoch darauf zu achten, dass die gewählten Abstraktions- und Aggregationsgrade aufeinander abgestimmt sind. Beispielhaft bedeutet dies, dass bei einer Verwendung von Auftragsdaten auf Monatebene aggregiert auch Daten zu Transportbewegungen oder Lagervorgängen auf Monatebene betrachtet werden sollten. Eine weitere Betrachtung auf einer höheren Aggregationsebene (z. B. Daten für ein Quartal) oder auf einer niedrigeren Ag-

gregationsebene (z. B. Daten für eine Woche) können dann als geschlossenes Datenset wiederum extrahiert und verwendet werden.

5.3.3 Das Elementdiagramm

Alle Elemente des Ordnungskatalogs sind durch ein allgemein gültiges Elementdiagramm bzw. die im Diagramm enthaltenen Attribute beschrieben. Ein **Musterdiagramm zur Beschreibung der Elemente des Ordnungskatalogs** ist nachfolgend abstrahiert dargestellt.

Ordnungszahl	Lfd. Nr	Elementname	
		Beschreibung	
„E“ + Eigenschaftszahl		Eigenschaft	Filterstufe 1
		Ausprägungs-ID	Ausprägung
	
...	
	
Verweise, Quellenangaben			

Tabelle 6: Abstrahiertes Elementdiagramm

Erläuterung der Beschreibungsparameter:

Ordnungszahl	Erste und Zweite Ordnungsebene des Klassifikationssystems. Die Ordnungszahl bildet sich aus der Perspektive und dem Aspekt
Lfd. Nr.	Laufende Nummer des Elements innerhalb der Ordnungszahl auf Ordnungsebene 3
Elementname	Bezeichnung des Elements, welches beschrieben wird
Beschreibung	Kurze Beschreibung des Elements
Eigenschaftszahl	Konstante ‚E‘ und Eigenschaftszahl
Eigenschaft	Bezeichnung der Eigenschaft, für welche die relevanten Ausprägungen beschrieben werden.
Filterstufe 1	Die Filterstufe 1 ist so definiert, dass sie eine Eigenschaft aufgrund der Beantwortung des Fragenkatalogs aus der Ergebnismenge filtert.
Ausprägungs-ID	Identifikation innerhalb der Ausprägungen
Ausprägung	Bezeichnung der Ausprägung. Diese Einträge bilden gleichzeitig die Antwortmöglichkeiten des Fragenkataloges
Filterstufe 2	Die Filterstufe 2 ist so definiert, dass sie eine Ausprägung aus der Ergebnismenge filtert.

Verweise	Relevante Literaturverweise, Quellenangaben usw. Bei allen angegebenen Quellen und Literaturverweisen handelt es sich um vergleichende Angaben. Die im Elementdiagramm aufgeführten Verweise beziehen sich auch auf die Beschreibungen und Erläuterungen des Elements im textlichen Teil.
----------	---

Im Ordnungskatalog werden verschiedene Arten von Elementen unterschieden. In den Kernperspektiven gibt es folgende Elementarten:

- **Konfigurationselemente**
Diese Elemente beinhalten Eigenschaften und Ausprägungen mit zugeordneten Filterkriterien. Diese werden durch die Antworten aus dem Fragenkatalog konfiguriert.
- **Beschreibungselemente**
Diese Elemente besitzen keine Filterkriterien. Sie beschreiben (z. B. Daten-) Objekte, die in Simulationsstudien benötigt werden und dienen als Quelle für die Instanziierung dieser Objekte in der Domänenperspektive. Außerdem dienen beschreibende Elemente vor allem den in Tabelle 8 beschriebenen Zielgruppen der Data Warehousing Experten und der fachfremden Anwender als Erklärung für typische in Simulationsmodellen verwendete Elemente. Für den Simulationsexperten sind die in der Transformationsperspektive enthaltenen Beschreibungselemente als entsprechende Erklärungen zum Data Warehousing enthalten.

Für beide Elementarten sind in der Verwendungsanweisung Handlungsempfehlungen enthalten. Zu jedem Element gehört eine Beschreibung. Diese dient zur Erklärung der Elemente sowie der zugeordneten Eigenschaften und Ausprägungen im fachlichen Zusammenhang.

5.3.4 Syntax der Filterbedingungen

Für die zwei Ebenen Eigenschaft und Ausprägung können Konfigurationsfilter definiert werden. Diese Konfigurationsfilter beinhalten folgende Syntaxelemente:

Element-ID	Die Angabe einer Element-ID muss Bestandteil des Konfigurationsfilters sein. Sie hat folgenden Aufbau: <Ordnungszahl>-<Lfd. Nr>-<Eigenschaftszahl>-<Ausprägungszahl>
Bedingung	XOR = exklusive ODER-Verknüpfung OR = ODER-Verknüpfung AND = UND-Verknüpfung NOT = Negation der Auswahl (bei Ja/Nein-Antworten)
Trennzeichen <,>	Trennzeichen für mehrere Element-IDs
Bereichszeichen <:>	Eine Menge von Element-IDs, die lückenlos aufeinander folgen

Bei Elementen mit nur einer Eigenschaft bewirkt die Filterstufe 1, dass nicht nur die Eigenschaft gefiltert wird, sondern das gesamte Element aus der Ergebnismenge heraus fällt. Diese Regelung gilt für alle Elemente der Domänenperspektive.

5.4 Entwurf des Fragenkatalogs

Der Fragenkatalog dient der Filterung anhand der an den Eigenschaften und Ausprägungen hinterlegten Konfigurationskriterien.

Die Verwendung von Fragenkatalogen bzw. Fragebögen ist in den Sozialwissenschaften als quantitative Forschungsmethode sehr verbreitet. Die Methode wird dort verwendet, um für Forschungsprozesse quantifizierbare und statistisch verarbeitbare Datengrundlagen zu erzeugen (vgl. (Böhm-Kasper et al., 2009), S. 20). Auch wenn der Verwendungszweck des in dieser Arbeit beschriebenen Fragenkataloges nicht der empirischen Sozialforschung dient, werden Aufbau und Struktur des Kataloges aus den von diesem Forschungsgebiet abgeleiteten Anforderungen (siehe Unterabschnitt 4.3.3) hergeleitet.

5.4.1 Das Fragediagramm

Alle Fragen des Fragenkatalogs sind durch ein allgemein gültiges Fragediagramm bzw. die im Diagramm enthaltenen Attribute beschrieben. Ein **Musterdiagramm zum Fragenkatalog** ist in Tabelle 7 abstrahiert dargestellt.

Identifikation	Frage		
	Erläuterungen		
Antwortmöglichkeiten	Ausprägungs-ID	Antwortmöglichkeit / Ausprägung	Zugeordnetes Filterkriterium

Elemente	Filterstufe 1	<Ordnungszahl + Lfd. Nr. + Eigenschaftszahl>	
	Filterstufe 2	<Element-ID>	

Tabelle 7: Abstrahiertes Fragediagramm

Erläuterung der Parameter des Fragediagramms:

Identifikation	Jede Frage wird durch eine laufende Nummer identifiziert
Frage	Formulierte Fragestellung
Erläuterungen	Ggf. Erläuterungen, wie die Frage bezogen auf den Kontext zu verstehen ist sowie Instruktionen zur Beantwortung.

Antwortmöglichkeiten	Die Antwortmöglichkeiten ergeben sich aus den Elementen des Ordnungskataloges bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen.
Zugeordnetes Filterkriterium	Es werden alle Ausprägungen des Ordnungskataloges aufgeführt, auf welche die Antwort als Filter wirkt.
Anwendung auf Konfigurationsfilter	Es werden die Konfigurationsfilter der verschiedenen Ebenen beschrieben, auf welche die Frage Auswirkungen hat.
Filterstufe 1	Filter dieser Ebene werden durch die Ordnungszahl + Lfd. Nr. + Eigenschaftszahl identifiziert
Filterstufe 2	Filter dieser Ebene werden durch die vollständige Element-ID identifiziert

Im Fragenkatalog werden zwei Gruppen von Fragen unterschieden:

- **Obligatorische Fragen**

Die Gruppe der obligatorischen Fragen bildet die wesentlichen Analyseaspekte der Simulationsfragestellung ab. Daher sollten diese Fragen beantwortet werden.

- **Fakultative Fragen**

Die Gruppe der fakultativen Fragen bildet zum einen die Fragen zur Domäne ab und zum anderen Fragen zu Eigenschaften, deren Einfluss auf die Nutzbarkeit multidimensionaler Daten weniger relevant ist. Die obligatorischen Fragen können unbeantwortet bleiben. Zur Verbesserung der Handlungsempfehlung in der Ergebnismenge ist eine Beantwortung soweit möglich zu empfehlen.

Ziel dieser Aufteilung ist es, die Verwendung des Konzeptes auch dann zu ermöglichen, wenn zu der zu analysierenden Simulationsfragestellung nur unvollständige Informationen vorliegen. Die Fragen sind in die beiden Bereiche <An> und <Bn> unterteilt. Im Bereich <A> sind die Fragen zu den Elementen der Kernperspektiven eingeordnet. Im Bereich sind die domänenspezifischen Fragen (initial für die Domäne der Intralogistik) enthalten.

5.5 Entwurf der Verwendungsanweisung

Die Verwendungsanweisung dient zum einen als Leitfaden für die Nutzung von Ordnungskatalog und Fragenkatalog. Zum anderen enthält sie verschiedene Bewertungstabellen zur Auswertung der Ergebnisse aus dem Fragenkatalog sowie Hinweise zur Nutzung der Ergebnisse. Die Verwendungsanweisung richtet sich an die verschiedenen Zielgruppen des Konzeptes. Dabei handelt es sich um Simulationsexperten, Data Warehousing Experten und fachfremde Anwender. Diese sind anhand der Unterteilung und Beschreibung in Tabelle 8 beschrieben und deren Profilanforderungen für die Verwendung des Konzeptes sind erläutert.

Zielgruppe	Beschreibung	Zusätzliche Profilanforderungen
Simulationsexperte	Simulationsexperten verfügen über Anwendungswissen und Fachwissen im Bereich Simulation. Sie sind in der Lage, das Konzept anzuwenden.	Bei Bedarf zusätzliches Wissen im Themenbereich Data Warehousing
Data Warehousing Experte	Data Warehousing Experten verfügen über Anwendungswissen und Fachwissen im Bereich Data Warehousing. Sie sind ohne zusätzliche Kenntnisse nicht in der Lage, das Konzept anzuwenden.	Zwingend zusätzliches Wissen im Themenbereich Simulation
Fachfremde Anwender	Fachfremde Anwender verfügen über domänenrelevantes Anwendungswissen zum Fachbereich der Simulationsfragestellung. Sie sind ohne zusätzliche Kenntnisse nicht in der Lage, das Konzept anzuwenden.	Zwingend zusätzliches Wissen in den Themenbereichen Simulation und Data Warehousing

Tabelle 8: Beschreibung der Zielgruppen für das Konzept

Damit das Konzept für die unterschiedlichen Zielgruppen nutzbar ist, sind im Ordnungskatalog neben den für die Analyse der Simulationsfragestellung relevanten Konfigurationselementen zusätzlich beschreibende Elemente enthalten. Außerdem sind alle Elemente durch beschreibende Texte erläutert.

5.5.1 Die Bewertungstabelle

Der Zusammenhang zwischen den Elementen des Ordnungskatalogs und den Fragen des Fragenkatalogs wird in den verschiedenen Bewertungstabellen hergestellt, die Bestandteil der Verwendungsanweisung sind. Der grundsätzliche Aufbau der Bewertungstabelle ist nachfolgend beschrieben.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis
Ordnungszahl + lfd. Nr.	Elementname, „E“ + Eigenschaftszahl + Eigenschaftsname	Ausprägungs-ID + Bez.	Fragen-ID	<Bewertungshinweis>

Tabelle 9: Aufbau der Bewertungstabelle

Erläuterung der Spalten in der Bewertungstabelle:

Element	Ordnungszahl und laufende Nummer aus dem Ordnungskatalog
Name Eigenschaft	Name des Elements sowie Eigenschaftszahl und Eigenschaftsbezeichnung
Ausprägung	Ausprägungs-ID und Bezeichnung der Ausprägung
Frage	Fragen-ID
Bewertungshinweis	Hinweise zur ausgewählten Ausprägung und wie ihre Bedeutung für die Simulationsfragestellung sowie die Konzeptfrage zu bewerten ist (siehe Abschnitt 5.1)

Die Beziehung aller Elemente in den drei Komponenten wird in der Bewertungstabelle verdeutlicht. Die Elementspalte dient als führende Spalte in der Tabelle und beinhaltet die ID jedes Elements aus dem Ordnungskatalog. Innerhalb jedes Elements werden die Eigenschaften und deren Name als nächste Spalte aufgeführt. Jede Ausprägung einer Eigenschaft ist in der Bewertungstabelle berücksichtigt worden. Damit sind alle Elemente des Ordnungskatalogs vollständig aufgelistet. Zu jeder Zeile in der Tabelle ist die Frage aus dem Fragenkatalog zugeordnet, welche für die Filterung der Eigenschaft bzw. ihrer Ausprägungen sorgt. Durch diese Zuordnung ist die Beziehung zwischen Ordnungskatalog und Fragenkatalog dargestellt. Der Beitrag zur Bewertung der ausgewählten Ausprägung (also der gewählten Antwort bzw. Antworten) ist in der Spalte Bewertungshinweis als textliche Bewertung enthalten. Die Bewertung bezieht sich auf die bereits in Abschnitt 5.1 formulierte Konzeptfrage, welche durch die Bearbeitung des Konzeptes beantwortet werden soll.

In der Verwendungsanweisung sind vier Bewertungstabellen enthalten. Tabelle 1 enthält die Bewertung der Eigenschaften Abstraktion und Aggregation für alle Elemente, in denen diese Eigenschaften zugeordnet sind. Tabelle 2 enthält die Bewertung für die domänenneutralen Elemente (bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen) aus den Kernperspektiven. In Tabelle 3 ist die Bewertung der domänenspezifischen Elemente enthalten. Abschließend werden in Tabelle 4 Bewertungshinweise zu den Elementen bzw. Eigenschaften und Ausprägungen gegeben, die keine Filterkriterien enthalten und bei denen es sich um beschreibende Eigenschaften handelt. In allen Bewertungstabellen wurde eine einheitliche Systematik zur Bewertung verwendet. Diese orientiert sich an bestimmten Formulierungen, die in Tabelle 10 beschrieben sind.

Bewertung	Interpretation
<i>„Nicht unterstützt, keine Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen, die Verwendung wird nicht empfohlen“</i>	Diese Ausprägung führt zu der Einschätzung, dass die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung nicht anwendbar sind, bzw. keine Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen beinhalten.
<i>„Grundsätzlich unterstützt, grundsätzlich Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen“</i>	Die Auswahl dieser Ausprägung führt zu der Einschätzung, dass die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung grundsätzlich anwendbar sind, bzw. grundsätzlich Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen beinhalten.
<i>„Gut unterstützt, gute Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen, die Verwendung wird empfohlen“</i>	Die Auswahl dieser Ausprägung führt zu der Einschätzung, dass die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung gut anwendbar sind bzw. gute Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen beinhalten.
<i>„In besonderem Maße unterstützt, in besonderem Maße Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen, die Verwendung wird in besonderem Maße empfohlen“</i>	Die Auswahl dieser Ausprägung führt zu der Einschätzung, dass die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung in besonderem Maße anwendbar sind, bzw. hohe Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen beinhalten.

Tabelle 10: Bewertungsformulierungen und deren Bedeutung

5.6 Initiale Erstellung der Komponenten

Die initiale Erstellung des Ordnungskataloges wurde basierend auf der Auswertung der Fachliteratur aus den drei Themenbereichen durchgeführt. Dabei wurden sowohl der Bottom-Up-Ansatz als auch der Top-Down-Ansatz verwendet, mit deren Hilfe basierend auf dem systematischen Studium zum thematischen Bereich die Identifikation der Aspekte und Elemente sowie deren Zuordnung zu den Perspektiven erfolgte (vgl. (Stock und Stock, 2008), S. 219 ff.). Die verwendete Zerlegungsstrategie wurde in Unterabschnitt 5.3.1 dargestellt. Exemplarisch für den Bottom-Up-Ansatz, in dem die Tätigkeiten ausgehend von der Identifikation der Elemente weiterführend zur Gruppierung in den Aspekten und auf oberster Ebene in der hierarchischen Strukturierung im Ordnungskatalog ablaufen, ist das Ergebnis der Zerlegung für einige identifizierte Elemente in Abbildung 21 dargestellt:

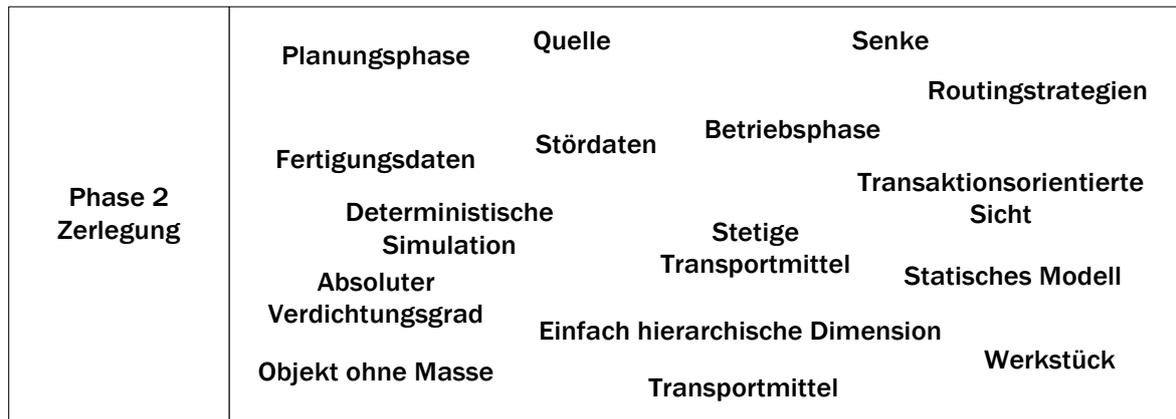


Abbildung 21: Ausschnitt des Ergebnisses der Zerlegung I (eigene Darstellung)

Für diese Elemente wurden die gemeinsam und elementübergreifend relevanten Aspekte identifiziert und eine entsprechende Gruppierung vorgenommen. Diese ist für die in Abbildung 21 dargestellten Elemente in Abbildung 22 verdeutlicht:

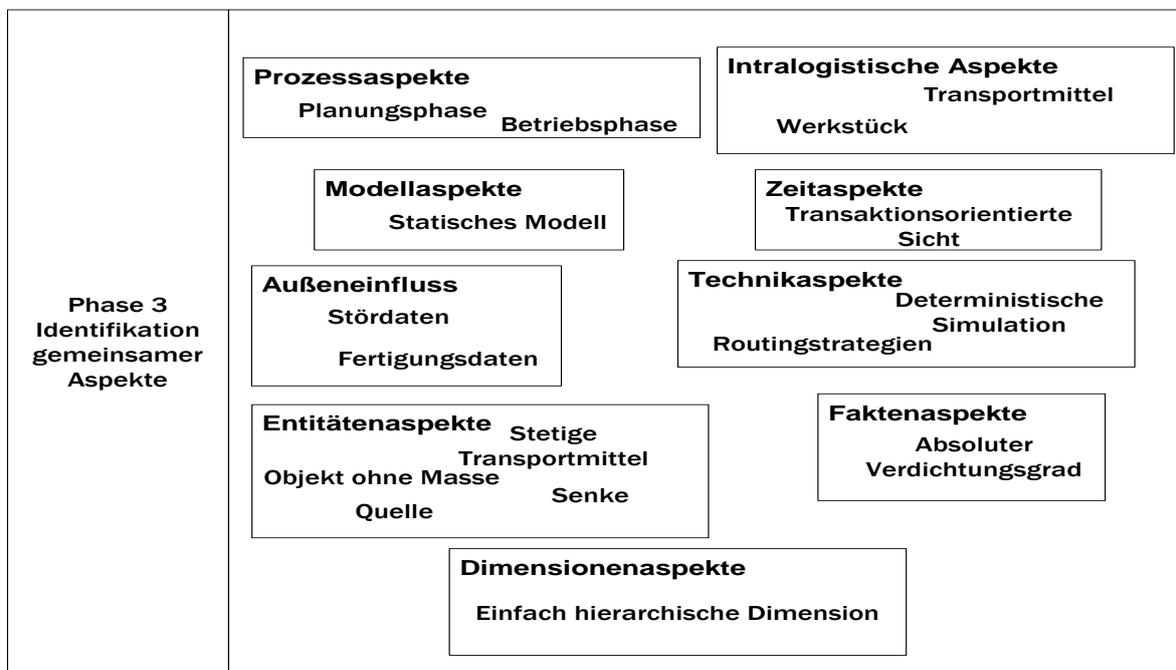


Abbildung 22: Ausschnitt des Ergebnisses der Zerlegung II (eigene Darstellung)

Die in Unterabschnitt 3.1.2 als wesentlich herausgestellten Eigenschaften der Abstraktion und der Aggregation wurden allen Elementen zugeordnet, bei denen die Konfiguration über zeitliche oder räumliche Strukturen sinnvoll ist. Die Elemente des Ordnungskatalogs dienen dazu, die Simulationsfragestellung zu analysieren, sowohl eine umfassende Berücksichtigung der funktionalen Simulationsaspekte als auch des Anwendungsszenarios zu gewährleisten, die Identifikation relevanter Abstraktions- und Aggregationsprozesse zu ermöglichen sowie für eine Berücksichtigung der vorhandenen bzw. benötigten Datenstrukturen zu gewährleis-

ten (siehe Abschnitt 4.2). Jedem Element des Ordnungskatalogs ist ein Verweis auf einen der Zwecke (Z1 – Z5) zugeordnet (siehe Abschnitt 4.2).

5.6.1 Inhalte des Ordnungskatalogs

Der in diesem Unterabschnitt beschriebene Inhalt des Ordnungskatalogs stellt den Stand nach der initialen Befüllung und der Validierung dar. Zu jedem Element ist im Katalog jeweils angegeben, basierend auf welcher Literaturquelle es in den Ordnungskatalog aufgenommen wurde. Zur Erläuterung des Elements ist die Beschreibung aus dem Katalog übernommen worden. Auch wenn diese Texte aufgrund der notwendigen Strukturtreue des Konzeptes einen hohen Übereinstimmungsgrad in der Formulierung aufweisen, wurde bewusst auf eine Anpassung der Texte verzichtet. Da der Ordnungskatalog in der späteren Nutzung nicht als sequentiell zu bearbeitendes Artefakt zu verstehen ist und daher die eigenständige Verständlichkeit aller Elemente gewährleistet sein soll, wird die Redundanz der Texte zu Gunsten der klaren Strukturiertheit billigend in Kauf genommen. Ergänzend wird zu jedem Element angegeben, ob die Auswahl der Eigenschaften obligatorisch oder fakultativ ist. Der vollständige Ordnungskatalog ist in *Anhang B: Konzeptkomponente Ordnungskatalog* enthalten.

Der Ordnungskatalog beinhaltet innerhalb der Gestaltungsperspektive *Modellaspekte* die Elemente

1.1-1 Modellsicht (Z2)

Das Element beschreibt, welche Sicht auf die zu lösende Fragestellung eingenommen werden kann. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Modellsicht ist obligatorisch.

1.1-2 Modellart (Z2)

Das Element beschreibt, welche Modellarten für die Fragestellung verwendet werden können. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Modellart ist obligatorisch.

Die Gestaltungsperspektive – Prozessaspekte enthält die Elemente

1.2-1 Phase des Lebenszyklus (Z3)

Das Element betrachtet die möglichen Phasen im Lebenszyklus eines Objektes, in denen Simulationsstudien zum Einsatz kommen können. Es basiert auf den in Unterabschnitt 3.2.1 beschriebenen Anwendungsbereichen. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Phase im Lebenszyklus ist fakultativ.

1.2-2 Einordnung in der Wertschöpfungskette (Z3)

Das Element ermöglicht eine Einordnung der Fragestellung in den Ausschnitt der betriebswirtschaftlichen Wertschöpfungskette. Die aufgeführten Varianten der primären und sekundären Wertschöpfungsprozesse dienen als Rahmenvorgabe und als Instanziierungsbasis für das jeweils notwendige Element in der Domänenperspektive. Das Element enthält daher keine konfigurierbaren, sondern beschreibende Eigenschaften.

Die Steuerungsperspektive *Aspekte zum Außeneinfluss* enthält die Elemente

2.1-1 Technische Daten (Z5)

Das Element ermöglicht die Konfiguration technischer Daten für das Simulationsmodell. Technische Daten stellen Repräsentationen physischer Objekte dar und stehen damit in unmittelbarem Zusammenhang mit den Elementen der Basisperspektive bezüglich des Aspektes *Entitäten*. Die Auswahl der technischen Daten ist obligatorisch.

2.1-2 Organisatorische Daten (Z5)

Das Element ermöglicht die Konfiguration organisatorischer Daten für das Simulationsmodell. Organisatorische Daten stellen eine Repräsentation des Ablauf- und Informationsflusses dar und stehen damit in unmittelbarem Zusammenhang mit den Elementen der Basisperspektive bezüglich des Aspektes *Entitäten*. Die Auswahl der organisatorischen Daten ist obligatorisch.

2.1-3 Systemlastdaten (Z5)

Das Element ermöglicht die Konfiguration von Systemlastdaten für das Simulationsmodell. Systemlastdaten stellen eine Repräsentation der ausgeführten Prozesse dar. Die Auswahl der Systemlastdaten ist obligatorisch.

Die Steuerungsperspektive *Zeitaspekte* enthält die Elemente

2.2-1 Art des Zeitfortschrittsmechanismus (Z1, Z2)

Das Element beschreibt die Art des Zeitfortschrittsmechanismus. Es basiert auf den in Unterabschnitt 3.2.1 vorgestellten Sichten. Der dynamische Aspekt innerhalb der Simulationsmodelle ist von einer dieser Sichten abhängig. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Art des Zeitfortschrittsmechanismus ist obligatorisch.

2.2-2 Zeithorizont in der Simulation (Z1, Z2)

Das Element betrachtet die Entscheidung über den der Fragestellung zugrunde liegenden Zeithorizont der Simulation. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Art des Zeitfortschrittsmechanismus ist fakultativ.

2.2-3 Statistisches Verhalten der Outputreihe (Z1)

Das Element betrachtet das erwartete statistische Verhalten der Outputreihe in der Simulation. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl Variante des statistischen Verhaltens der Outputreihe ist fakultativ.

Die Steuerungsperspektive *Infrastrukturaspekte* enthält die Elemente

2.3-1 Datenquellen (Z5)

Das Element beschreibt mögliche Datenquellen, die für die Simulationsstudie Dateninput liefern können. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten können mehrere Ausprägungen gewählt werden. Die Auswahl einer oder mehrerer möglicher Datenquellen ist obligatorisch.

2.3-2 Schnittstellen (Z2, Z5)

Das Element beschreibt mögliche Schnittstellenvarianten, die in Simulationssystemen zum Einlesen von Dateninput zur Verfügung stehen. Bei den in Eigenschaft E1 aufgeführten Varianten handelt es sich um eine abstrakte Unterteilung. Auf detaillierter Ebene werden diese nicht bewertet. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten können mehrere Ausprägungen gewählt werden. Die Auswahl einer oder mehrerer möglicher Schnittstellen ist fakultativ.

Die Steuerungsperspektive *Technikaspekte* beinhaltet die Elemente

2.4-1 Simulationsmethode (Z2)

Das Element beschreibt mögliche Simulationsmethoden. Es basiert auf den in Tabelle 4 aufgeführten und beschriebenen Simulationsklassen. Von den aufgeführten Methoden sind im Konzept initial die Methoden der diskreten und zumindest grundlegend der deterministischen Simulationen berücksichtigt. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine gewählt werden. Die Auswahl einer Simulationsmethode ist obligatorisch.

2.4-2 Entscheidungsregeln (Z1)

Das Element beschreibt verschiedene Varianten von Entscheidungsregeln. Dabei kann es sich sowohl um Ablauf- als auch Steuerungsdaten handeln. Solche Regeln stehen häufig nicht in expliziter Form als Inputdaten zur Verfügung und finden auch in DWH-Umgebungen eher selten Verwendung. Da sie im Simulationsmodell aber berücksichtigt werden müssen, sind sie als Element im Katalog enthalten. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten können mehrere Ausprägungen gewählt werden. Die Auswahl von Entscheidungsregeln ist fakultativ.

Die Basisperspektive *Aktionsaspekte* enthält das Element

3.1-1 Auslöser der Zustandsänderung (Z_1, Z_2)

Das Element beschreibt Auslöser für Zustandsänderungen (Events) innerhalb eines Simulationsmodells. Unter dem Aspekt der verschiedenen Sichten auf die Simulationsmodellierung sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um Simulationselemente mit verschiedenen Bezeichnungen wie Ereignis, Aktivität, Prozess oder Zusammenreffen von Transaktion und Block handeln kann. Diese treten im Modell als Folge von Zustandsänderungen eines Simulationsobjektes auf. Der Wechsel zwischen Zuständen kann sowohl mit als auch ohne Zeitverzug vorgenommen werden. Zeitverzugslose Ereignisse sind zeitpunktbezogen, d. h. der Wechsel selbst wird nicht durch eine Dauer abgebildet.

In der Basisperspektive *Entitätenaspekte* sind die Elemente zur Instanziierung von Objekten eingeordnet. Es handelt sich dabei um die Elemente

3.2-1 Bewegliches permanentes Objekt (Z_1, Z_3)

Das Element beschreibt bewegliche permanente Objekte. Innerhalb der beweglichen Objekte können permanente und temporäre Objekte unterschieden werden. Permanente bewegliche Objekte können als Variante der unbeweglichen Objekte eingeordnet werden. Sie bilden Bestandteile der Infrastruktur des zu simulierenden Systems ab (vgl. (Liebl, 1995), S. 88 f.). Bewegliche permanente Objekte bleiben während der Laufzeit der Simulation erhalten, können sich aber im Modell bewegen. Sie sind Bestandteil der Infrastruktur eines Simulationsmodells. In der ereignisorientierten Sicht werden diese Elemente als statische Komponenten bezeichnet. Da es sich um ein Basiselement handelt, wirken die Konfigurationsfilter des Ordnungskatalogs für dieses Objekt nicht.

3.2-2 Unbewegliches permanentes Objekt (Z_1, Z_3)

Das Element beschreibt unbewegliche permanente Objekte. Diese bilden die Infrastruktur des zu simulierenden Systems. Da es sich um ein Basiselement handelt, wirken die Konfigurationsfilter des Ordnungskatalogs für dieses Objekt nicht. In der ereignisorientierten und in der transaktionsorientierten Sicht werden diese Elemente als statische Komponenten bezeichnet (vgl. (Adelsberger und Bick, 2003), S. 14).

3.2-3 Bewegliches temporäres Objekt (Z_1, Z_3)

Das Element beschreibt bewegliche temporäre Objekte. Da es sich um ein Basiselement handelt, wirken die Konfigurationsfilter des Ordnungskatalogs für dieses Objekt nicht. Innerhalb der beweglichen Objekte können permanente und temporäre Objekte unterschieden werden. Temporäre bewegliche Objekte durchlaufen das Simulations-

system, sie betreten es bzw. verlassen das System im Verlauf eines Simulationsexperimentes. In der ereignisorientierten und in der transaktionsorientierten Sicht werden diese Elemente als dynamische Komponenten bezeichnet (vgl. (Adelsberger und Bick, 2003), S. 14).

3.2-4 Ereignishandler (Z1, Z3)

Das Element betrachtet Objekte eines Simulationsmodells, die zur Ausführung von Ereignissen genutzt werden. Der Begriff ‚Ereignishandler‘ ist angelehnt an den englischen Ausdruck ‚event handler‘, der in der Softwareentwicklung für die Steuerung von Events Verwendung findet (vgl. (Schimpf et al., 2001), S. 193). Basiselement dient der Beschreibung und ist nicht als Konfigurationskriterium verwendbar.

3.2-5 Objekt ohne Masse (Z1, Z3)

Das Element beschreibt Objekte ohne Masse. Es gibt Objekte mit Masse und Objekte ohne Masse bezogen auf ihre reale Existenz. Objekte ohne Masse werden wie Objekte mit Masse durch beschreibende Eigenschaften sowie relationale Beziehungsattribute beschrieben und häufig in relationalen Datenbanken abgelegt (vgl. (Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f.). Das Element dient nicht zur Konfiguration, sondern nur als Basis für die Instanziierung in der Domänenperspektive. Die Auswahl zwischen den Ausprägungen der Eigenschaft *Varianten* wird in Abhängigkeit vom Element (2.2-1-E1) (Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Art des Zeitfortschrittsmechanismus [1] E1 Varianten) abgeleitet.

In der Basisperspektive *Funktionsaspekte* sind folgende Elemente eingeordnet:

3.3-1 Simulationsroutine (Z2)

Das Element beschreibt Ablaufroutinen, die in einem Simulationsmodell verwendet werden. Diese stellen damit die funktionale Basis eines solchen Modells dar und werden deshalb als Element im Katalog beschrieben. Es handelt sich um ein beschreibendes Element ohne Konfigurationskriterien.

3.3-2 Variablenart (Z2)

Das Element beschreibt, welche Arten von Variablen im Simulationsmodell enthalten sein können. Variablen sind von Entitäten unabhängige Größen. Es handelt sich um ein beschreibendes Element, die Ausprägungen enthalten daher keine Konfigurationskriterien. Die Verwendung von einigen der aufgeführten Variablenarten ist abhängig von Element (2.2-1-E1) (Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Art des Zeitfortschrittsmechanismus [1] E1 Varianten).

3.3-3 Datenarten (Z5)

Das Element beschreibt verschiedene Arten von Daten, die im Simulationsmodell benötigt werden. Das Element dient in dieser Perspektive zur Erläuterung, die einzelnen Datenarten sind in der Steuerungsperspektive als konfigurierbare Elemente enthalten.

Die Transformationsperspektive *Faktenaspekte* beinhaltet die Elemente

4.1-1 Kenngrößenarten (Z5)

Das Element betrachtet Kenngrößenarten. Kenngrößen bzw. Kennzahlen oder Performance Measures sind sowohl Ergebnisse eines Simulationsexperimentes als auch Inhalt eines Data Warehouses bzw. einer BI-Applikation (siehe Unterabschnitte 3.3.2 und 3.4.1). Wesentliche Eigenschaften sind ihr Messfokus (qualitativ, quantitativ) sowie ihre Aggregationsebene. Außerdem muss für jede Kenngröße definiert werden, welche statistischen Werte diese ermittelt. Dabei kann es sich beispielsweise um den Durchschnitt, die Varianz, die Standardabweichung, das Maximum oder das Minimum handeln (vgl. (Syska, 1990) S. 23 f.). Im Ordnungskatalog ist das Element enthalten, da die Prüfung möglicher Inputdaten in Form von aufbereiteten Kennzahlen des Data Warehouse betrachtet wird. Der Fokus des Elements liegt auf der Schnittstelle zwischen Output aus dem Data Warehouse und Inputdaten für die Simulation.

4.1-2 Kenngrößeneigenschaften (Z2)

Das Element betrachtet Kenngrößeneigenschaften. Es handelt sich um ein informatives Element ohne Konfigurationseigenschaft.

Die Transformationsperspektive *Dimensionenaspekte* enthält die Elemente

4.2-1 Dimensionstyp (Z4)

Elemente des multidimensionalen Datenmodells sind Dimensionen und Fakten. Der Begriff der Dimension kann mit einer Analyse- bzw. Auswertungssicht auf die Daten verglichen werden. Dimensionen orientieren sich am Anwendungsszenario, in dem das Datenmodell zum Einsatz kommt. Die Elemente einer Dimension beschreiben die jeweilige Granularität der Analysesicht bzw. deren Verdichtungsstufen und unterliegen einer eindeutigen Struktur (siehe Unterabschnitt 3.3.2). Mit Hilfe der Dimensionselemente können die Eigenschaften der Fakten, d. h. einzelner Datenelemente, beschrieben werden. Häufig verwendete Analysesichten sind beispielsweise Raum und Zeit. Das Element Dimensionstyp beschreibt verschiedene Varianten der Granularität der Analysesicht bzw. deren Verdichtungsstufen.

4.2-2 Dimensionssubjekt (Z4)

Das Element beschreibt Subjekte (Akteure, Menschen) im Simulationsmodell. Als Subjekte werden die zu simulierenden Komponenten definiert, die eine Aktion durchführen (Leistungserbringer) oder Nutznießer der Aktion sind (Leistungsempfänger).

4.2-3 Dimensionsobjekt (Z4)

Das Element beschreibt relevante Dimensionsobjekte, die betrachtet werden können. Als Objekte werden die zu simulierenden Komponenten definiert, an denen eine Aktion durchgeführt wird.

4.2-4 Dimensionsinstrument (Z4)

Das Element beschreibt relevante Dimensionsinstrumente (teilweise auch als Mittel bezeichnet), die in einem Simulationsmodell verwendet werden. Als Instrumente werden die zu simulierenden Komponenten betrachtet, mit denen eine Aktion durchgeführt wird. Instrumente werden von Entitäten in Anspruch genommen und dienen der Veränderung von Entitäten bzw. von deren Zuständen. Sie können im Simulationsmodell frei oder belegt sein. Zu modellierende Eigenschaften der Instrumente sind z. B. Anzahl, Qualität, Verfügbarkeit und Verrichtungen, die zugewiesen werden können. Das Element enthält keine Konfigurationsfilter, es dient als Basis für die Instanziierung in der Domänenperspektive.

Die Transformationsperspektive *Granularitätenaspekte* enthält die beiden Elemente

4.3-1 Abstraktion (Z4)

Das Element beschreibt die Eigenschaft der Abstraktion in einer Klassifikationshierarchie. Die Klassifikationshierarchie kann domänenspezifisch innerhalb der drei Ebenen Mikroebene, Mesoebene und Makroebene angepasst werden.

4.3-2 Aggregation (Z4)

Das Element beschreibt die Eigenschaft der Aggregation in einer Klassifikationshierarchie. Die Klassifikationshierarchie kann domänenspezifisch innerhalb der drei Ebenen kurzfristig, mittelfristig und langfristig angepasst werden.

In der initialen Version des Ordnungskatalogs ist als Domänenperspektive die Perspektive der Intralogistik mit instanziierten Elementen enthalten. Abgebildet sind die Elemente 5.1-1 Abstraktion und 5.1-2 Aggregation in einer jeweils auf die Intralogistik angepassten Granularität (siehe auch Tabelle 11 und Tabelle 12) sowie die Elemente 5.1-3 Job, Auftrag, 5.1-4 Werkstück, 5.1-5 Ladehilfsmittel, 5.1-6 Transportmittel, 5.1-7 Leistungsempfänger, 5.1-8 Leistungserbringer, 5.1-9 Prozess sowie 5.1-10 Performance Measures. Diese Elemente dienen der domänenspezifischen Analyse der Simulationsfragestellung (Z1), der Festlegung der für die Simulationsfragestellung angemessenen Abstraktionsgrade und Aggregationsebenen

(Z4) sowie der Identifikation benötigter Datenstrukturen (Z5). Anhand der in der Domänenperspektive ausgewählten Elemente kann gegenüber dem Data Warehouse ein Abgleich bezüglich der benötigten Datenverfügbarkeit erfolgen.

5.6.2 Typische Attribute

Das bereits in Unterabschnitt 3.3.2 erläuterte Prinzip der Dimension findet bei der Definition der Eigenschaft Abstraktion Verwendung. Die Eigenschaft ist vergleichbar mit einer hierarchischen Dimension (vgl. (Bauer und Günzel, 2013), S. 618). Die Menge der Attribute dieser Eigenschaft wird in disjunkte Teilmengen zerlegt. Die Zerlegung erfolgt unter Betrachtung der möglichen Auswertungsebenen. Für die Eigenschaft Abstraktion werden zur Verwendung im Ordnungskatalog die Attribute exemplarisch in Tabelle 11 definiert:

Klassifikationsstufe	Räumliche Struktur	Abstraktionsgrad
1	Lagerplatz	Mikroebene
2	Lagerzone	
3	Lagerort	Mesoebene
4	Werkbereich	
5	Werkshalle	
6	Werk	Makroebene
7	Standort	
8	Unternehmen	

Tabelle 11: Exemplarische Definition der Eigenschaft ABSTRAKTION

Die Klassifikationsstufen der Eigenschaft Abstraktion sind innerhalb des Ordnungskataloges in der verwendeten Ausführung bezogen auf den Abstraktionsgrad als variabel zu betrachten. Statisch ist dabei lediglich die Unterteilung in die drei Abstraktionsgrade Mikroebene, Mesoebene und Makroebene. Die Definition erfolgt in der Domänenperspektive und kann bei zukünftigen Inhaltsdomänen oder Simulationsfragestellungen eine andere Struktur aufweisen.

Die Definition der Eigenschaft Aggregation basierte ebenfalls auf dem Dimensionsparadigma. Die Klassifikationsstufen der Eigenschaft Aggregation sind innerhalb des Ordnungskataloges in der verwendeten Ausführung bezogen auf die verwendete Ebene als variabel zu betrachten. Die Definition erfolgt in der Domänenperspektive und kann bei zukünftigen Inhaltsdomänen oder Simulationsfragestellungen eine andere Struktur aufweisen. Statisch ist nur die Unterteilung in die drei Aggregationsebenen kurzfristig, mittelfristig und langfristig.

Die Eigenschaft Aggregation wird in Tabelle 12 exemplarisch definiert:

Klassifikationsstufe	Zeitintervall	Aggregationsebene
1	Stunde	Kurzfristig
2	Tag	
3	Kalenderwoche	
4	Monat	Mittelfristig
5	Quartal	
6	Jahr	Langfristig

Tabelle 12: Exemplarische Definition der Eigenschaft AGGREGATION

5.7 Inhalte aus allen Komponenten

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Inhalte aus den drei entwickelten Komponenten beschrieben und ihr Zusammenhang erläutert. Anhand von drei beispielhaften Anwendungsszenarios werden einige Fragen des Fragenkatalogs beantwortet, um exemplarisch deren Wirkung auf die beiden anderen Komponenten zu verdeutlichen. Die vollständige Beantwortung des Fragenkatalogs erfolgt sowohl in Abschnitt 5.9 basierend auf dem Anwendungsszenario in der Betriebsphase als auch anhand der Praxisvalidierung in Kapitel 6.1.

5.7.1 Anwendungsszenarios

Die Darstellung möglicher Anwendungsszenarios für das Konzept erfolgt exemplarisch für die drei in der VDI Richtlinie 3633 definierten Einsatzphasen von Simulationsstudien (siehe auch Abschnitt 3.2). Einleitend werden die notwendigen Rahmenbedingungen für den Einsatz beschrieben.

Rahmenbedingungen: Ein wesentlicher Aspekt für die Nutzung des Konzeptes ist die grundsätzliche Verfügbarkeit von Inputdaten. Daher setzen die Anwendungsszenarios auf dem höchsten Abstraktionsgrad, der Makroebene, ein betriebsbegleitendes Umfeld voraus. Auf detaillierteren Ebenen können beispielsweise Fragestellungen zu neuen Produktionsanlagen, Werksstandorten usw. basierend auf vorhandenen Inputdaten in der Planungsphase als Szenarios betrachtet werden. Alle nachfolgend beschriebenen Anwendungsszenarios befinden sich innerhalb der Inhaltsdomäne der Intralogistik und sind als Beispiele für Fragestellungen zu verstehen, um die Nutzung des Konzeptes in einem exemplarischen Unternehmensumfeld einzuordnen. Beliebige andere Fragestellungen (innerhalb der gleichen Inhaltsdomäne sowie anderen Inhaltsdomänen) sind denkbar.

Anwendungsszenario in der Planungsphase (ASP): Grundlage aller Szenarios ist ein Unternehmen mit 10 Standorten in Europa. In diesem Szenario soll einer dieser Standorte

um ein weiteres automatisches Hochregallager erweitert werden. Mittels einer Simulation über die verschiedenen Standorte soll geklärt werden, an welchem Standort die Investition den größten Nutzen bringt. Gelagert wird Fertigware auf Standardeuropaletten. Aus dem Data Warehouse können Informationen pro Standort ermittelt werden, die sich auf Palettenbewegungen, gelagerte Produkte sowie Staplertransporte beziehen sowie Daten zu Artikeldifferenzierungen nach ABC-Klasse, Lieferverzugsquoten sowie aufgetretenen Teillieferungen (vgl. (Walter, 2011) und (Weber, 1991), S. 83).

Anwendungsszenario in der Realisierungsphase (ASR): In der Realisierungsphase für eine Produktionsanlage an einem Standort soll mittels Simulation geklärt werden, welche Produkte auf der neuen Anlage unter Gesichtspunkten geringer Transport- und Lagerzeiten in einem stufenweisen Produktivbetrieb produziert werden sollen. Aus dem Data Warehouse können Informationen zu Lagerzeiten pro Lagerort, Anzahl Transporte pro Produkt sowie Anzahl gelieferter Ware pro Kunde ermittelt werden (vgl. (Walter, 2011)).

Anwendungsszenario in der Betriebsphase (ASB): In einer Simulation im betriebsbegleitenden Betrieb soll die Frage geklärt werden, warum an verschiedenen Produktionsstandorten im Unternehmen die Anzahl der Kundenreklamationen voneinander abweicht. Standort A hat eine Reklamationsrate von 5 %, Standort B von 7,5 % und Standort C von 19 %. Aus dem Data Warehouse können Informationen zu einer Reklamationsquote pro Lieferant, eine Differenzierung von Qualitätssperrungen pro Produkt, Zahlen zu abgefertigten LKWs, beschädigten Ladeeinheiten, die Anzahl der Retouren sowie Liegezeiten in Qualitätssicherungslagerorten ermittelt werden (vgl. (Walter, 2011) und (Weber, 1991), S. 71). Simuliert wird der innerbetriebliche Transport von Fertigware.

5.7.2 Beschreibung ausgewählter Elemente

In diesem Unterabschnitt werden vier unterschiedliche Auswahlsets aus dem Konzept vorgestellt. Zu einem Auswahlset gehören (maximal) alle Elemente aus den drei Komponenten, die einen Aspekt zusammenhängend beschreiben. Bei beschreibenden Elementen, die keine Filterkriterien enthalten, handelt es sich um zwei Elemente, da eine Frage im Fragenkatalog nicht vorhanden ist. Mit Hilfe der ausgewählten Elementsets werden verschiedene Aufgaben beschrieben. Diese sind einleitend in Tabelle 13 aufgeführt:

Auswahlset	Zu verdeutlichende Aufgabenaspekte
Erste Auswahl	Das Auswahlset beschreibt ein konfigurierbares Element aus der Gestaltungsperspektive, es handelt sich dabei um eine der vier Kernperspektiven. Diese Auswahl besteht aus der Frage (Fragenkatalog), dem Element (Ordnungskatalog) und dem Bewertungshinweis (Verwendungsanweisung).

Zweite Auswahl	Das Auswahlset enthält ein beschreibendes Element aus der Basisperspektive (ebenfalls eine der Kernperspektiven). Diese Auswahl besteht aus dem Element (Ordnungskatalog).
Dritte Auswahl	Das Auswahlset beschreibt ein Element aus der Transformationsperspektive (ebenfalls eine der Kernperspektiven). Es enthält die beiden Eigenschaften Abstraktion und Aggregation. Anhand dieser Auswahl wird die Bewertung dieser beiden Eigenschaften verdeutlicht. Diese Auswahl besteht aus dem Element (Ordnungskatalog), zwei Fragen (Fragenkatalog) und dem Bewertungshinweis für die zwei Eigenschaften Abstraktion und Aggregation (Verwendungsanweisung).
Vierte Auswahl	Das Auswahlset beschreibt ein Element aus der Domänenperspektive für den Aspekt Intralogistik. In dieser Auswahl wird somit das angewendete Prinzip der Instanziierung verdeutlicht. Diese Auswahl besteht aus der Frage (Fragenkatalog), dem Element (Ordnungskatalog) und dem Bewertungshinweis (Verwendungsanweisung).

Tabelle 13: Übersicht der beschriebenen Elementsets

Als **erste Auswahl** aus den Komponenten sind die Elemente zur Ermittlung der Simulationsmodellart dargestellt. Sie besteht aus der Frage A.b <Welche Art von Simulationsmodell soll entwickelt werden?> zur Konfiguration der Eigenschaft 1.1-2-E1 <Modellart-Variante> mit den Ausprägungen A:F. Es handelt sich um eine obligatorische Frage und daraus resultierend um ein Element, zu dessen Eigenschaft E1 eine Filterung notwendig ist. Das Element stammt aus einer Kernperspektive, der Gestaltungsperspektive. Das Element verfügt nur über eine Eigenschaft und dient der Auswahl (bzw. Konfiguration) des gewählten Simulationsmodells.

A.b	Welche Art von Simulationsmodell soll entwickelt werden?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Statisch (1.1-2-E1-A)
	B	Zeitorientiert, diskret, deterministisch (1.1-2-E1-B)
	C	Ereignisorientiert, diskret, deterministisch (1.1-2-E1-C)
	D	Zeitorientiert, diskret, stochastisch (1.1-2-E1-D)
	E	Ereignisorientiert, diskret, stochastisch (1.1-2-E1-E)
	F	Keine der Varianten (1.1-2-E1-F)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(1.1-2-E1-A:F)

Tabelle 14: Auszug Fragenkatalog: Frage A.b

Das der Frage A.b zugrunde liegende Element sieht folgendermaßen aus:

1.1	2	Modellart	
		Das Element führt zu der Entscheidung, welche Modellart für die Fragestellung verwendet werden kann.	
E1	Varianten		--
	A	Statisches Modell	(1.1-2-E1-A) xor (1.1-2-E1-B:F)
	B	Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	(1.1-2-E1-B) xor (1.1-2-E1-A,C:F)
	C	Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	(1.1-2-E1-C) xor (1.1-2-E1-A:B,D:F)
	D	Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	(1.1-2-E1-D) xor (1.1-2-E1-A:C,E:F)
	E	Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	(1.1-2-E1-E) xor (1.1-2-E1-A:D,F)
	F	Keine der Varianten	(1.1-2-E1-F) xor (1.1-2-E1-A:E)
(Page, 1991), S. 6 (Gal, 1973), S. 19			

Tabelle 15: Auszug Ordnungskatalog: Element 1.1-2

Von den fünf möglichen Modellarten muss eine ausgewählt werden. Daher sind die Konfigurationskriterien mit der xor-Verbindung versehen. Der Ausschnitt aus der Bewertungstabelle aus der Verwendungsanweisung ist nachfolgend dargestellt:

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage
1.1-2	Modellart E1 Varianten	A Statisches Modell	A.b
1.1-2	Modellart E1 Varianten	B Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	A.b
1.1-2	Modellart E1 Varianten	C Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	A.b
1.1-2	Modellart E1 Varianten	D Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	A.b
1.1-2	Modellart E1 Varianten	E Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	A.b
1.1-2	Modellart E1 Varianten	F Keine der Varianten	A.b

Tabelle 16: Auszug Bewertungstabelle: Element 1.1-2-E1 und Frage A.b (Teil 1)

Element	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
1.1-2-E1-A	Eine Simulationsstudie wird i. d. R. nicht als statisches Modell umgesetzt. Wenn diese Antwort ausgewählt wurde, ist sowohl das Instrument der Simulationsstudie als auch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle als Input zu überdenken. Die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle kann nur bedingt empfohlen werden.
1.1-2-E1-B	Eine Simulationsstudie, die als zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell mit deterministischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle gut unterstützt.
1.1-2-E1-C	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit deterministischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle gut unterstützt.
1.1-2-E1-D	Eine Simulationsstudie, die als zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt.
1.1-2-E1-E	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt.
1.1-2-E1-F	Das Konzept wurde nur für die in den Modellarten der in A-E dargestellten Varianten betrachtet. Für weitere Modellarten wurde die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht betrachtet, daher kann die Verwendung nicht empfohlen werden.

Tabelle 17: Auszug Bewertungstabelle: Element 1.1-2-E1 und Frage A.b (Teil 2)

Für alle drei Szenarios (ASP, ASR und ASB) wird die Frage mit Antwortmöglichkeit E = (1.1-2-E1-E) beantwortet. Dies führt in der Bewertungstabelle zur entsprechenden Antwort und zum Bewertungshinweis *„Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt“*. Ereignisorientierte diskrete Simulationsmodelle benötigen Daten zu bestimmten definierbaren Zeitpunkten. Diese Zeitpunkte können aus ebenso eindeutig definierbaren Ereignissen abgeleitet werden. Beide Aspekte sind im DWH erfüllt, da alle Daten mit einem Zeitstempel versehen sind und ihr Entstehungsereignis aufgrund der Metadaten bzw. resultierend aus dem ETL-Prozess bekannt ist. Die (teilweise) vorhandenen stochastischen Eingabedaten können durch Daten aus einem DWH minimiert werden.

Die **zweite Auswahl** zeigt das beschreibende Element *„Bewegliches permanentes Objekt“*. Dieses verfügt nicht über konfigurierbare Eigenschaften, daher gibt es keine korrespondierende Frage im Fragenkatalog. Das Element dient als Instanzierungsbasis und als beschreibendes Element für typische bewegliche permanente Objekte in Simulationsstudien. Die Eigenschaft E1 Varianten enthält zwei Beispiele (stetige und unstetige Transportmittel). Die Ei-

genschaft E2 Bewegungsinitiierung beschreibt, nach welchen Prinzipien (Push- bzw. Pullprinzip) Bewegungen im Simulationsmodell für bewegliche permanente Objekte erzeugt werden können.

3.2	1	Bewegliches permanentes Objekt	
		Das Element beschreibt bewegliche permanente Objekte.	
E1	Varianten (Beispiele)		--
	A	Stetige Transportmittel	--
	B	Unstetige Transportmittel	--
E2	Bewegungsinitiierung		--
	A	Pushprinzip	--
	B	Pullprinzip	--
(Liebl, 1995), S. 87 f.			

Tabelle 18: Auszug Ordnungskatalog: Element 3.2-1

Die **dritte Auswahl** zeigt Element 4.2-2 <Dimensionssubjekt>. Es beschreibt Akteure im Simulationsmodell. Das Element verfügt über die beiden Eigenschaften Abstraktion (E2) und Aggregation (E3). Die Eigenschaft <E1 Varianten> ist nicht konfigurierbar und dient wiederum als Beispiel für eine mögliche Datenauswahl. Beispiele für Akteure im Simulationsmodell können Kunden, Lieferanten, Bedienpersonal, Speditionen oder verschiedene Mandanten sein. Die weiteren Beispiele können hierarchischen Dimensionen im DWH entsprechen, so können Kunden beispielsweise zu Kundengruppen oder Mitarbeiter zu Mitarbeitergruppen zusammengefasst sein.

4.2	2	Dimensionssubjekt	
		Das Element beschreibt Subjekte (Akteure, Menschen) im Simulationsmodell.	
E1	Varianten		--
	A	Kunde, Kundengruppe	--
	B	Lieferant, Lieferantengruppe	--
	C	Bedienpersonal, Mitarbeiter, Mitarbeitergruppe	--
	D	Spedition	--
	E	Mandant	--
E2	Abstraktion		--
	A	Mikroebene	(4.2-2-E2-A) or (4.2-2-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(4.2-2-E2-B) or (4.2-2-E2-A,C)

	C	Makroebene	(4.2-2-E2-C) or (4.2-2-E2-A:B)
E3	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(4.2-2-E3-A) or (4.2-2-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(4.2-2-E3-B) or (4.2-2-E3-A,C)
	C	Langfristig	(4.2-2-E3-C) or (4.2-2-E3-A:B)
(Witte, 1999), S. 24			

Tabelle 19: Auszug Ordnungskatalog: Element 4.2-2

Die Ausprägungen der Eigenschaften E2 und E3 wurden im Unterabschnitt 3.1.2 ausführlich erläutert. Die einzelnen Ausprägungen sind mit einer or-Verbindung verknüpft, da eine oder auch mehrere Abstraktionsgrade bzw. Aggregationsebenen gewählt werden können.

Die Frage A.k aus dem Fragenkatalog dient als Konfigurationsfilter für alle Abstraktionseigenschaften, die den verschiedenen Elementen zugeordnet sind. Um welche Elemente es sich dabei handelt, kann aus der Auflistung im Feld Filterstufe 2 entnommen werden.

A.k	Welche räumliche Struktur soll in der Fragestellung betrachtet werden?		
	Mehrere Antworten möglich!		
Antwortmöglichkeiten	A	Mikroebene	
	B	Mesoebene	
	C	Makroebene	
Elemente	Filterstufe 1	--	
	Filterstufe 2	(2.1-1-E2-A:C) (2.1-2-E2-A:C) (2.1-3-E2-A:C) (4.1-1-E5-A:C) (4.2-2-E2-A:C) (4.2-3-E2-A:C) (4.2-4-E2-A:C) Domäne Intralogistik (5.1-3-E2-A:C) (5.1-4-E2-A:C) (5.1-5-E2-A:C) (5.1-6-E2-A:C) (5.1-7-E2-A:C) (5.1-8-E2-A:C) (5.1-10-E2-A:C)	

Tabelle 20: Auszug Fragenkatalog: Frage A.k

Die Frage A.l aus dem Fragenkatalog dient als Konfigurationsfilter für alle Aggregationseigenschaften, die den verschiedenen Elementen zugeordnet sind. Um welche Elemente es sich dabei handelt, kann aus der Auflistung im Feld Filterstufe 2 entnommen werden.

A.1	Welche zeitliche Struktur soll in der Fragestellung betrachtet werden?		
	Mehrere Antworten möglich!		
Antwortmöglichkeiten	A	Kurzfristig	
	B	Mittelfristig	
	C	Langfristig	
Elemente	Filterstufe 1	--	
	Filterstufe 2	(2.1-2-E3-A:C) (2.1-3-E3-A:C) (4.1-1-E6-A:C) (4.2-2-E3-A:C) (4.2-3-E3-A:C) (4.2-4-E3-A:C) Domäne Intralogistik (5.1-3-E3-A:C) (5.1-4-E3-A:C) (5.1-5-E3-A:C) (5.1-6-E3-A:C) (5.1-7-E3-A:C) (5.1-8-E3-A:C) (5.1-10-E3-A:C)	

Tabelle 21: Auszug Fragenkatalog: Frage A.1

In der Verwendungsanweisung ist für die Bewertung der Eigenschaften der Abstraktion und Aggregation eine Bewertungstabelle enthalten, deren Bewertungshinweise für alle Elemente gelten, denen die Eigenschaften zugeordnet sind.

Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis
E Abstraktion	A Mikroebene	A.k	Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie? Die räumliche Abstraktion auf der Mikroebene beinhaltet nur einen geringen Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Mikroebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen. Der Erhebungs- und Aufbereitungsaufwand ist aufgrund des geringen Abstraktionsgrades zu prüfen.
E Abstraktion	B Mesoebene	A.k	Die räumliche Abstraktion auf der Mesoebene beinhaltet einen mittleren Grad an Abstraktion. Der Abstraktionsmechanismus auf der Mesoebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen.

E Abstraktion	C Makroebene	A.k	Die räumliche Abstraktion auf der Makroebene beinhaltet einen hohen Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Makroebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen der Makroebene ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.
E Aggregation	A Kurzfristig	A.l	Die zeitliche Aggregation auf kurzfristige Zeiteinheiten beinhaltet nur einen geringen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in kurzfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen. Der Erhebungs- und Aufbereitungsaufwand ist aufgrund der geringen Aggregationsebene zu prüfen.
E Aggregation	B Mittelfristig	A.l	Die zeitliche Aggregation auf mittelfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen mittleren Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in mittelfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen.
E Aggregation	C Langfristig	A.l	Die zeitliche Aggregation auf langfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen hohen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in langfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen mit langfristigem Zeithorizont ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.

Tabelle 22: Bewertungstabelle für Abstraktion und Aggregation

Die Frage A.k wird für das Szenario ASP mit B = Mesoebene und C = Makroebene beantwortet, für das Szenario ASR mit B = Mesoebene und für das Szenario ASB mit C = Makroebene. Die Frage A.l wird für das Szenario ASP mit C = Langfristig beantwortet, für das Szenario ASR mit B = Mittelfristig und für das Szenario ASB ebenfalls mit B = Mittelfristig. Die Bewertungshinweise für die ausgewählten Antworten können aus Tabelle 22 entnommen werden.

Als **vierte Auswahl** wird ein Element aus der Domänenperspektive der Intralogistik mit dazugehöriger Frage dargestellt. Durch Beantwortung der Frage B.c wird geklärt, ob passive

Ladehilfsmittel Bestandteil der Fragestellung sind. Alle Fragen der Domänenperspektive sind grundsätzlich fakultativ zu beantworten. Sie dienen dazu, die benötigten Informationen bzw. daraus abzuleitenden Datenstrukturen zu konkretisieren.

B.c	Ist die Betrachtung von passiven Ladehilfsmitteln Bestandteil der Fragestellung?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ja (5.1-5-E1)
	B	Nein not (5.1-5-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-5-E1)
	Filterstufe 2	--

Tabelle 23: Auszug Fragenkatalog: Frage B.c

Für die Fragen, die sich in der Domänenperspektive auf die Aspekte der Intralogistik beziehen, ist eine eindeutige Ja / Nein Entscheidung notwendig. Durch die Auswahl der entsprechenden Antwort erfolgt die Auswahl des kompletten mit der Frage verbundenen Elements (bei Frage B.c Element 5.1-5). Der Auswahlmechanismus wird anhand des korrespondierenden Elements aus dem Ordnungskatalog deutlich. Das Element 5.1-5 hat folgenden Aufbau:

5.1	5	Ladehilfsmittel	
		Instanz von Element: 3.2-3 (Bewegliches temporäres Objekt)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-5-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion (z. B. über Ladehilfsmitteltypen)		(5.1-5-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-5-E2-A) or (5.1-5-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-5-E2-B) or (5.1-5-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-5-E2-C) or (5.1-5-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-5-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-5-E3-A) or (5.1-5-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-5-E3-B) or (5.1-5-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-5-E3-C) or (5.1-5-E3-A:B)

E4	Varianten (Beispiele)		(5.1-5-E1) and
	A	Palette	--
	B	Gitterboxen	--
	C	Kleinladungsträger	--
	D	Behälter	--
E5	Attribute (Beispiele)		(5.1-5-E1) and
	A	Anzahl	--
	B	Physikalische Eigenschaften	--
	C	Kapazität	--
(Manivannan, 1998), S. 578 f.			

Tabelle 24: Auszug Ordnungskatalog: Element 5.1-5

Die Eigenschaft E1 korrespondiert zur Antwort der Frage B.c. Alle weiteren Eigenschaften des Elements (E2 Abstraktion, E3 Aggregation, E4 Varianten und E5 Attribute) sind mit der Eigenschaft E1 in einer and-Verbindung verknüpft. Wenn aufgrund der Antwort ‚Nein‘ die Eigenschaft E1 aus der Konfiguration entfernt wird, gilt dies aufgrund der and-Verbindung auch für alle anderen Eigenschaften des Elements bzw. daraus resultierend für das Element insgesamt. In der Verwendungsanweisung sind für das Element 5.1-5 die folgenden Bewertungshinweise in der Bewertungstabelle enthalten:

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis
5.1-5	Ladehilfsmittel E1 Objektverwendung	A Ja	B.c	Die Betrachtung von Ladehilfsmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt.
5.1-5	Ladehilfsmittel E1 Objektverwendung	B Nein	B.c	Wenn die Betrachtung der Objektart nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.

Tabelle 25: Auszug Bewertungstabelle: Element 5.1-5-E1

Da in der Domänenperspektive der Intralogistik speziell auf DWH-Systeme mit diesem inhaltlichen Fokus Bezug genommen wird, kann für die benötigten Elemente davon ausgegangen werden, dass Daten für diese zur Verfügung stehen. Für die Fragen bzw. Elemente der Domänenperspektive steht daher im Vordergrund, dass möglichst viele mit ‚Ja‘ beantwortete Fragen dazu führen, dass DWH-Systeme der Intralogistik für die Simulationsstudie Nutzen bringen.

Für alle drei Szenarios (ASP, ASR und ASB) wird die Frage mit Antwortmöglichkeit A = Ja beantwortet. Ladehilfsmittel sind Gegenstand der jeweiligen Simulationsfragestellungen, sodass entsprechende Daten benötigt werden.

Für die Extraktion von Daten zu Ladehilfsmitteln aus dem DWH kann resultierend aus den Antworten auf die Fragen A.k und A.l und den Antworten auf die domänenspezifischen Fragen sehr konkret entschieden werden, welche Kombinationen aus Faktendaten und Dimensionsdaten für die Fragestellung der Simulationsstudie benötigt werden. Im Szenario ASP sind dies beispielsweise Transportinformationen (Transportaufträge, Transportwege, Transportdauer usw.) zu den verwendeten Standardeuropaletten und weiteren im DWH vorhandenen Ladehilfsmitteln. Die räumliche Dimension sollte im DWH eine Abstraktion auf der Lagerortebene, auf einem Werkbereich oder einem Werk sowie auf einem Unternehmensstandort ermöglichen. Die zeitliche Dimension sollte eine sehr hohe Aggregation auf Jahresebene ermöglichen und Daten über mehrere Jahre beinhalten. Diese Beispiele dienen dazu, zu verdeutlichen, wie die ausgewählten Antworten im Zusammenhang bewirken, dass für die Extraktion der zu verwendenden multidimensionalen Daten aus dem DWH eine zu der Simulationsfragestellung passende Struktur ermittelt werden kann.

5.8 Erweiterung der Komponenten

Eine wesentliche Anforderung an das Konzept ist die Erweiterbarkeit seiner Komponenten. In der Literatur wird die Erweiterbarkeit von Klassifikationssystemen und Nomenklaturen als notwendig erachtet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die grundlegende Struktur im Wesentlichen statisch bleibt, da eine Veränderung nur mit großen strukturellen Änderungen am Gesamtkonzept möglich ist (vgl. (Stock und Stock, 2008), S. 219 ff.). Diese Regel trifft auf das entworfene Konzept und seine Komponenten zu.

Alle drei Komponenten sind konzeptionell so aufgebaut, dass sie erweitert werden können. Innerhalb des Ordnungskataloges dienen die vier Kernperspektiven als statische Basis für die Erweiterung der fünften Perspektive, der Domänenperspektive. Diese kann um weitere Domänen ergänzt werden. Außerdem können innerhalb bestehender Domänen basierend auf dem Instanziierungsprinzip weitere Elemente hinzugefügt werden.

Für die Erweiterung der Komponenten können unterschiedliche Vorgehensweisen notwendig sein. Bei der initialen Befüllung wurde das Ziel verfolgt, für die Kernperspektiven und die Domäne der Intralogistik eine höchstmögliche Abdeckung der benötigten Elemente zu erreichen. Für bisher nicht betrachtete Fragestellungen können sich unterschiedliche Szenarios für Erweiterungsbedarf ergeben.

- **Erweiterung der vorhandenen Inhaltsdomäne Intralogistik um weitere Elemente und Fragen:** Für dieses Szenario stehen in den Kernperspektiven Elemente zur Verfügung, für die das Instanziierungsprinzip der Domänenperspektive angewendet werden muss. Das Prinzip der Ja / Nein Auswahl kann verlassen werden, falls dies als sinnvoll erachtet wird. Die Erstellung eines weiteren Elements mit Konfigurationsmöglichkeit zieht sowohl die Erweiterung des Fragenkatalogs um eine korrespondierende Frage als auch die Erweiterung der Bewertungstabellen in der Verwendungsanweisung nach sich.
- **Erweiterung der Domänenperspektive um eine weitere Inhaltsdomäne:** Für dieses Szenario stehen ebenfalls in den Kernperspektiven Instanziierungselemente zur Verfügung. Im Zuge der Erstellung einer weiteren Inhaltsdomäne kann sich der Bedarf zur Erweiterung der Kernperspektiven ergeben. Für jedes Element müssen sowohl der Fragenkatalog als auch die Bewertungstabelle in der Verwendungsanweisung ergänzt werden.
- **Erweiterung der Kernperspektiven um weitere konfigurierbare Elemente innerhalb der vorhandenen Aspekte:** Für die Erweiterung einer der Kernperspektiven um ein konfigurierbares Element ist zum einen die Erstellung eines Elements unterhalb eines der vorhandenen Aspekte sowie die Ergänzung des Fragenkatalogs um eine entsprechende Frage zur Konfiguration notwendig. Für die Bewertung des konfigurierbaren Elements müssen zum anderen entsprechende Einträge für die definierten Eigenschaften und Ausprägungen in der Bewertungstabelle vorgenommen werden.
- **Erweiterung der Kernperspektiven um weitere beschreibende Elemente innerhalb der vorhandenen Aspekte:** Beschreibende Elemente können hinzugefügt werden, wenn sie das Verständnis des Konzeptes für bestimmte Simulationsfragestellungen unterstützen. Die Erweiterung des Fragenkatalogs ist nicht notwendig, da bei diesem Elementtyp keine Konfiguration vorgesehen ist. Bei Bedarf kann die Bewertungstabelle in der Verwendungsanweisung um erklärende Formulierungen ergänzt werden.
- **Erweiterung der Kernperspektiven um weitere Elemente und neue Aspekte:** Dieses Szenario enthält gegenüber der Erweiterung der Kernperspektiven um weitere Elemente die Ergänzung eines neuen Aspektes. Dieser muss ebenfalls im Perspektivenmodell ergänzt werden.
- **Erweiterung vorhandener Elemente um weitere Eigenschaften:** Innerhalb bestehender Elemente kann sich die Notwendigkeit ergeben, weitere Eigenschaften

(sowohl konfigurierbar als auch beschreibend) zu ergänzen. Bei Ergänzung einer konfigurierbaren Eigenschaft ist wiederum der Fragenkatalog zu erweitern sowie in beiden Fällen die Bewertungstabelle innerhalb der Verwendungsanweisung.

- **Erweiterung vorhandener Eigenschaften in Elementen um weitere Ausprägungen:** Dieses Szenario stellt die geringst mögliche Erweiterung des Konzeptes dar. Wenn für bestehende Eigenschaften eines Elements weitere Ausprägungen ergänzt werden sollen, müssen vorhandene Einträge im Ordnungs- und Fragenkatalog erweitert werden. In der Bewertungstabelle der Verwendungsanweisung sind ebenfalls entsprechende Einträge vorzunehmen.

Für alle Erweiterungen gelten grundsätzlich die im syntaktischen Metamodell aufgestellten Regeln, um die Einhaltung der Struktur und Architektur des Konzeptes zu gewährleisten. Neben der Erweiterung des Konzeptes ist insbesondere für die Erstellung der Bewertungshinweise konzeptioneller Aufwand zu betreiben, um die zu treffenden Empfehlungen für den Nutzer des Konzeptes verwendbar zu gestalten.

5.9 Beispielhafte Anwendung des Konzeptes und Interpretation der Ergebnisse

In Unterabschnitt 5.1.2 ist die Vorgehensweise zur Nutzung des Konzeptes beschrieben. Basierend auf den dort vorgestellten Schritten wird in diesem Abschnitt die Verwendung anhand des in Unterabschnitt 5.7.1 beschriebenen Anwendungsszenarios ASB für die betriebsbegleitende Simulation sowie die sich an die Verwendung anschließende Interpretation der Ergebnisse beschrieben. Das Szenario wurde bereits in Unterabschnitt 5.7.2 verwendet und dient exemplarisch für die Darstellung der Schritte zur Konzeptverwendung sowie für die Erläuterung der Interpretation der Ergebnisse.

Für die Nutzung des Konzeptes anhand des Anwendungsszenarios ASB wird davon ausgegangen, dass der Anwender in die Zielgruppe der Experten im Themenbereich Data Warehousing einzuordnen ist. Daher wird für einige fakultative simulationsspezifische Fragen keine Einordnung vorgenommen. Dies spiegelt die Nutzung des Konzeptes trotz begrenztem Wissen (heuristischer Ansatz) wider. Die Motivation zur Nutzung des Konzeptes besteht im Anwendungsszenario ASB darin, für die zu analysierende Fragestellung zu klären, warum Standort C eine überdurchschnittlich hohe Reklamationsrate aufweist. Für die Beantwortung dieser Frage ist zu entscheiden, ob die Verwendung von Daten aus dem vorhandenen Data Warehouse sinnvoll ist und welche Daten hilfreich sind. Die Nutzung und die Ergebnisse der Schritte eins bis vier sind in Tabelle 26 aufgeführt (In Schritt 4 erfolgt eine Unterteilung in Bereich A = kernperspektivenbezogen und Bereich B = domänenperspektivenbezogen).

Beispielhafte Anwendung des Konzeptes

Schritt	Hinweise	Ergebnis
1	Nachdem Kapitel 1 und 2 der Verwendungsanweisung gelesen wurden, besteht ein Grundverständnis für die Nutzung der Komponenten.	Konzeptverständnis ist vorhanden.
2	Da es sich im Beispielszenario ASB um eine Fragestellung der Intralogistik handelt, ist die inhaltliche Domäne im Konzept abgedeckt.	Inhaltliche Domäne ist abgedeckt.
3	Für das Szenario können die in Tabelle 11 und Tabelle 12 definierten Abstraktionsgrade und Aggregationsebenen übernommen werden, eine Anpassung ist nicht notwendig.	Klassifikationsebenen für die Abstraktion und Aggregation sind festgelegt.
4	<p>Beantwortung der kernperspektivenbezogenen Fragen aus dem Fragenkatalog:</p> <p>A.a (D) Als Modellsicht wird die Simulations- bzw. Prognosesicht eingenommen.</p> <p>A.b (E) Es soll ein ereignisorientiertes, diskretes und bei Bedarf stochastisches Simulationsmodell entwickelt werden.</p> <p>A.c (C) Das durch Simulation zu analysierende System befindet sich in der Betriebsphase.</p> <p>A.d (A) Als Zeitfortschrittsmechanismus wird die ereignisorientierte Sicht gewählt.</p> <p>A.e (Z) Für die Auswahl des Zeithorizonts erfolgt keine Einordnung.</p> <p>A.f (Z) Für das Verhalten der statistischen Outputreihe erfolgt keine Einordnung.</p> <p>A.g (A, B) Als Datenquellen stehen eine relationale Datenbank und ein Data Warehouse zur Verfügung.</p> <p>A.h (Z) Für die Auswahl der Art von Schnittstellen seitens des Simulationssystems erfolgt keine Einordnung.</p> <p>A.i (E) Als Simulationsmethode soll die diskrete Simulation verwendet werden.</p> <p>A.j (Z) Zur Auswahl von Entscheidungsregeln erfolgt keine Einordnung.</p> <p>A.k (B) Räumliche Strukturen sollen auf der Mesoebene betrachtet werden.</p> <p>A.l (B) Als zeitliche Strukturen sollen mittelfristige Zeiträume betrachtet werden.</p> <p>A.m (A, B, C) An technischen Daten stehen Strukturdaten, Fertigungsdaten und Materialflussdaten zur Verfügung und können verwendet werden.</p> <p>A.n (D) Organisatorische Daten stehen nicht zur Verfügung.</p> <p>A.o (A, B) An Systemlastdaten stehen sowohl Auftragsdaten als auch Produktdaten zur Verfügung.</p> <p>A.p (A, B) Im Data Warehouse stehen sowohl absolute als auch relative Kenngrößen als Input zur Verfügung.</p> <p>A.q (Z) Bezüglich des den Kenngrößen zugrunde liegenden Bezugsrahmens erfolgt keine Einordnung.</p> <p>A.r (B) Da die Kenngrößen auf einem Lagerverwaltungssystem basieren, liegt ihnen als Bildungsrichtung das Bottom-Up-Prinzip zugrunde.</p>	
4	Beantwortung der domänenperspektivenbezogenen Fragen aus dem Fragenkatalog:	

	<p>B.a (A) Die Betrachtung von Auftragsdaten ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.b (A) Die Betrachtung von Werkstücken, Material usw. ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.c (A) Die Betrachtung von passiven Ladehilfsmitteln ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.d (A) Die Betrachtung von aktiven Transportmitteln ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.e (B) Die Betrachtung von Leistungsempfängern ist nicht Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.f (B) Die Betrachtung von Leistungserbringern ist nicht Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.g (C, D, E) Es werden die intralogistischen Teilprozesse Lagerung, Transport und Qualitätssicherung betrachtet.</p>
--	--

Tabelle 26: Ergebnisse der beispielhaften Nutzung

Die in Tabelle 26 als beispielhafte Ergebnisse aufgelisteten Antworten zur Analyse der Simulationsfragestellung ASB zeigt, welche Konkretisierung durch die Beantwortung der Fragen ermöglicht wurde. Insbesondere durch die Beantwortung der kernperspektivenbezogenen Fragen kann der erste Teil der Konzeptfragestellung bewertet werden („Ist die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung anwendbar bzw. empfehlenswert [...]“). Durch die Zusammenführung der themenbereichsspezifischen Aspekte der Simulation und des Data Warehousing und die im Bereich der domänenspezifischen Fragen erzielte Eingrenzung auf die zu betrachtenden intralogistischen Elemente können anhand der weiteren Auswertung der Ergebnisse detaillierte Anforderungen an die Inputdaten formuliert werden.

Interpretation der Ergebnisse

Nach Beantwortung aller Fragen dienen die in der Verwendungsanweisung enthaltenen Bewertungshinweise der Interpretation der Antworten. Die Bewertungshinweise sind in verschiedene Tabellen aufgeteilt. Die Bewertung der Eigenschaften der Abstraktion und Aggregation erfolgt zentral in der Tabelle „Bewertung von Abstraktion und Aggregation“ (siehe Tabelle Anhang-D-1). In der Bewertungstabelle „Domänenneutrale Bewertung“ (siehe Tabelle Anhang-D-2) werden Bewertungshinweise zu allen konfigurierbaren Eigenschaften und Ausprägungen der Elemente der Kernperspektiven gegeben. In der Tabelle „Domänenspezifische Bewertung“ (siehe Tabelle Anhang-D-3) erfolgt die Bewertung der domänenspezifischen Elemente für die Domäne der Intralogistik. Abschließend werden Hinweise für die beschreibenden Elemente ohne Filterkriterium in Tabelle „Bewertung der Elemente ohne Filterkriterium“ (siehe Tabelle Anhang-D-4) gegeben. Als Referenzen für Beispiele, die in den Bewertungstabellen genannt sind, dienen die Quellen (Hrdliczka et al., 2007); (Walter, 2010); (Walter, 2011); (Liebl, 1995); (Bichler, 2007); (Külpmann, 2006) als Basis.

Neben den in den Texten enthaltenen Hinweisen, ob die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Daten für die konkrete Simulationsstudie als sinnvoll bzw. nutzbringend einzuschätzen ist, dienen die in den beiden Elementen 5.1-1 und 5.1-2 definierten Klassifikationsstufen als Grundlage für die Extraktion von Daten aus einem zur Verfügung stehenden DWH-System bzw. als Basis für die Bildung von Data Marts in einem neu zu entwickelnden DWH-System. Als Beispiel können die in dieser Arbeit in Tabelle 11 (für die Abstraktion) und Tabelle 12 (für die Aggregation) definierten Klassifikationsstufen verwendet werden. Für die Auswahl relevanter Daten, die aus einem DWH-System für Simulationsstudien im Umfeld der Intralogistik extrahiert werden können, dienen die Antworten auf die domänenspezifischen Fragen.

Aus den für das Beispielszenario in Tabelle 26 ausgewählten Antworten kann folgende Empfehlung für die Beantwortung der kernperspektivenbezogenen Fragen aus den Bewertungstabellen abgeleitet werden:

Schritt	Hinweise und Ergebnisse
5	<p>Extrakt der aus den Bewertungstabellen entnommenen Bewertungshinweise basierend auf den ausgewählten Antworten zu den kernperspektivenbezogenen Fragen:</p> <p>Eine Simulationsstudie, die als Modellsichtvariante das Ziel der Prognose eines Analysegegenstandes verfolgt, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Analysen im Sinne einer Prognose und Simulation benötigen häufig Daten in unterschiedlichen Granularitäten. Diese ist durch die Verwendung von Daten aus einem DWH gegeben. Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, da entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind. Zusätzlich können die stochastischen Elemente durch die enthaltene Datenvarianz reduziert werden. Eine Simulationsstudie in der Betriebsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. In der Betriebsphase sind in einem domänenspezifisch orientierten Data Warehouse Daten in entsprechender Varianz und Granularität zu erwarten. Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind. Da unabhängig vom Begrenzungshorizont und Terminierungsmodus eine Unterstützung durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle möglich ist, kann auch bei fehlender Zuordnung des Zeithorizonts die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle empfohlen werden. Wenn keine Einordnung des statistischen Verhaltens der Outputreihe möglich bzw. keine Einordnung erfolgt ist, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle grundsätzlich empfohlen werden.</p> <p>Bei der Verfügbarkeit von Daten in relationalen Datenbanken ist eine Aufbereitung gemäß den Regeln multidimensionaler Datenmodelle möglich, die Verwen-</p>

dung kann grundsätzlich empfohlen werden. Daten in einem Data Warehouse sind nach den Regeln multidimensionaler Datenmodelle aufbereitet, daher ist bei der Verfügbarkeit eines Data Warehouses die Verwendung dieser Daten in besonderem Maße zu empfehlen. Wenn keine Einordnung zur Verfügbarkeit von Datenschnittstellen vorgenommen wurde, kann keine Empfehlung vorgenommen werden. Bei einer Simulationsstudie, die unter Verwendung der diskreten Simulationsmethode realisiert wird, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden.

Die Abbildung diskreter Informationen ist in Daten aus einem DWH sehr gut nachzuvollziehen, da alle Informationen an Zeitpunkten orientiert gespeichert sind. Eine fehlende Einordnung für von Entscheidungsregeln ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden.

Die Betrachtung der Mesoebene beinhaltet für die räumlichen Strukturen die Betrachtung von Daten abstrahiert auf der Ebene der Lagerorte, Werkbereiche und Werkhallen. Die räumliche Abstraktion auf der Mesoebene beinhaltet einen mittleren Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Mesoebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Die Betrachtung mittelfristiger Zeiträume beinhaltet die aggregierte Betrachtung von Daten auf Monats- und Quartalsebene. Die zeitliche Aggregation auf mittelfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen mittleren Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in mittelfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen.

Strukturdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht prädestiniert. Topologiedaten, Layoutinformationen usw. sind für die Abstraktion und Aggregation nur in geringem Umfang geeignet. Für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle bei Strukturdaten ist die Verfügbarkeit als neutral anzusehen. Fertigungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden. Materialflussdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden. Wenn keine der aufgeführten Datengruppen in einem der Quellsysteme zur Verfügung steht, ist die Erhebung entsprechender Daten durch manuelle Verfahren zu prüfen. Wenn Daten zu organisatorischen Strukturen benötigt werden und deren Erhebung, ist Verwendung multidimensionaler Datenmodelle aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht zu empfehlen. Auftragsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden. Produktdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden.

Wenn als Input der Simulationsstudie absolute Kenngrößen zum Einsatz kommen, können diese sowohl aus multidimensionalen Datenmodellen als auch aus anderen Datenquellen erhoben werden. Der Nutzen ist nicht auf die Verwendung entsprechend aufbereiteter Daten mit mehreren Dimensionen beschränkt. Die Verwendung von multidimensionalen Datenmodellen kann empfohlen werden. Bei Auswahl dieser Ausprägung ist die Betrachtung der benötigten Dimensionen

	<p>im konkreten Fall relevant für die Einschätzung, ob Daten aus DWH-Systemen verwendet werden sollten. Die Verwendung ist grundsätzlich zu empfehlen. Wenn als Input der Simulationsstudie relative Kenngrößen bzw. Verhältniszahlen zum Einsatz kommen, ist die Verwendung entsprechend aufbereiteter Kennzahlen in multidimensionalen Datenmodellen besonders zu prüfen und deren Verwendung zu empfehlen. Relative Kennzahlen beinhalten aufgrund ihrer Aggregation und Abstraktion besondere Anforderungen, die durch Daten aus einem DWH erfüllt werden können.</p> <p>Eine fehlende Einordnung bezüglich des Bezugsrahmens der Kenngrößen ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden. Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bildungsrichtung die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle empfohlen werden. Die Art der Bildungsrichtung dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft.</p>
--	--

Tabelle 27: Bewertungshinweise für das Beispielszenario ASB (I)

Die Darstellung der Bewertungshinweise basierend auf den für das Beispielszenario ausgewählten Antworten zu den kernperspektivenbezogenen Fragen macht deutlich, dass aufgrund der Rahmenbedingungen der konkreten Simulationsfragestellung die Nutzung der Daten aus dem DWH empfehlenswert ist. Aus dem Data Warehouse können entsprechende Daten basierend auf den angegebenen Klassifikationsstufen der ausgewählten Dimensionen Zeit und Ort extrahiert werden. Welche Daten für die Analyse der Simulationsfragestellung relevant sein können, ergibt sich aus den Antworten zu den domänenperspektivenbezogenen Fragen:

Schritt	Hinweise und Ergebnisse
5	<p>Extrakt der aus den Bewertungstabellen entnommenen Bewertungshinweise basierend auf den ausgewählten Antworten zu den domänenperspektivenbezogenen Fragen:</p> <p>Die Betrachtung von Auftragsdaten bzw. Jobdaten wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Lieferservice, der absatzorientierten Liefertreue sowie der Lieferleistung basieren auf Auftragsdaten. Die Betrachtung von Werkstücken wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Die Betrachtung von Werkstücken im Sinne von Artikeln, Artikelgruppen, Produktgruppen usw. ist in zahlreichen logistischen Kennzahlen aus den Bereichen der Bestandsanalyse, des Lagerumschlags, des Lieferservice sowie der Lieferleistung enthalten.</p> <p>Die Betrachtung von Ladehilfsmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen der Lageranalyse, der Transportleistungskontrolle, des Lagerumschlags sowie der Bestandsanalyse enthalten häufig Informationen zu Ladehilfsmitteln, insbesondere, wenn der intralogistische Prozess auf spezifische Anforderungen der Ladehilfsmittel ausgerichtet werden muss. Die Betrachtung von Transportmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Transportqualität, Transportleistung sowie der Wegeoptimierung beinhalten</p>

	<p>häufig Informationen zu Transportmitteln. Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungsempfänger nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen. Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungserbringer nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen. Die Betrachtung von Lagerprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Lagerzeiten, Lagerauslastung, Lagerbewegungen, ABC- und XYZ-Analysen betrachtet.</p> <p>Die Betrachtung von Transportprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Transportwegauslastung, Transportdauer, Auslastung von Transportmitteln betrachtet. Die Betrachtung von Qualitätsprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, sehr gut unterstützt. Im intralogistischen DWH betrachtet werden z. B. Qualitätsstatuswechsel, gesperrte Bestände, Sperrzeiten. Die detaillierte Analyse von Qualitätsaspekten kann durch ein Data Warehouse der Intralogistik häufig nicht gewährleistet werden. Dazu werden ergänzende Informationen z. B. aus einem System zur Qualitätssicherung mit erweiterten Möglichkeiten zur Betrachtung von qualitativen Messungen benötigt.</p>
--	--

Tabelle 28: Bewertungshinweise für das Beispielszenario ASB (II)

Wie bereits in Tabelle 20 und Tabelle 21 für die Beantwortung der beiden Fragen A.k und A.l dargestellt ist, werden die ausgewählten Abstraktionsgrade (räumliche Struktur, Ort) und Aggregationsebenen (zeitliche Struktur) auf alle Elemente der Domänenperspektive angewendet. Bei der im Beispielszenario getroffenen Auswahl der mittelfristigen Analyse auf der Mesoebene bezieht sich die räumliche Unterteilung in Lagerort, Werkbereich und Werkshalle sowie die zeitliche Unterteilung in monatliche und quartalsweise Aggregation daher auf alle in Tabelle 28 aufgeführten Daten. Aufgrund der multidimensionalen Aufbereitung (siehe auch Abbildung 10) können die beiden Dimensionen in unterschiedlichen Kombinationen wie beispielsweise [Lagerort – Quartal] oder [Werkshalle – Monat] angewendet werden, um die Simulationsfragestellung zu analysieren. Durch die Verwendung der im ETL-Prozess aufbereiteten Daten ist sichergestellt, dass die einheitliche Datenbasis trotz unterschiedlicher Blickwinkel auf die Simulationsfragestellung erhalten bleibt.

Die im Beispielszenario verwendeten Abstraktionsgrade beziehen sich auf die räumliche Struktur, da diese in den Simulationsfragestellungen der Intralogistik ein relevanter Blickwinkel ist. Bei anderen Fragestellungen können für den Abstraktionsgrad auch andere Blickwinkel (Dimensionen) relevant sein. Diese können aufgrund der frei wählbaren Einteilung der drei Ebenen Mikroebene, Mesoebene und Makroebene im bestehenden Konzept ohne die Notwendigkeit der Erweiterung verwendet werden. Die bisher beschriebenen Ergebnisse stammen aus der Auswertung der beantworteten Fragen. Im Ordnungskatalog ist eine Anzahl von beschreibenden Elementen enthalten, welche nicht durch Fragen aus dem Fragenkatalog gefiltert werden. Diese Elemente dienen zum einen als Erläuterungen und Beispiele.

Zum anderen ergänzen sie die durch die bisherigen Bewertungshinweise ermittelten Empfehlungen. Einige für das Beispielszenario relevante Hinweise sind in Tabelle 29 aufgeführt:

Schritt	Hinweise und Ergebnisse
5	<p>Extrakt der aus den Bewertungstabellen entnommenen Bewertungshinweise für die beschreibenden Elemente:</p> <p>Die Einordnung in der Wertschöpfungskette erfolgt im Bereich der Eingangs- und Ausgangslogistik. Daten für diese Prozesse sind in Lagerverwaltungssystemen und auf diesen basierenden Logistics Intelligence Kennzahlensystemen zu finden.</p> <p>Relevante exogene Varianten von Auslösern der Zustandsänderungen sind für die Entstehung eines Objektes im System z. B. die Zeitpunkte, zu denen sie ins Simulationssystem eintreten. Im DWH kann es sich dabei um Anlage- oder Bearbeitungszeitpunkte an Daten handeln. Auslöser der Zustandsänderung für exogene Varianten für den Weggang eines Objektes aus dem System sind z. B. die Zeitpunkte, zu denen sie das Simulationssystem verlassen. Im DWH kann es sich dabei um Zeitpunkte der Fertigstellung der Produktion, Lieferzeitpunkte oder Einlagerzeitpunkte handeln.</p> <p>Auslöser der Zustandsänderung für endogene Varianten kann der Beginn einer Wartezeit aufgrund eines belegten Instruments sein. Wartezeiten werden in der Intralogistik häufig durch die Lagerung von Werkstücken, Ladehilfsmitteln oder Transportmitteln in Pufferlagern usw. abgebildet. Der Einlagerzeitpunkt entspricht dann dem Zeitpunkt des Beginns der Wartezeit. Auslöser der Zustandsänderung für endogene Varianten kann das Ende einer Wartezeit aufgrund eines belegten bzw. wieder freien Instruments sein. Wartezeiten werden in der Intralogistik häufig durch die Lagerung von Werkstücken, Ladehilfsmitteln oder Transportmitteln in Pufferlagern usw. abgebildet. Der Auslagerzeitpunkt entspricht dann dem Zeitpunkt des Endes der Wartezeit. Zeitkonsumierende Aktivitäten sind als Werte über Prozessdauer oder Laufzeit im DWH abgebildet. Aggregiert sind diese häufig als Durchschnitt über die Zeitdimension zu finden.</p> <p>Dabei kann es sich in der Intralogistik beispielsweise um Werte zur Produktionsdauer, Lagerdauer, Kommissionierdauer oder Transportdauer handeln.</p> <p>Für Objekte im Simulationsmodell werden die Orte, an denen sie ins Simulationssystem eintreten, benötigt. Im intralogistischen DWH kann es sich dabei um Startpunkte von Transportwegen, bestimmte Lagerorte wie Wareneingang oder Produktionslagerorte (bei Fertigungskomponenten) handeln. Für Objekte im Simulationsmodell werden die Orte, an denen sie das Simulationssystem verlassen, benötigt. Im intralogistischen DWH kann es sich dabei um Endpunkte von Transportwegen, bestimmte Lagerorte wie Warenausgang oder Produktionslagerorte (bei Verbrauchskomponenten) handeln</p>

Tabelle 29: Bewertungshinweise für das Beispielszenario ASB (III)

Das beschriebene Beispiel zur Interpretation der Ergebnisse soll das Verständnis zur Nutzung des Konzeptes unterstützen. Die konkrete Verfügbarkeit bzw. Erstellung von Daten in einem multidimensionalen Datenmodell hängt von der konkreten Simulationsaufgabenstellung und den vorhandenen Rahmenbedingungen ab. Das Konzept erhebt nicht den Anspruch, die Verfügbarkeitslücke von Daten im Einzelfall zu schließen, sondern es dient dazu, Hinweise zur Nutzbarkeit von Daten zu geben.

6 Validierung der Konzeptkomponenten

In dieser Arbeit wurde ein Konzept zur Identifikation von Unterstützungspotenzial für die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte in Simulationsstudien entwickelt. Ziel der Validierung ist es, das Konzept dahingehend zu überprüfen, ob es die erwarteten Ergebnisse liefern bzw. den erhofften Nutzen bringen kann. Bei der Validierung können die Verfahren der internen und der externen Validierung unterschieden werden. Die interne Validierung wird durch den Entwickler eines Konzeptes selbst durchgeführt und bezieht sich beispielsweise auf Vollständigkeit und Konsistenz. Die externe Validierung erfolgt durch eine an der Entwicklung nicht beteiligte Instanz (vgl. (Greiffenberg, 2012)).

Die Umsetzung des Konzeptes erfolgte durch die Entwicklung von drei Komponenten, dem Ordnungskatalog, dem Fragenkatalog sowie der Verwendungsanweisung. Im folgenden Abschnitt werden das gesamte Konzept sowie die entwickelten Komponenten validiert. Die Validierung teilt sich in zwei Bereiche auf, die sowohl die interne als auch die externe Validierung abdecken. Zum einen erfolgt eine Praxisvalidierung zur Abdeckung der externen Validierung, indem das Konzept in einem Simulationsprojekt verwendet wurde und die dabei erzielten Erfahrungen und Ergebnisse beschrieben werden. Zum anderen wird die Validierung gegen die definierten Anforderungen durchgeführt, um die interne Validierung zu gewährleisten. Dabei wird für alle Anforderungen beschrieben, in wieweit sie erfüllt werden konnten bzw. in welchem Maß und basierend auf welcher Begründung eine Erfüllung nicht erreicht werden konnte.

6.1 Praxisvalidierung im Rahmen einer Fallstudie

Die Praxisvalidierung des Konzeptes erfolgte im Rahmen der Durchführung einer Fallstudie für ein Forschungsprojekt der Universität Oldenburg. Das Forschungsprojekt beschäftigt sich damit, wie Ökostrom aus Windenergie für das Aufladen von batteriebetriebenen Containertransportern im Betrieb von Hafenterminals verwendet werden kann. Der optimale Zeitpunkt für die Aufladung wäre, wenn besonders viel Ökostrom im Stromnetz zur Verfügung steht. Das Projekt untersucht dabei unter anderem, ob der Ladezeitpunkt der Fahrzeuge auf die betrieblichen Anforderungen des Terminalbetriebes sowie auf die Auslastungsspitzen des Stromnetzes abgestimmt werden kann. Zur Analyse der Zusammenhänge dieser drei Aspekte werden Simulationssysteme eingesetzt. Die Simulationsfragestellung im Projekt bezieht sich darauf, Zweitnutzeneffekte für die Nutzung von Ökostrom durch Windenergie zu identifizieren. Dazu erfolgt in der Simulationsstudie eine Darstellung der Gesamtlastgangprognose sowohl kurzfristig (über einen Zeitraum von 24 Stunden im 15-Minuten-Takt) als auch langfristig über die Lebensdauer der Fahrzeugbatterien hinweg (mehrere Jahre). Der Hafенbereich

wurde in einem Simulationssystem nachgebildet. Als Inputdaten (in digitaler Form) stehen für die Analyse Lastdaten mit Informationen zu Schiffsankünften und Ladezeiten zur Verfügung (vgl. (EFZN, 2013)).

6.1.1 Ziele der Praxisvalidierung

Mit der Praxisvalidierung werden verschiedene Ziele verfolgt. Die Nutzung des Konzeptes in der Fallstudie soll zeigen, ob die drei Komponenten in der Praxis im Rahmen einer Simulationsstudie einsetzbar sind. Für die drei Komponenten wurden folgende Fragen untersucht:

1. Konnte die Abgrenzung der Aufgaben der drei Komponenten klar erkannt werden?
2. Wie konnte das Konzept aufgrund der Beschreibung in der Verwendungsanweisung verwendet werden? Konnten die Zusammenhänge der Komponenten sowie deren Nutzungsreihenfolge nachvollzogen werden?
3. Wurde aus der Beschreibung bzw. der Verwendung der Komponenten klar, welches Ziel bzw. welcher Nutzen mit der Verwendung und den erzielten Ergebnissen verbunden ist?
4. Konnten Erkenntnisse aus der Verwendung des Konzeptes für das Praxisprojekt gewonnen werden?
5. Wie werden die in den Konzeptkomponenten enthaltenen Informationen bezogen auf deren Umfang, den Abdeckungsgrad, den Inhalt, dessen Zugänglichkeit und Nachvollziehbarkeit beurteilt?
6. Wie wird die Relevanz der in den Konzeptkomponenten enthaltenen Informationen im Allgemeinen und für die Analyse der Simulationsfragestellung beurteilt (Content-Relevanz)?

Für den Ordnungskatalog wurden zusätzlich folgende Fragen untersucht:

1. Sind die Struktur und der Aufbau des Ordnungskatalogs verständlich?
2. Wurden die Elemente und ihre Eigenschaften nachvollziehbar erläutert?

Für den Fragenkatalog wurden zusätzlich folgende Fragen untersucht:

1. Ist die Struktur des Fragenkatalogs verständlich?
2. Sind die Fragen verständlich formuliert?
3. Sind die Antwortmöglichkeiten aufgrund des Ordnungskataloges verständlich?

Für die Verwendungsanweisung wurden zusätzlich folgende Fragen untersucht:

1. Ist die Verwendungsanweisung im erläuternden Teil verständlich?
2. Ist die Verwendungsanweisung im Auswertungsteil verständlich?

6.1.2 Durchführung und Ergebnisse der Nutzung im Praxisprojekt

Die Durchführung der Nutzung (bzw. die konkrete Durchführung der Validierung) erfolgte im beschriebenen Praxisprojekt in vier Phasen. In der ersten Phase wurden dem Nutzer das Konzept sowie die drei Komponenten in einem persönlichen Gespräch erläutert. Durch die Vorstellung und Erläuterung des Konzeptes und seiner Komponenten im persönlichen Gespräch mit dem Validierungsnutzer konnten die ersten Erkenntnisse bezüglich weiterem Erklärungsbedarf, der Notwendigkeit zur Ergänzung oder Verdeutlichung von Zusammenhängen zwischen den Komponenten sowie zur Prüfung der Vollständigkeit gewonnen werden. Basierend auf dieser Vorstellung erfolgte die Verwendung des Konzeptes durch Beantwortung der aufgeführten Fragen im Fragenkatalog. Der Ordnungskatalog wurde im Verwendungsprozess parallel durch den Validierungsnutzer geprüft, indem die Erläuterungen zu den Elementen in die Beantwortung der Fragen eingeflossen sind. Während der gesamten Durchführung der Nutzung wurde die Verwendung auf die drei bestehenden Komponenten beschränkt, um sicherzustellen, dass das Konzept ohne Kenntnis der Dissertationsschrift verwendbar ist. In der zweiten Phase wurden die drei Komponenten vom Nutzer eigenständig verwendet und der Fragenkatalog wurde beantwortet. Das Ergebnis der Beantwortung ist in Tabelle 30 detailliert beschrieben. In der dritten Phase konnte der Nutzer basierend auf den extrahierten Bewertungshinweisen prüfen, ob die getroffene Empfehlung zur Nutzung von Daten aus einem DWH für das Praxisprojekt hilfreich und anwendbar ist. In der vierten Phase erfolgte die Beantwortung der für die Validierung formulierten Fragen (siehe Unterabschnitt 6.1.1).

Die im Rahmen der Konzeptverwendung erhobenen Ergebnisse für die Beantwortung der Fragen des Fragenkatalogs (Bereich A = kernperspektivenbezogen, Bereich B = domänenperspektivenbezogen) sind in Tabelle 30 aufgeführt:

Schritt	Hinweise und Ergebnis
4	Beantwortung der kernperspektivenbezogenen Fragen aus dem Fragenkatalog: A.a (D) Als Modellsicht wird die Simulations- bzw. Prognosesicht eingenommen. A.b (E) Es soll ein ereignisorientiertes, diskretes und bei Bedarf stochastisches Simulationsmodell entwickelt werden. A.c (C) Das durch Simulation zu analysierende System befindet sich in der Betriebsphase. A.d (A) Als Zeitfortschrittsmechanismus wird die ereignisorientierte Sicht gewählt. A.e (B) Die Fragestellung verfügt über einen begrenzten Horizont und enthält terminierende Faktoren. A.f (B) Das Verhalten der statistischen Outputreihe ist nicht stationär. A.g (A) Als Datenquelle steht eine relationale Datenbank zur Verfügung. A.h (A) Als Schnittstelle steht eine standardisierte IT-technische Schnittstelle zur

	<p>Verfügung.</p> <p>A.i (E) Als Simulationsmethode soll die diskrete Simulation verwendet werden.</p> <p>A.j (Z) Zur Auswahl von Entscheidungsregeln erfolgt keine Einordnung.</p> <p>A.k (B, C) Räumliche Strukturen sollen auf der Mesoebene und der Makroebene betrachtet werden.</p> <p>A.l (A, C) Als zeitliche Strukturen sollen kurzfristige und langfristige Zeiträume betrachtet werden.</p> <p>A.m (A, B, C) An technischen Daten stehen Strukturdaten, Fertigungsdaten und Materialflussdaten zur Verfügung und können verwendet werden.</p> <p>A.n (A, B, C) An organisatorische Daten stehen Arbeitszeitorganisationsdaten, Ressourcenzuordnungsdaten und Ablauforganisationsdaten zur Verfügung.</p> <p>A.o (A) An Systemlastdaten stehen Auftragsdaten zur Verfügung.</p> <p>A.p (A) In der Datenquelle stehen absolute Kenngrößen als Input zur Verfügung.</p> <p>A.q (A, B, D) Als Bezugsrahmen vorhandener Kenngrößen ist ein lokaler, ein globaler und ein Ablaufbezug ausgewählt worden.</p> <p>A.r (A) Als Bildungsrichtung für vorhandene Kenngrößen wurde die Top-Down-Richtung ausgewählt.</p>
4	<p>Beantwortung der domänenperspektivenbezogenen Fragen aus dem Fragenkatalog:</p> <p>B.a (A) Die Betrachtung von Auftragsdaten ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.b (A) Die Betrachtung von Werkstücken, Material usw. ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.c (A) Die Betrachtung von passiven Ladehilfsmitteln ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.d (A) Die Betrachtung von aktiven Transportmitteln ist Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.e (B) Die Betrachtung von Leistungsempfängern ist nicht Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.f (B) Die Betrachtung von Leistungserbringern ist nicht Bestandteil der Fragestellung.</p> <p>B.g (C, D) Es werden die intralogistischen Teilprozesse Lagerung und Transport betrachtet.</p>

Tabelle 30: Ergebnisse der Praxisnutzung

Aus der Beantwortung der Fragen im Rahmen der Fallstudie ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie diese bereits im Beispielszenario dargestellt wurden (siehe Tabelle 27 und Tabelle 28). Die Bewertungshinweise für die ausgewählten Antworten sind in Tabelle 31 aufgeführt:

Schritt	Hinweise und Ergebnisse
5	<p>Extrakt der aus den Bewertungstabellen entnommenen Bewertungshinweise basierend auf den ausgewählten Antworten zu den kernperspektivenbezogenen Fragen:</p> <p>Eine Simulationsstudie, die als Modellsichtvariante das Ziel der Prognose eines Analysegegenstandes verfolgt, wird durch die Verwendung multidimensionaler</p>

Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Analysen im Sinne einer Prognose und Simulation benötigen häufig Daten in unterschiedlichen Granularitäten. Diese ist durch die Verwendung von Daten aus einem DWH gegeben. Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, da entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind. Zusätzlich können die stochastischen Elemente durch die enthaltene Datenvarianz reduziert werden.

Eine Simulationsstudie in der Betriebsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. In der Betriebsphase sind in einem domänenspezifisch orientierten Data Warehouse Daten in entsprechender Varianz und Granularität zu erwarten. Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind.

Eine Simulationsstudie mit begrenztem Horizont und eindeutiger Terminierung wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, da Daten im DWH mit einer Zeitinformation gekennzeichnet sind. Bei einer Simulationsstudie mit nicht stationärem Verhalten der Outputreihe kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden. Übergangsprozesse, strukturelle Eigenschaften der Domäne sowie zeitliche Informationen sind in DWH-Daten i. d. R. abhängig vom Domänenkontext abgebildet.

Bei der Verfügbarkeit von Daten in relationalen Datenbanken ist eine Aufbereitung gemäß den Regeln multidimensionaler Datenmodelle möglich, die Verwendung kann grundsätzlich empfohlen werden. Bei der Übertragung von Daten basierend auf standardisierten IT-technischen Schnittstellen unterstützt den Transfer von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen, die Verwendung kann empfohlen werden.

Bei einer Simulationsstudie, die unter Verwendung der diskreten Simulationemethode realisiert wird, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden. Die Abbildung diskreter Informationen ist in Daten aus einem DWH sehr gut nachzuvollziehen, da alle Informationen an Zeitpunkten orientiert gespeichert sind. Eine fehlende Einordnung für von Entscheidungsregeln ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden.

Die Betrachtung der Mesoebene beinhaltet für die räumlichen Strukturen die Betrachtung von Daten abstrahiert auf der Ebene der Lagerorte, Werkbereiche und Werkshallen. Die räumliche Abstraktion auf der Mesoebene beinhaltet einen mittleren Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Mesoebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Die räumliche Abstraktion auf der Makroebene beinhaltet einen hohen Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Makroebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen der Makroebene ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.

Die Betrachtung kurzfristiger Zeiträume beinhaltet die aggregierte Betrachtung von Daten auf Tages- und Wochenebene. Die zeitliche Aggregation auf kurzfristi-

ge Zeiteinheiten beinhaltet nur einen geringen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in kurzfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen. Der Erhebung und Aufbereitungsaufwand ist aufgrund der geringen Aggregationsebene zu prüfen.

Die zeitliche Aggregation auf langfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen hohen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in langfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen mit langfristigem Zeithorizont ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.

Strukturdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht prädestiniert. Topologiedaten, Layoutinformationen usw. sind für die Abstraktion und Aggregation nur in geringem Umfang geeignet. Für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle bei anderen technischen Daten ist die Verwendung als neutral anzusehen. Fertigungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden. Materialflussdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden.

Arbeitszeitorganisationsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden. Ressourcenzuordnungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden. Ablauforganisationsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.

Auftragsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden.

Wenn als Input der Simulationsstudie absolute Kenngrößen zum Einsatz kommen, können diese sowohl aus multidimensionalen Datenmodellen als auch aus anderen Datenquellen erhoben werden. Der Nutzen ist nicht auf die Verwendung entsprechend aufbereiteter Daten mit mehreren Dimensionen beschränkt. Die Verwendung von multidimensionalen Datenmodellen kann empfohlen werden. Bei Auswahl dieser Ausprägung ist die Betrachtung der benötigten Dimensionen im konkreten Fall relevant für die Einschätzung, ob Daten aus DWH-Systemen verwendet werden sollten. Die Verwendung ist grundsätzlich zu empfehlen. Wenn als Input der Simulationsstudie relative Kenngrößen bzw. Verhältniszahlen zum Einsatz kommen, ist die Verwendung entsprechend aufbereiteter Kennzahlen in multidimensionalen Datenmodellen besonders zu prüfen und deren Verwendung zu empfehlen.

Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bezugsrahmen die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle empfohlen werden. Die

	Art des Bezugsrahmens dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft. Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bildungsrichtung die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle empfohlen werden. Die Art der Bildungsrichtung dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft.
--	---

Tabelle 31: Bewertungshinweise für das Praxisprojekt (I)

Die Empfehlung zur Nutzung multidimensionaler Daten im Praxisprojekt ergibt sich aufgrund der Bewertung der kernperspektivenbezogenen Fragen noch deutlicher als im Beispielszenario. Dies ist insbesondere darauf zurück zu führen, dass im Praxisprojekt zwei verschiedene Aggregationsebenen, die kurzfristige und die langfristige Betrachtung relevant sind. Die Aufbereitung der zur Verfügung stehenden Daten innerhalb eines Data-Warehouse-Systems gewährleistet die qualitativ hohe Transformation und stellt sicher, dass auch bei der Verwendung unterschiedlicher Blickwinkel die Datenkonsistenz gewährleistet ist. Auch die Einordnung der Simulationsstudie im Praxisprojekt als nicht stationäre Simulation erhöht die Empfehlung für die Berücksichtigung von Daten aus einem DWH. Übergangsprozesse, strukturelle Eigenschaften der Domäne sowie zeitliche Informationen sind in DWH-Daten durch eindeutige Zeitinformationen, welche an allen Daten abgelegt sind, reproduzierbar und in zeitlicher Hinsicht eindeutig zuzuordnender Form abgebildet.

Für die Beantwortung der domänenperspektivenbezogenen Fragen ergeben sich die in Tabelle 32 aufgeführten Bewertungshinweise:

Schritt	Hinweise und Ergebnisse
5	<p>Extrakt der aus den Bewertungstabellen entnommenen Bewertungshinweise basierend auf den ausgewählten Antworten zu den domänenperspektivenbezogenen Fragen:</p> <p>Die Betrachtung von Auftragsdaten bzw. Jobdaten wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Lieferservice, der absatzorientierten Liefertreue sowie der Lieferleistung basieren auf Auftragsdaten. Die Betrachtung von Werkstücken wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Die Betrachtung von Werkstücken im Sinne von Artikeln, Artikelgruppen, Produktgruppen usw. ist in zahlreichen logistischen Kennzahlen aus den Bereichen der Bestandsanalyse, des Lagerumschlags, des Lieferservice sowie der Lieferleistung enthalten.</p> <p>Die Betrachtung von Ladehilfsmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen der Lageranalyse, der Transportleistungskontrolle, des Lagerumschlags sowie der Bestandsanalyse enthalten häufig Informationen zu Ladehilfsmitteln, insbesondere, wenn der intralogistische Prozess auf spezifische Anforderungen der Ladehilfsmittel ausgerichtet werden muss. Die Betrachtung von Transportmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des</p>

	<p>Transportqualität, Transportleistung sowie der Wegeoptimierung beinhalten häufig Informationen zu Transportmitteln. Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungsempfänger nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen. Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungserbringer nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen. Die Betrachtung von Lagerprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Lagerzeiten, Lagerauslastung, Lagerbewegungen, ABC- und XYZ-Analysen betrachtet.</p> <p>Die Betrachtung von Transportprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Transportwegauslastung, Transportdauer, Auslastung von Transportmitteln betrachtet.</p>
--	--

Tabelle 32: Bewertungshinweise für das Praxisprojekt (II)

Für das Praxisprojekt steht zum Zeitpunkt der Nutzung des Konzeptes kein Data Warehouse zur Verfügung. Als Ergebnis aus der Bewertung durch die Komponenten dieser Arbeit kann die Empfehlung zur Nutzung von multidimensional aufbereiteten Inputdaten abgeleitet werden. Für die Aufbereitung der Inputdaten können die in Tabelle 32 gegebenen Hinweise sowie die aus den beiden Klassifikationshierarchien der Elemente 5.1-1 und 5.1-2 abzuleitenden räumlichen und zeitlichen Dimensionen als Grundlage dienen. Auf die Darstellung der beschreibenden Elemente wird für das Praxisprojekt verzichtet, da diese keinerlei Veränderungen durch die Filterung der beantworteten Fragen unterliegen. Die Informationen aus Tabelle 29 sind in gleicher Form wie im Beispielszenario anwendbar und auf das Praxisprojekt übertragbar.

Für die Erstellung eines übertragbaren Ergebnisses auf Daten des Praxisprojektes kann auf die Aussagen des geführten Interviews zurückgegriffen werden (vgl. (Grundmeier, 2015)). Als Ergebnis kommt heraus, dass die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle für die Simulationsstudie geeignet ist. Dieses Ergebnis wird bestätigt, da tatsächlich Daten aus multidimensionalen Datenmodellen verwendet werden bzw. notwendig sind. Als relevante Zeiträume (die auf die Klassifikationshierarchie des Elements 5.1-2 zu übertragen sind) stehen aggregierten Informationen auf 15-Minutenbasis im Zentrum der Betrachtung. Als Transportmittel werden verschiedene Arten von Containern betrachtet. Die räumliche Abstraktion kann sowohl auf verschiedene Schiffsklassen als auch auf unterschiedliche Bereiche im Hafenterminalbetrieb angewendet werden.

6.1.3 Bewertung der Praxisvalidierung

Die in diesem Unterabschnitt enthaltene Bewertung der Praxisvalidierung basiert auf der in Unterabschnitt 6.1.2 beschriebenen Nutzung der Konzeptkomponenten und den Ergebnissen eines im Februar 2015 durchgeführten Interviews. In diesem Interview wurden die in Unter-

abschnitt 6.1.1 formulierten Fragen beantwortet Das Interview ist in der Quelle (Grundmeier, 2015) enthalten.

Um das Konzept nutzen zu können, ist die Nachvollziehbarkeit der Abgrenzung der Komponenten und deren Verwendungszweck notwendig. Diese konnte für das Konzept insgesamt sowie für die drei Komponenten bestätigt werden. Die gleiche Anforderung der Nachvollziehbarkeit besteht für die mit dem Konzept verbundenen Ziele bzw. für dessen Nutzen. Durch die Verwendung des Konzeptes wurden beide Anforderungen geprüft und sowohl die Ziele als auch der Nutzen konnten nachvollzogen werden. Der Ordnungskatalog wurde als hilfreich und sinnvoll bewertet. Da die Validierung des Konzeptes durch einen Simulationsexperten erfolgte, wurde der Erläuterungsumfang zu den Elementen im Ordnungskatalog teilweise als zu umfangreich empfunden. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Erläuterungen für einen Anwender mit weniger spezifischem Vorwissen notwendig und hilfreich sind. Für die Einarbeitung in das Konzept zu dessen Validierung wurden (abgesehen von der Unhandlichkeit basierend auf der Verfügbarkeit als Papierkonzept) keine negativen Aussagen getroffen. Im Fragenkatalog wurden die Formulierungen der Fragen und die Handhabung der Antwortmöglichkeiten als in sich schlüssig und verständlich beurteilt.

Bei der Nutzung des Konzeptes als problematisch angesehen wurde die Übertragung der Handhabung der Bewertungshinweise auf die konkrete Simulationsstudie. Um diesen Mangel zu beheben wurden ergänzende Informationen zur Interpretation sowohl in die Verwendungsanweisung als auch in die Dissertation aufgenommen.

Für die weitere Entwicklung des Konzeptes ergeben sich aus der Praxisvalidierung folgende möglichen Hinweise:

- Implementierung eines Softwarewerkzeugs zur Verbesserung der Nutzung der Konzeptkomponenten: Die Nutzung der drei Komponenten in der vorliegenden Form als Papierdokumente hat sich (wie zu erwarten) als unhandlich und unübersichtlich erwiesen. Die Implementierung in einem Softwarewerkzeug, welches durch Beantwortung der Fragen eine entsprechende Konfiguration der Bewertungshinweise vornimmt und die Erläuterungen des Ordnungskataloges beispielsweise in Form einer Hilfe- bzw. Informationsfunktion zur Verfügung stellt, würde die Nutzung deutlich vereinfachen und einen wesentlichen Beitrag wenn nicht sogar eine grundlegende Voraussetzung für die weitere Verwendung und Verfeinerung des Konzeptes leisten.
- Ergänzung der textlich orientierten Bewertungshinweise um eine Absolutbewertung in einer Nominalskala oder „Ampelbewertung“: Bisher sind die Bewertungshinweise ausschließlich in textlicher Form verfügbar. Die Erweiterung um eine Nominalskala oder mindestens eine dreistufige (Rot, gelb, grün) Ampelbewertung könnten dem

Nutzer eine schnelle Übersicht über die Ergebnisse ermöglichen, bevor mit der detaillierten Auswertung begonnen wird. Zur Umsetzung einer solchen Absolutbewertung wäre die Verwendung des Konzeptes in einer ausreichenden Anzahl von Simulationsstudien notwendig, um nachvollziehbare Skalenabstufungen identifizieren zu können. Zusätzlich könnte diese Absolutbewertung die unterschiedliche Gewichtung von Fragen besser verdeutlichen als die im initialen Konzept gewählte Unterscheidung zwischen obligatorischen und fakultativen Fragen. Insbesondere die Verwendung der Ergebnisse, wenn die Beantwortung der Fragen nicht zu einer so eindeutigen Empfehlung wie in der Praxisvalidierung führt (vgl. (Grundmeier, 2015)), könnte durch die Integration eines zusätzlichen Bewertungsmittels unterstützen.

Die Praxisvalidierung hat sowohl die Verwendbarkeit des Konzeptes initial bewiesen sowie dessen Fähigkeit bestätigt, eine Antwort auf die Konzeptfragestellung in Bezug auf die analysierte Simulationsfragestellung zu liefern. Gleichzeitig konnten aus der Nutzung des Konzeptes zwei wesentliche Hinweise zur Weiterentwicklung für die zukünftige wissenschaftliche Bearbeitung identifiziert werden sowie zahlreiche kleinere und größere Optimierungspunkte, die direkt in die initiale Erstellung eingeflossen sind.

6.2 Überprüfung gegenüber den definierten Anforderungen

Der Abgleich der Konzeptkomponenten gegenüber den in Abschnitt 4.3 definierten Anforderungen entspricht der internen Validierung. Diese beschränkt sich nicht nur auf die Prüfung der Vollständigkeit und Konsistenz, sondern erfolgt auf alle aufgeführten Anforderungen.

6.2.1 Validierung der allgemeinen Anforderungen

Ausgangspunkt für den Aufbau der Elemente war die Erstellung des syntaktischen Rahmens bestehend aus den in Kapitel 5 beschriebenen Diagrammen (siehe Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 9). Dieses dient als syntaktisches Metamodell (vgl. Abschnitt 3.1 und 5.2) und liefert die benötigten strukturellen Regeln für verschiedene Anforderungen an das Konzept.

A1 Generische Erweiterbarkeit: Alle drei Komponenten sind erweiterbar. Innerhalb der einzelnen Perspektiven und Aspekte des Ordnungskataloges können sowohl in den Kernperspektiven und als auch in der Domänenperspektive Erweiterungen vorgenommen werden. Das Konzept beinhaltet auf allen Ebenen unterhalb der Perspektivenebene (siehe Abbildung 20) die Möglichkeit, weitere Elemente hinzuzufügen. Insbesondere die Domänenperspektive ist konzeptionell dafür vorgesehen, um weitere Domänen ergänzt zu werden und somit das Konzept für eine breite Basis von Anwendungsfällen nutzbar zu machen.

A2 Semantische Vollständigkeit und Korrektheit: Die semantische Vollständigkeit und Korrektheit werden durch das im Konzept enthaltene Metamodell abgedeckt. Das Metamodell gibt Namenskonventionen vor, bietet einen sachlogischen Rahmen für die Definition von neuen Elementen und stellt durch eine eindeutige Nomenklatur eine begriffliche Widerspruchsfreiheit sicher. Damit sichert das Metamodell die Struktur- und Verhaltenstreue sowohl während der Ersterstellung als auch im Zusammenhang mit Erweiterungen des Konzeptes ab.

A3 Syntaktische Korrektheit: Die syntaktische Korrektheit der Elemente in den drei Komponenten kann basierend auf den definierten Syntaxdiagrammen als erfüllt angesehen werden. Alle Elemente sind in den Syntaxdiagrammen abgebildet (siehe Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 9) und über die jeweilige Referenzierung eindeutig identifizierbar. Die Syntaxdiagramme dienen ebenfalls als Basis für die Erweiterung der Komponenten.

A4 Systematischer Aufbau und Integration: Die drei Elemente bauen sowohl syntaktisch als auch inhaltlich aufeinander auf. Die im Ordnungskatalog festgelegten Strukturen für die Elemente werden sowohl im Fragenkatalog als auch in der Verwendungsanweisung wiederverwendet. Die im Fragenkatalog festgelegten Strukturen finden sich ebenfalls in der Verwendungsanweisung wieder.

A5 Originalität und Nutzen: Bei allen drei Komponenten handelt es sich um originäre Artefakte. Sie wurden im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und stellen einen innovativen Ansatz zur Analyse von Simulationsfragestellungen bezüglich der Verwendung von Inputdaten dar. Die aus der Konfiguration entstehende Verwendungsempfehlung für multidimensionale Datenmodelle stellt einen Nutzen für die jeweils betrachtete Fragestellung dar.

A6 Heuristischer Anspruch: Der heuristische Anspruch an das Gesamtkonzept konnte erfüllt werden. Im Ordnungskatalog werden innerhalb der Kernperspektiven alle enthaltenen Elemente erläutert, außerdem finden sich zu allen Elementen Literaturhinweise für vertiefende Informationen. Im Fragenkatalog sind sowohl obligatorische als auch fakultative Fragen enthalten, sodass auch mit begrenztem Wissen über die Simulationsfragestellung eine Verwendung des Konzeptes möglich ist. Basierend auf den Empfehlungen der Verwendungsanweisung können Ergebnisse daher auch unter heuristischen Gesichtspunkten erzielt werden.

6.2.2 Validierung der Anforderungen an den Ordnungskatalog

Der Ordnungskatalog beinhaltet den Kern des Konzeptes. Basierend auf den vier Kernperspektiven, der Domänenperspektive sowie den in den Perspektiven enthaltenen Aspekten

und Elementen können die an den Ordnungskatalog gestellten Anforderungen validiert werden.

B1 Strukturelle Klarheit: Die Struktur des Ordnungskatalogs ist in Abbildung 19 beschrieben. Sie berücksichtigt aufgrund der Trennung in Kern- und Domänenperspektive sowohl die identifizierten für die Analyse relevanten Aspekte der Themenbereiche als auch das Umfeld von konkreten Simulationsstudien, welches in der Domänenperspektive abgebildet werden kann. Die in den GoM geforderten allgemeinen Grundsätze der Strukturiertheit, Übersichtlichkeit, Transparenz und Lesbarkeit sind erfüllt.

B2 Abstraktion und Allgemeingültigkeit: Die in den Kernperspektiven des Ordnungskatalogs beschriebenen Elemente konnten von den Details des Themenbereichs Data Warehousing weitestgehend abstrahiert werden. Eine Abstraktion vom Themenbereich der Simulation konnte nicht erreicht werden. Die Erfüllung dieser Anforderung hat sich als nicht sinnvoll herausgestellt, da Gegenstand der Konzeptverwendung Simulationsstudien sind. Weiterhin sind alle Komponenten so aufgebaut, dass das Konzept von der Zielgruppe der Simulationsexperten ohne größere Einarbeitung verwendet werden kann³⁵. Die geforderte Abstraktion konnte abgebildet werden, da vergleichbare Eigenschaften aus den beiden Themenbereichen Simulation und Data Warehousing zusammengefasst wurden (insbesondere bei den Elementen in der Transformationsperspektive).

B3 Idealtypische Definition der Elemente: Die im Ordnungskatalog definierten Elemente sind nicht vollständig idealtypisch, d.h. trennscharf voneinander abgegrenzt, definiert. Die nur teilweise gegebene Erfüllung dieser Anforderung wurde akzeptiert, da die Strukturtreue auch bei Erweiterungen der Komponenten und insbesondere des Ordnungskatalogs basierend auf dem Instanziierungsprinzip umgesetzt wurde. Dabei werden Elemente in der Domänenperspektive als Instanzen der Elemente aus den Kernperspektiven umgesetzt. Dieser Zusammenhang widerspricht dem Grundsatz der vollständig trennscharfen Abbildung.

B4 Hierarchische Struktur: Der Ordnungskatalog ist hierarchisch strukturiert und erfüllt damit die Anforderung. Die Elemente werden den hierarchischen Ebenen *Perspektive* und *Aspekte* zugeordnet und innerhalb dieser Struktur eindeutig gekennzeichnet.

B5 Orientierung an einem Architekturansatz: Die Erfüllung der Anforderung spiegelt sich in der Definition der Diagramme und deren durchgängiger Verwendung wider. Die Diagramme haben eine allgemeingültige, d.h. für alle Elemente angewandte Struktur. Sie sind insofern robust gegen Änderungen und Erweiterungen innerhalb des vorgegebenen Struktur-

³⁵ Zur Erreichung dieses Ziels werden Aussagen im Abschnitt der Praxisvalidierung gemacht.

rahmens. Diese Erweiterungen sind wiederum innerhalb der Katalogarchitektur auf alle Elemente übertragbar. Die Struktur der Architektur wird ergänzt durch das syntaktische Metamodell, welches vor allem für die Strukturbildung der Elementbeschreibungen verantwortlich ist.

6.2.3 Validierung der Anforderungen an den Fragenkatalog

Der Fragenkatalog dient als führende Komponente im Konzept. Basierend auf den Fragen und deren Beantwortung erfolgt die Konfiguration der Elemente bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen. Aus dieser Konfiguration erfolgt die Zusammenstellung der Empfehlungen und Hinweise aus der Verwendungsanweisung.

C1 Orientierung an einem Architekturansatz: Der Aufbau des Fragenkatalogs ist am definierten Fragediagramm ausgerichtet und in den Architekturansatz des Gesamtkonzeptes integriert.

C2 Objektivität des Ergebnisses: Die Fragen wurden im Rahmen der Praxisvalidierung auf ihre Verständlichkeit und Eindeutigkeit hin geprüft und bezogen auf Interpretationsfreiheit und objektive Beantwortung hin ausgerichtet.

C3 Reliabilität des Ergebnisses: Die Formulierung der Fragen wurde im Rahmen der Praxisvalidierung auf ihre Reliabilität hin geprüft und bezogen auf die Reproduzierbarkeit der Antworten hin ausgerichtet.

C4 Validität: Die Formulierungen der Fragen richten sich streng nach den zu ermittelnden Ergebnissen und beziehen sich im engen Sinn auf die jeweils zu konfigurierende Eigenschaft.

C5 Vermeidung von Antworttendenzen und systematischen Messfehlern: Zu vermeiden sind folgende Effekte:

- **Tendenz zur Mitte:** Da Skalenwerte im Fragenkatalog nicht enthalten sind, kann keine Tendenz zur Mitte hin entstehen.
- **Tendenz zur ersten passenden Kategorie:** Aufgrund der relativ geringen Anzahl der Antwortmöglichkeiten kann davon ausgegangen werden, dass alle Kategorien erfasst werden können. Diese Antworttendenz konnte allerdings methodisch nicht ausgeschlossen werden.
- **Polung der Fragen durch Formulierung mit Negationen:** Alle Fragen sind als Positivfragen formuliert, auf Formulierungen mit Negationen wurde verzichtet.

- Nichtbeantwortung von Fragen: Das Konzept ist aufgrund des heuristischen Anspruchs so konzipiert, dass auch bei Nichtbeantwortung einzelner Fragen ein Ergebnis und ein Erkenntnisgewinn möglich sind.
- Motivationale Überforderung: Durch Bündelung der Eigenschaften, die durch eine Fragestellung beantwortet werden können, konnte die Anzahl der zu beantwortenden Fragen in einem angemessenen Umfang gehalten werden.

6.2.4 Validierung der Anforderungen an die Verwendungsanweisung

Die Verwendungsanweisung ist für die Handhabung des Konzeptes das begleitende und erläuternde Dokument. Nach Beantwortung der Fragen dienen die in der Verwendungsanweisung enthaltenen Bewertungshinweise und Empfehlungen der Interpretation der Ergebnisse.

D1 Orientierung an einem Architekturansatz: Der Aufbau der Verwendungsanweisung ist im ersten Teil textorientiert und unterliegt daher in diesem Teil keiner Architekturvorgabe. Im zweiten Teil unterliegt die Verwendungsanweisung den Vorgaben der Struktur der Bewertungstabelle und folgt damit insgesamt dem Architekturansatz des Gesamtkonzeptes.

D2 Zielgruppenorientierung: Zur Definition des Konzeptes gehörte die Definition der Zielgruppen, an die sich das Konzept richtet (siehe Tabelle 8). Der Inhalt der Empfehlungen und Hinweise der Bewertungstabelle richtet sich an diese Zielgruppen.

D3 Dauerhafte Begleitung des gesamten Lebenszyklus: Die Verwendungsanweisung dient für das Konzept als dauerhaft begleitendes Dokument. Sie unterstützt bei der Erstbenutzung, bei der Erweiterung der Komponenten sowie bei der Auswertung der Ergebnisse nach Bearbeitung des Fragenkatalogs.

D4 Vorgabe einer handlungslogischen Reihenfolge: Die Verwendungsanweisung enthält ausführliche Informationen zur Handhabung des Konzeptes (siehe Abbildung 16), die auch während der Praxisvalidierung auf Vollständigkeit geprüft wurden, daher ist diese Anforderung erfüllt.

D5 Explizite Erläuterung der Darstellungskonventionen: Die Verwendungsanweisung enthält ausführliche Informationen zur Darstellung und zu verwendeten Architekturvorgaben.

D6 Einhaltung von Verständlichkeitsprinzipien: Die Verwendungsanweisung beschreibt die verwendeten Prinzipien, gibt einen allgemeinen Überblick über die Komponenten und deren Strukturen sowie eine Bearbeitungsreihenfolge. Für die Auswertung der Er-

gebnisse enthält sie detaillierte Informationen, die ein angemessenes Maß zwischen notwendiger Tiefe und höchstmöglicher Kürze und Einfachheit anstreben.

6.3 Beantwortung der definierten Forschungsfragen

In Abschnitt 1.3 wurden die zu untersuchenden Forschungsfragen zur Erreichung des Gesamtziels formuliert. Nachfolgend werden diese Fragen basierend auf den vorliegenden Ergebnissen beantwortet.

Frage 1: Welche Eigenschaften von Simulationsstudien und Data-Warehouse-Systemen gibt es, die diese (insbesondere im Hinblick auf datenrelevante Aspekte) wesentlich charakterisieren? Wie korrespondieren diese miteinander? (Fokus: Identifikation von Eigenschaften)

Bei der detaillierten Analyse der im Rahmen dieser Arbeit gesichteten Literatur über die Themenbereiche Simulation und Data Warehousing hat sich die Notwendigkeit einer thematischen Eingrenzung der Simulationsstudien ergeben. Diese Fokussierung diente der Gewährleistung von Ergebnissen, die auf eine möglichst exakt zu bestimmende Gruppe von Simulationsfragestellungen anwendbar sind. Die Eingrenzung auf die diskrete Eventsimulation ergab sich aus dem Fokus der inhaltlichen Domäne der Intralogistik, in der die Relevanz dieser Methodik für die Analyse von Prozessabläufen z. B. aus der VDI Richtlinie 3633 zu entnehmen ist (vgl. (VDI, 2010)). Für die diskrete Eventsimulation konnten als relevante Eigenschaften der Zeitbezug, die zentralen Umsetzungskonzepte, die verschiedenen Objektarten sowie die Ereignisorientierung identifiziert werden (vgl. (Page, 1991), (Liebl, 1995)). Diese Eigenschaften wurden in Form von Elementen strukturiert. Hinzu kommen die in der Domänenperspektive identifizierten Eigenschaften der Betrachtung der räumlichen und zeitlichen Strukturen sowie die im Zentrum der Intralogistik stehenden Transportaspekte.

Frage 2: Welche der identifizierten Eigenschaften sind zur Konfiguration und Beschreibung des Simulationsgegenstandes geeignet bzw. notwendig? (Fokus: Identifikation von gemeinsamen Eigenschaften zur Konfiguration und Beschreibung).

Neben den in Frage 1 beschriebenen wesentlichen Eigenschaften konnten die beiden Mechanismen der Abstraktion und Aggregation als allgemeingültig verwendbar identifiziert werden. Beide Mechanismen, die in dieser Arbeit auf die Abbildung von räumlichen und zeitlichen Dimensionen angewendet wurden, können als typische Mechanismen in Simulationsstudien und in Data-Warehouse-Systemen angesehen werden. Die Übertragung auf andere Dimensionen kann nach dem Vorbild dieser Abbildung erfolgen (siehe Unterabschnitt 3.1.2).

Frage 3: Welche Abstraktionsgrade gibt es in diskreten Simulationsmodellen und in Data-Warehouse-Modellen? Welche Kriterien sind auf die Klassifikation der Abstraktions- und Aggregationsprozesse anwendbar? (Fokus: Identifikation von Klassifizierungsebenen)

Die beiden Mechanismen der Abstraktion und Aggregation konnten jeweils auf allgemeingültige Ebenen übertragen werden (siehe Unterabschnitt 3.1.2). Für die Abstraktion konnten die drei Ebenen der Mikroebene, Mesoebene und der Makroebene definiert werden. Für die Aggregation wurden die drei Ebenen der kurzfristigen, mittelfristigen und langfristigen Betrachtung festgelegt. Da sich diese drei Ebenen jeweils in einem individuell angepassten Verhältnis in Form der frei wählbaren Klassifikationsstufen (siehe Unterabschnitt 5.6.2) verwenden lassen, können auch flexible Dimensionen innerhalb dieses Schemas abgebildet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden für die beiden Mechanismen ausschließlich hierarchische Dimensionsstrukturen verwendet. Insbesondere die Abstraktionseigenschaft kann ausgehend von der räumlichen Strukturierung auch für andere Arten von Hierarchien verwendet werden. Beispielhaft kann die in Abbildung 10 enthaltene Produktgruppenstruktur genannt werden. Für Simulationsstudien, die sich nicht innerhalb der inhaltlichen Domäne der Intra-logistik bewegen und für die daher eine andere als die räumliche Struktur eine hohe Relevanz hat, kann die allgemeingültige Ebenenzuordnung der Mikroebene, Mesoebene und der Makroebene auf andere Hierarchien übertragen werden.

Die Abbildung der zeitlichen Strukturen im Rahmen der Aggregation können aus Sicht der Autorin nicht ohne weiteres auf andere inhaltlich nicht die Zeit betrachtende Klassifikationshierarchien übertragen werden. Da der zeitliche Aspekt innerhalb der Simulationsstudien jedoch generell zu betrachten ist, besteht hierfür keine Notwendigkeit.

Frage 4: Wie muss ein gemeinsamer Rahmen für die Strukturierung der identifizierten Eigenschaften gestaltet sein, um sie als Basis für die Identifikation von Unterstützungspotenzial nutzen zu können? Wie kann die Konfiguration der identifizierten Eigenschaften erfolgen? (Fokus: Aufbau Architektur und Identifikation von Konfigurationsfragen).

Für den gemeinsamen Rahmen wurden während der Entwicklung des Konzeptes drei Komponenten identifiziert. Um die Strukturtreue in allen drei Komponenten zu gewährleisten wurde ein durchgängiges syntaktisches Metamodell entworfen und bei der Gestaltung der beiden Kataloge sowie der Verwendungsanweisung verwendet. Dieses als architektonischer Rahmen zu verstehende Metamodell dient ebenfalls als Rahmen für die Erweiterung der Komponenten bei der späteren Verwendung. Die Strukturierung der identifizierten Eigenschaften erfolgte über die fünf hierarchischen Ebenen, welche ausgehend von der Perspektive eine Einteilung in Aspekte, Elemente, Eigenschaften und deren Ausprägungen gewährleistet

(siehe Abbildung 20). Die Strukturierung in Elemente, Eigenschaften und Ausprägungen wurde ergänzt um die Zuordnung eindeutiger Konfigurationskriterien. Durch die im syntaktischen Metamodell entwickelte Nomenklatur über alle strukturellen Ebenen hinweg ist die Konfigurierbarkeit auf zwei Filterstufen ermöglicht worden. So können sowohl einzelne Ausprägungen als auch Eigenschaften insgesamt gefiltert werden. Diese beiden Möglichkeiten zur Konfiguration stellen sicher, dass eine größtmögliche Anpassbarkeit der Obermenge an Elementen auf die zu analysierende Simulationsfragestellung gewährleistet wird.

Die Abbildung der Konfigurationskriterien und deren Filtermechanismus auf den Fragenkatalog konnte erreicht werden, indem die Beantwortung der Fragen zur erwünschten Filterung genutzt wird. Die Verwendung des Konzeptes ist möglich, ohne die Details von dessen Implementierung zu kennen. Diese Anforderung konnte in der Praxisvalidierung bestätigt werden, da die grundlegenden Ausführungen in der Verwendungsanweisung als Basis für das Verständnis ausreichten. Für die Erweiterung des Konzeptes ist jedoch eine vertiefte Auseinandersetzung mit den in dieser Arbeit beschriebenen Regeln, dem syntaktischen Metamodell sowie der Katalogarchitektur notwendig.

Frage 5: Wie kann resultierend aus der Analyse der Simulationsfragestellung eine Bewertung der Verwendbarkeit von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen erfolgen?

Die Bewertung der Verwendbarkeit von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen ist ein wesentlicher Bestandteil des Konzeptes. Diese kann aus der Analyse der Simulationsfragestellung abgeleitet werden und ermöglicht so die Übertragung der Bewertungsinformationen auf die jeweilige Fragestellung. Die Bewertungshinweise in der Verwendungsanweisung sind in vier unterschiedliche Bewertungstabellen unterteilt und beziehen sich im Detail auf die einzelnen Eigenschaften und Ausprägungen der Elemente. Aufgrund der Strukturierung dieser Tabellen und deren Orientierung am syntaktischen Metamodell werden die Informationen aus den drei Konzeptkomponenten in diesen Bewertungstabellen zusammengeführt.

Die initiale Umsetzung des Konzeptes beinhaltet die Bewertung der Verwendbarkeit von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen in textlicher Form. Die Bewertungshinweise resultieren aus der Analyse der im Rahmen dieser Arbeit analysierten Konzepte und deren Übertragung auf das Data Warehousing und die Diskrete Event-Simulation.

Die Analyse einer Simulationsfragestellung sowie die Verwendung der Bewertungshinweise konnte im Rahmen der beispielhaften Nutzung sowie der Praxisvalidierung anhand von zwei Beispielen aufgezeigt werden.

Das Konzept wurde im Rahmen der Erstellung und der initialen Befüllung für die diskrete Eventsimulation mit dem thematischen Schwerpunkt der Intralogistik untersucht. Da beide Nutzungen im Rahmen der inhaltlichen Domäne der Intralogistik sowie der diskreten

Eventsimulation einzuordnen sind, konnte daher eine entsprechende Nutzung erfolgen. Für Simulationsstudien aus anderen Inhaltsdomänen bzw. nicht der diskreten Eventsimulation zuzuordnenden Simulationsstudien ist zu erwarten, dass die Ergebnisse einen anderen Empfehlungsgrad aufweisen.

Die beiden Klassifikationshierarchien der räumlichen Abstraktion sowie der zeitlichen Aggregation können auf die Erstellung von entsprechenden Dimensionen im Data Warehouse übertragen werden. Der hohe Freiheitsgrad für die konkrete Ausgestaltung der hierarchischen Struktur im Einzelfall der zu analysierenden Simulationsstudie gewährleistet die Anwendbarkeit auf ein breites Feld an Anwendungsszenarios. Die Möglichkeit zur Übertragung der Klassifikationshierarchien auf relevante Dimensionen und deren Struktur ist neben den in den Bewertungshinweisen enthaltenen Informationen der zweite wesentliche Beitrag zur Bewertung der Verwendbarkeit von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die analysierte Simulationsstudie. Je genauer die Anpassung der Klassifikationshierarchien (in Form der Ebenen der beiden Elemente 5.1-1 und 5.1-2) im Rahmen der Analyse der Simulationsfragestellung erfolgt, desto höher ist die Qualität der Daten, die als Input für die Simulationsstudie in Form multidimensional aufbereiteter Daten erstellt bzw. bereitgestellt werden können.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit umfasst Aspekte aus den Themenbereichen der diskreten Event-Simulation sowie des Data Warehousing. Die Aufgabenstellung bestand darin, ein Konzept zu entwickeln, welches die datengetriebenen Prozessschritte in Simulationsstudien unterstützt. Dazu wurde im Rahmen der Konzepterstellung analysiert, welche wesentlichen Eigenschaften diese Simulationsstudien mit dem einleitend gesetzten Fokus auf der diskreten Event-Simulation charakterisieren und wie diese auf die vorhandenen Mechanismen des Data Warehousing übertragen werden können. Ergebnis dieser Analyse ist der in dieser Arbeit vorgestellte Ordnungskatalog mit den in ihm strukturiert abgelegten Elementen sowie deren Eigenschaften und Ausprägungen. Die Notwendigkeit zur Konfiguration des Ordnungskataloges auf die individuellen Aspekte und Rahmenbedingungen einzelner Simulationsstudien führte zu der Erstellung des Fragenkatalogs. Dieser ermöglicht die Filterung der für den Einzelfall notwendigen Elemente. Die Informationen zur Bewertung der konfigurierten Elemente bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen sind wesentlicher Bestandteil der Verwendungsanweisung und dort in drei Bewertungstabellen abgebildet. Sie ermöglichen eine individualisierte Übertragung der Ergebnisse auf die einzelnen Simulationsfragestellungen. Der in der Verwendungsanweisung ebenfalls enthaltene Leitfaden schließt die Konzepterstellung ab. Die miteinander verbundenen Nutzungsaspekte der drei Komponenten ermöglichen die in der Praxisvalidierung initial bestätigte einfache Handhabung des Konzeptes.

Der Aufbau des Konzeptes und seiner Komponenten basierte auf der Analyse des in Abschnitt 2.2 beschriebenen Handlungsbedarfs zur Reduzierung des Mengen-, Aufwands- und Zeitproblems innerhalb der Durchführung von Simulationsstudien der diskreten Eventsimulation. In Abschnitt 4.2 konnten das sich für den Lösungsansatz ergebende Handlungspotenzial sowie der Lösungsansatz in Form des Konzeptes zur Konfiguration aufgezeigt werden. Ausgehend von den aus dem Lösungsansatz gewonnen Anforderungen an das Konzept sowie die im Themenfeld der Konzept- und Modellentwicklung etablierten theoretischen Anforderungen erfolgte der in Kapitel 5 ausführlich beschriebene Entwurf des Konzeptes.

Die bei der Erstellung des Konzeptes identifizierte Aufteilung in zentrale Kernperspektiven und Aspekte sowie die umfängliche Abbildung einer initialen Inhaltsdomäne in der Domänenperspektive bieten innerhalb des Konzeptes die notwendigen Mechanismen, dieses zu erweitern und zu ergänzen, ohne die grundlegenden und zentralen Strukturen des Konzeptes verändern zu müssen. Eine Kernleistung bei der Erstellung des Konzeptes waren die Identifikation und Verbindung der beiden als zentral zu betrachtenden Klassifikationshierarchien für die Abstraktion und die Aggregation. Die Analyse der Fachliteratur ergab für diese beiden Mechanismen keine verwendbare Strukturierung, die auf eine breite Anzahl von Simulations- und Data-Warehousing-Fragestellungen anwendbar schien. Die Klassifikationsstufen der

beiden Hierarchien sind aus der Fachliteratur abgeleitet, verallgemeinert und strukturell miteinander verbunden worden (siehe Abbildung 9). Die Übertragung auf die Domäne der Intralogistik sowie auf konfigurierbare Eigenschaften ermöglicht auch zukünftig eine individuelle Nutzung, Anpassung und Konfiguration dieser zentralen Mechanismen für die Übertragung von Daten zwischen IT-Systemen.

Die Nutzung des Konzeptes wurde anhand eines Beispielszenarios initial dargestellt. Die externe Validierung des Konzeptes erfolgte anhand der Verwendung innerhalb eines Simulationsprojektes in der Praxis. Die interne Validierung wurde basierend auf den in der Analysephase aufgestellten wissenschaftlichen Anforderungen durchgeführt. Während der Validierung konnten neben den beiden unmittelbar identifizierten zukünftigen Forschungsaspekten von der Autorin weitere Optimierungsansätze identifiziert werden. Die Umsetzung des Konzeptes in Form eines Softwarewerkzeuges sowie die Erweiterung der textlich orientierten Bewertung um Absolutwerte wurden bereits in Kapitel 6 erläutert. Darüber hinaus ist für die Autorin eine Verwendung des Konzeptes in weiteren Simulationsstudien als notwendig anzusehen. Eine breit angelegte Nutzung wird dazu führen, dass die für die Erweiterung des Konzeptes aufgestellten Regeln genutzt und überprüft werden können, wenn weitere Inhaltsdomänen oder Simulationsstudien außerhalb der diskreten Eventsimulation betrachtet werden. Der Aufbau eines weiteren Inhaltsaspektes innerhalb der Domänenperspektive ist genauso wünschenswert wie die weitergehende Prüfung, ob die Kernperspektiven weitestgehend vollständig sind oder ob zusätzliche Elemente, Eigenschaften oder Ausprägungen das Konzept erweitern sollten.

Innerhalb der Konzeptnutzung in der Praxisvalidierung konnte das Konzept durch einen Simulationsexperten überprüft und verwendet werden. Wünschenswert wäre die Verwendung durch Nutzer aus den beiden anderen in dieser Arbeit beschriebenen Zielgruppen. Die Prüfung des Konzeptes durch einen Experten im Themenbereich Data Warehousing oder einen fachfremden Anwender kann dazu führen, dass sowohl die erklärenden Anteile des Ordnungskatalogs als auch der Erläuterungsabschnitt in der Verwendungsanweisung ausgeweitet werden sollten.

Die Ausführungen zeigen, dass das Potenzial des entwickelten Konzeptes durch dessen Nutzung und Weiterentwicklung vielversprechend ist. Diese Perspektive mit der initialen Erstellung des Konzeptes zu eröffnen, war ein hoher Anspruch an diese Arbeit. Die zahlreichen Möglichkeiten, wie sie in diesem Kapitel angedeutet wurden, auszuschöpfen und weiterzuführen, würde die analytische und konzeptionelle Arbeit, die in diese Arbeit investiert wurden, mit einem weiterführenden Sinn versehen.

Anhang

Anhang A: Der Simulationsprozess

Der Simulationsprozess bzw. die Durchführung einer Simulationsstudie gliedert sich in verschiedene Phasen. Ein typischer Simulationsprozess ist in Abbildung 23 exemplarisch dargestellt. Der Prozess orientiert sich an Darstellungen von (Küll und Stähly, 1999), S. 5; (Banks, 1998), S. 16; (Rabe et al., 2008), S. 5 sowie (VDI, 2010), S. 19.

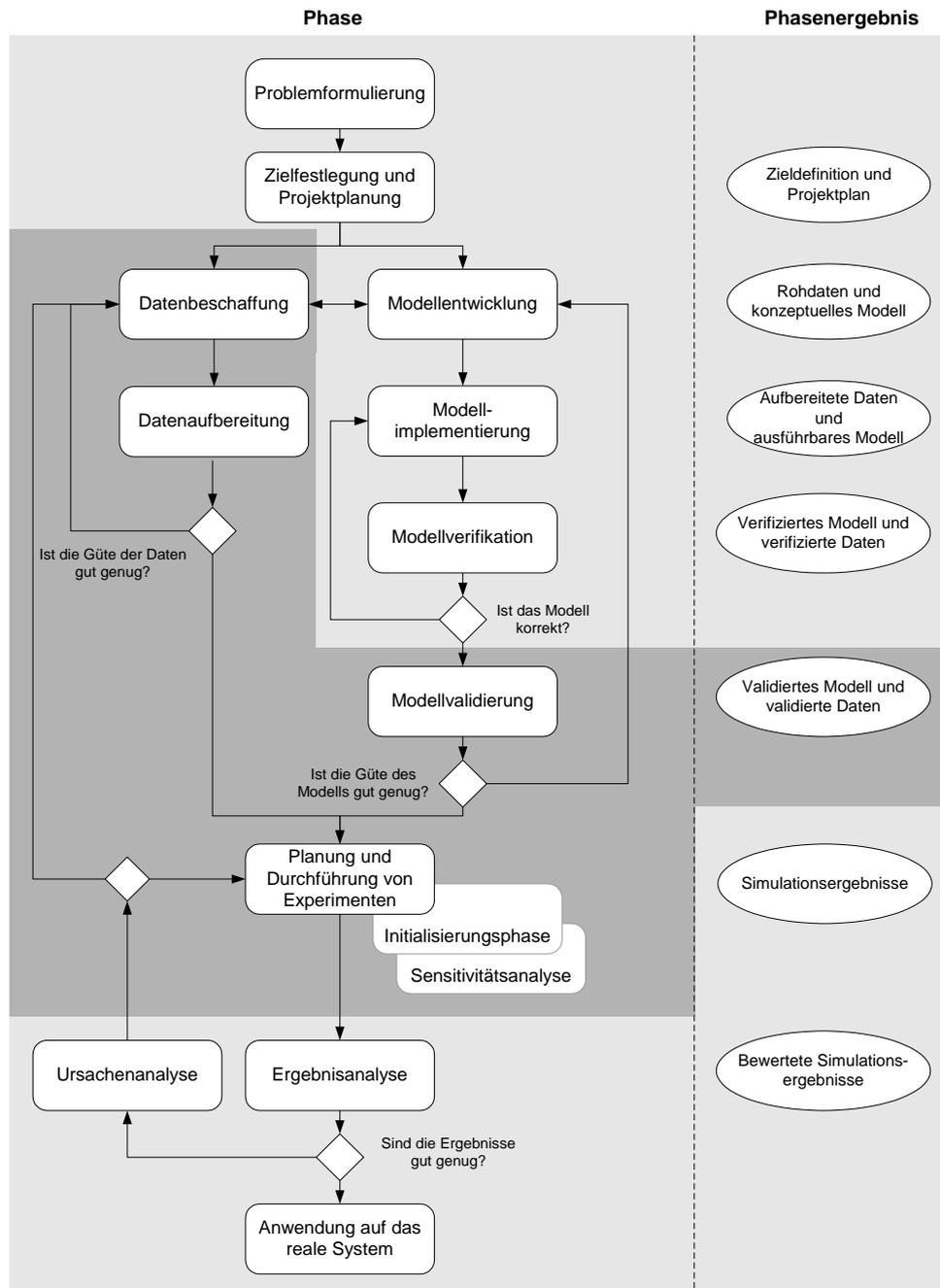


Abbildung 23: Simulationsprozess (eigene Darstellung)

Die dargestellten Phasen beinhalten folgende Aufgaben und Tätigkeiten (orientiert an (Rabe et al., 2008), S. 4 ff. und 51 ff.; (Zell, 1992), S. 7 f.; (Küll und Stähly, 1999), S. 6; (Kühn, 2006), S. 101 ff. und 408 f. und (VDI, 2010), S. 20ff.):

Phase Problemformulierung: Die erste Phase dient der Analyse der zu bearbeitenden Aufgabenstellung. Dazu gehört die Abgrenzung des zu untersuchenden Systems gegenüber der nicht zu betrachtenden Umwelt.

Phase Zielfestlegung und Projektplanung: In dieser Phase erfolgt die Definition der Ziele, die mit der Simulationsstudie erreicht werden sollen. Komplexe Ziele werden in Teilziele zerlegt und bestehende Wechselwirkungen identifiziert. Für die Projektplanung ist relevant, dass der wirtschaftliche Rahmen festgelegt wird. Zur Projektplanung gehört ebenfalls die Definition eines Experimentplanes.

Ergebnisse der beiden Phasen sind die Zieldefinition sowie ein Projektplan zur Durchführung der Simulationsstudie.

Phase Datenbeschaffung: Diese Phase dient der Identifizierung und Sammlung der für die Simulationsstudie relevanten Daten. Dabei werden verschiedene Arten von Daten unterschieden: Daten zur Beschreibung der Topologie und Struktur des Systems sowie zur Beschreibung der Komponenten können unter dem Oberbegriff der technischen und organisatorischen Daten zusammengefasst werden. Für die Durchführung der Simulationsexperimente werden Daten der Zustandsänderungen sowie Daten für die Abbildung der Systemlast benötigt (vgl. (VDI, 2010), S. 22). Die Datenbeschaffung nimmt im gesamten Verlauf der Simulationsstudie einen maßgeblichen Anteil für den Erfolg ein. Im Verlauf der Simulationsstudie können sich regelmäßig Änderungen am Modell ergeben, die eine erneute Analyse der benötigten Daten bzw. eine entsprechende erweiterte Datenbeschaffung zur Folge haben. Als Voraussetzung für die Beschaffung müssen Art und Umfang der bereitzustellenden Daten definiert sein, deshalb besteht ein enger Austausch zur Phase der Modellentwicklung. Außerdem ergeben sich bezüglich der Detailtiefe der benötigten Inputdaten Abhängigkeiten aus der gewählten Zielsetzung.

Phase Modellentwicklung: Zu Beginn dieser Phase wird für das zu entwickelnde Modell der erforderliche Abstraktionsgrad festgelegt. Ein zu geringer Abstraktionsgrad beinhaltet die Gefahr, dass die Komplexität des Modells erhöht wird, ein zu hoher Abstraktionsgrad wiederum kann zu Verlusten beim erforderlichen Erkenntnisgewinn führen. Die Orientierung am definierten Simulationsziel ist daher in dieser Phase von besonders hoher Bedeutung. Die Wahl des angemessenen Abstraktionsgrades beeinflusst maßgeblich den Erfolg der Simulationsstudie (vgl. (Rohrer, 1998), S. 523). Auch bei der Modellentwicklung kann es sinnvoll sein, komplexe Systeme in Teilmodellen abzubilden, um die Simulationszeiten zu verkürzen

sowie die Validierung zu vereinfachen. Bei der Umsetzung mehrerer Teilmodelle sind strukturelle Beziehungen zwischen diesen zu beachten.

Ergebnisse der beiden Phasen sind die für die Studie notwendigen Rohdaten sowie das konzeptuelle Modell der Simulation.

Phase Datenaufbereitung: Um die beschafften Rohdaten in Simulationsexperimenten verwenden zu können, werden diese aufbereitet. Ziel dieser Aufbereitung ist die interpretationsgerechte Darstellung der Datenbasis, die aus der Menge aller für die Anwendung erforderlichen und verfügbaren Nutz- und Systemdaten besteht. Die Datenaufbereitung erfolgt mit einem Fokus auf das Simulationsmodell, sodass Änderungen am Modell erneute Datenaufbereitungen zur Folge haben können. Dieser Fokus bedingt, dass i. d. R. die Datenaufbereitung von Simulationsfachleuten durchgeführt werden muss. Ein Rücksprung in die Phase der Datenbeschaffung wird notwendig, wenn die Güte der aufbereiteten Daten nicht den Anforderungen des Modells entspricht.

Phase Modellimplementierung: In dieser Phase wird das entwickelte konzeptionelle Modell des Systems in einem ausgewählten Softwareprodukt implementiert. Neben Programmierung und Konfiguration gehören die Arbeitsschritte der Parametrisierung sowie der Dokumentation zu den Tätigkeiten der Modellimplementierung.

Ergebnisse der beiden Phasen sind die aufbereiteten Modelldaten als Input für die Simulationsexperimente sowie das ausführbare Modell der Simulation.

Phase Modellverifikation und Modellvalidierung: In der Phase der Modellverifikation wird das entwickelte Softwaresystem auf Korrektheit und Fehlerfreiheit hin überprüft. Der Übergang in die nächste Phase erfolgt unter Berücksichtigung der Frage „Ist das Modell korrekt?“. In der Phase der Modellvalidierung wird das Modell dem realen System gegenüber gestellt und auf hinreichende Übereinstimmung geprüft. Bei dieser Validierung erfolgt die Klärung der Frage, ob die Güte des Modells für die Erreichung der festgelegten Ziele ausreicht.

Ergebnisse der beiden Phasen sind die verifizierten sowie validierten Daten und das verifizierte und validierte Modell.

Phase Planung und Durchführung von Experimenten: Die Phase entspricht der Ausführung einer angemessenen Zahl von Simulationsläufen. Zu Beginn steht dabei die Initialisierungsphase. Die Durchführung mehrerer Simulationsläufe mit unterschiedlichen Parameterkonstellationen entspricht der Sensitivitätsanalyse. Für die einzelnen durchzuführenden Experimente werden die notwendigen Parameterkonstellationen festgelegt, die Anzahl der Simulationsläufe spezifiziert sowie die benötigten Modellgrößen ermittelt. KÜLL UND STÄHLY

schlagen für die strategische Planung die Beantwortung der Frage „Welche Faktorkombinationen müssen berücksichtigt werden?“ sowie für die taktische Planung die Beantwortung der Frage „Wie lange ist eine Systemversion zu simulieren?“ vor (vgl. (Küll und Stähly, 1999), S. 5).

Ergebnis dieser Phase sind die angestrebten Simulationsergebnisse.

Phase Ergebnisanalyse und Ursachenanalyse: Die während der Experimentdurchführung gewonnen Ergebnisse werden mit dem realen System in Beziehung gesetzt, um Aussagen zur erzielten Ergebnisgenauigkeit und Gültigkeit treffen zu können. Dazu werden häufig die Ergebnisse in Kennzahlen zur statistischen Auswertung umgesetzt. Sollten die erzielten Ergebnisse der Prüfung nicht standhalten, sind eine Ursachenanalyse sowie eine Überarbeitung des Modells notwendig. Geklärt wird die Frage nach der Güte der erzielten Ergebnisse.

Ergebnisse der beiden Phasen sind die bewerteten Simulationsergebnisse, die für eine Übertragung auf das reale System geeignet sind.

Phase Anwendung auf das reale System: Nach Abschluss der Simulationsexperimente sollten die gewonnenen Erkenntnisse aus der Studie in Entscheidungen bezogen auf das modellierte reale System übertragen werden.

Anhang B: Konzeptkomponente Ordnungskatalog

In diesem Anhangkapitel ist die Konzeptkomponente Ordnungskatalog vollständig enthalten.

Inhaltsverzeichnis des Ordnungskatalogs

1	Gestaltungsperspektive	147
1.1	Modellaspekte	147
1.1.1	Gestaltungsperspektive [1] Modell [1] Modellsicht [1]	147
1.1.2	Gestaltungsperspektive [1] Modell [1] Modellart [2]	149
1.2	Prozessaspekte	151
1.2.1	Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Phase des Lebenszyklus [1]	151
1.2.2	Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Einordnung in der Wertschöpfungskette [2] ..	153
1.2.3	Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Planungsebene [3]	154
2	Steuerungsperspektive	155
2.1	Aspekte zum Außeneinfluss	155
2.1.1	Steuerungsperspektive [2] Außeneinfluss [1] Technische Daten [1]	155
2.1.2	Steuerungsperspektive [2] Außeneinfluss [1] Organisatorische Daten [2]	157
2.1.3	Steuerungsperspektive [2] Außeneinfluss [1] Systemlastdaten [3]	159
2.2	Zeitaspekte	161
2.2.1	Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Art des Zeitfortschrittsmechanismus [1]	161
2.2.2	Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Zeithorizont in der Simulation [2]	163
2.2.3	Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Statistisches Verhalten der Outputreihe [3]	164
2.3	Infrastrukturaspecte	165
2.3.1	Steuerungsperspektive [2] Infrastruktur [3] Datenquellen [1]	165
2.3.2	Steuerungsperspektive [2] Infrastruktur [3] Schnittstellen [2]	167
2.4	Technikaspekte	168
2.4.1	Steuerungsperspektive [2] Technik [4] Simulationsmethode [1]	168
2.4.2	Steuerungsperspektive [2] Technik [4] Entscheidungsregeln [2]	170
3	Basisperspektive	172
3.1	Aktionsaspekte	172
3.1.1	Basisperspektive [3] Aktion [1] Auslöser der Zustandsänderung [1]	173
3.2	Entitätenaspekte	175
3.2.1	Basisperspektive [3] Entität [2] Bewegliches permanentes Objekt [1]	176
3.2.2	Basisperspektive [3] Entität [2] Unbewegliches permanentes Objekt [2]	177
3.2.3	Basisperspektive [3] Entität [2] Bewegliches temporäres Objekt [3]	179
3.2.4	Basisperspektive [3] Entität [2] Ereignishandler [4]	180
3.2.5	Basisperspektive [3] Entität [2] Objekt ohne Masse [5]	181
3.3	Funktionsaspekte	182

3.3.1	Basisperspektive [3] Funktion [3] Simulationsroutinen [1].....	182
3.3.2	Basisperspektive [3] Funktion [3] Variablenarten [2]	184
3.3.3	Basisperspektive [3] Struktur [3] Datenarten [3].....	186
4	Transformationsperspektive	187
4.1	Faktenaspekte	187
4.1.1	Transformationsperspektive [4] Faktum [1] Kenngrößenarten [1]	187
4.1.2	Transformationsperspektive [4] Faktum [1] Kenngrößeneigenschaften [2]	190
4.2	Dimensionenaspekte	191
4.2.1	Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionstyp [1]	191
4.2.2	Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionssubjekt [2]	192
4.2.3	Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionsobjekt [3].....	193
4.2.4	Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionsinstrument [4]	195
4.3	Granularitätenaspekte.....	197
4.3.1	Transformationsperspektive [4] Granularität [3] Abstraktion [1].....	197
4.3.2	Transformationsperspektive [4] Granularität [3] Aggregation [2].....	198
5	Domänenperspektive	199
5.1	Intralogistik	199
5.1.1	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Abstraktion [1].....	199
5.1.2	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Aggregation [2].....	201
5.1.3	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Job, Auftrag [3].....	203
5.1.4	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Werkstück [4]	205
5.1.5	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Ladehilfsmittel [5].....	207
5.1.6	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Transportmittel [6]	209
5.1.7	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Leistungsempfänger [7]	211
5.1.8	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Leistungserbringer [8]	213
5.1.9	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Prozess [9]	215
5.1.10	Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Performance Measures [10].....	217

1 Gestaltungsperspektive

1.1 Modellaspekte

1.1.1 Gestaltungsperspektive [1] Modell [1] Modellsicht [1]

Das Element beschreibt, welche Sicht auf die zu lösende Fragestellung eingenommen werden kann. Es dient somit der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Modellsicht ist obligatorisch.

1.1	1	Modellsicht	
		Das Element beschreibt den Blickwinkel auf die zu lösende Fragestellung	
E1	Varianten		--
	A	Beschreibung, Ermittlung	(1.1-1-E1-A) xor (1.1-1-E1-B:D)
	B	Erklärung	(1.1-1-E1-B) xor (1.1-1-E1-A,C:D)
	C	Entscheidung, Optimierung	xor (1.1-1-E1)
	D	Prognose, Simulation	(1.1-1-E1-D) xor (1.1-1-E1-A:C)
(Reichmann, 2011), S. 66 (Klein und Scholl, 2011), S. 33 f. (Dinkelbach, 1969), S. 5 f. (Heinen, 1991), S. 59 (Küll und Stähly, 1999), S. 2			

Erläuterungen:

Betriebswirtschaftliche **Beschreibungsmodelle** beschreiben einen nach festen Kriterien geordneten Gegenstand der realen Welt. Sie beinhalten die Darstellung der Elemente und ihren Beziehungen zueinander. Diese Modelle erlauben keine Erklärung oder Prognose, da sie keine Darstellung von Wirkungszusammenhängen enthalten. Eine Sonderform der Beschreibungsmodelle stellen **Ermittlungsmodelle** dar. Mit ihrer Hilfe wird die Transformation gewisser Größen durch Rechenoperationen ermöglicht. Ermittlungsmodelle sind im Zusammenhang mit Kennzahlensystemen von Bedeutung. Eine Vielzahl von Kennzahlensystemen, die auf rechnerischen Beziehungen aufbauen, ist als ein solches Ermittlungsmodell zu interpretieren (vgl. (Reichmann, 2011), S. 60 f. und (Klein und Scholl, 2011), S. 33).

Unter einem **Erklärungsmodell** sind Systeme von Aussagesätzen zu verstehen, mit deren Hilfe ein Sachverhalt erklärt werden soll. Sie dienen der Untersuchung von Ursache-

Wirkungs-Zusammenhängen zwischen Variablen innerhalb und außerhalb des Modells. Das Systemverhalten wird erklärt bzw. es werden (generalisierende) Hypothesen über dessen Verhalten aufgestellt. Erklärungsmodelle werden teilweise auch als Kausalmodelle bezeichnet (vgl. (Reichmann, 2011), S. 62; (Klein und Scholl, 2011), S. 33; (Ferstl, 1979), S. 42).

Entscheidungsmodelle enthalten neben Ursache-Wirkungs-Beziehungen zusätzlich Entscheidungsvariablen. Diese sind als Handlungsalternativen zu verstehen. Ein solches Modell kann als formale Darstellung eines Entscheidungsproblems aufgefasst werden. Grundsätzlich muss bei Entscheidungsmodellen zwischen geschlossenen und offenen Modellen unterschieden werden. **Geschlossene Modelle** werden für wohl-strukturierte Probleme genutzt, d. h. wenn die Anzahl der Handlungsalternativen bekannt ist, Informationen über die Folgewirkungen vorhanden sind und die Ziele und die Lösungsalgorithmen, mit denen eine Reihenfolge der alternativen Auswahl festgelegt wird, ebenfalls bekannt sind. Gleiches gilt für die **offenen Entscheidungsmodelle**, denen allerdings mindestens eine Eigenschaft der geschlossenen Entscheidungsmodelle fehlt. Offene Entscheidungsmodelle versuchen menschliches Problemverhalten systematisch zu simulieren. Mit Entscheidungsmodellen wird das Ziel verfolgt, die in Bezug auf die zu verfolgenden Ziele optimale Lösung zu finden (vgl. (Dinkelbach, 1969), S. 5 f.; (Heinen, 1991), S. 59; (Reichmann, 2011), S. 66 und (Klein und Scholl, 2011), S. 34).

Prognosemodelle dienen der Vorhersage zukünftiger Entwicklungen des abgebildeten Modells sowie zur Abschätzung von Auswirkungen möglicher Handlungsalternativen (vgl. (Corsten et al., 2005), S. 9). **Simulationsmodelle** sind spezielle Prognosemodelle für komplexe Systeme, bei denen Ursache-Wirkungs-Beziehungen nicht auf analytischem Wege einfach beschrieben werden können und die häufig stochastischen Einflüssen unterliegen. Anhand des Simulationsmodells wird das Systemverhalten durchgespielt, um auf diese Weise die Konsequenzen einzelner Handlungsmöglichkeiten zu untersuchen. Im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Planung erlauben es Simulationsmodelle, verschiedene sinnvolle Handlungsalternativen im Hinblick auf ihre Zielwirkung zu untersuchen. Daher kann in Fällen, in denen das Lösen eines Entscheidungsmodells zu aufwendig ist, eine Menge von Handlungsalternativen simulativ untersucht und unter diesen die im Hinblick auf die Ziele günstigste als Annäherung an die gesuchte optimale Lösung ausgewählt werden (vgl. (Klein und Scholl, 2011), S. 33 f.).

1.1.2 Gestaltungsperspektive [1] Modell [1] Modellart [2]

Das Element beschreibt, welche Modellarten für die Fragestellung verwendet werden können. Es dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Modellart ist obligatorisch.

1.1	2	Modellart	
		Das Element führt zu der Entscheidung, welche Modellart für die Fragestellung verwendet werden kann.	
E1	Varianten		--
	A	Statisches Modell	(1.1-2-E1-A) xor (1.1-2-E1-B:F)
	B	Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	(1.1-2-E1-B) xor (1.1-2-E1-A,C:F)
	C	Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	(1.1-2-E1-C) xor (1.1-2-E1-A:B,D:F)
	D	Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	(1.1-2-E1-D) xor (1.1-2-E1-A:C,E:F)
	E	Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	(1.1-2-E1-E) xor (1.1-2-E1-A:D,F)
	F	Keine der Varianten	(1.1-2-E1-F) xor (1.1-2-E1-A:E)
(Page, 1991), S. 6 (Gal, 1973), S. 19 (Liebl, 1995), S. 11 ff.			

Erläuterungen:

Ein **Statisches Modell** repräsentiert ein System zu einem definierten Zeitpunkt. Bei **Dynamischen Modellen** ist der Zustand des Systems grundsätzlich von einem die Dynamik bestimmenden Kriterium abhängig. Innerhalb der Dynamischen Modelle können wiederum **Diskrete Modelle** und **Stetige (bzw. kontinuierliche) Modelle** unterschieden werden. In einem Diskreten Simulationsmodell werden die Variablen, die den Zustand des Systems beeinflussen, zu festgelegten Zeiten oder Ereignissen geändert. In einem Stetigen Modell verändern sich die Zustandsvariablen über die Zeit hinweg kontinuierlich. Ein **Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell** dient dazu, ein System zu einem festgelegten Zeitpunkt zu untersuchen. In einem **Ereignisorientierten diskreten Simulationsmodell** erfolgt die Betrachtung des Systems zu bestimmten Ereignissen bzw. deren Zeitpunkten.

Bei **Deterministischen Simulationsmodellen** sind die Eingabedaten sicher und vorgegeben. Es gibt eine fest definierte Anzahl von Handlungsalternativen. Ein deterministisches System hat die Eigenschaft, dass jedem Inputvektor ein Outputvektor zugeordnet ist.

Stochastische Simulationsmodelle unterscheiden sich wiederum von den Deterministischen Modellen, da bei diesen in den Eingabedaten eine oder mehrere Zufallsvariablen enthalten sind. Bei einem stochastischen System ist jedem Inputvektor eine Menge von $\neq 0 > 1$ Outputvektoren zugeordnet.

Abbildung Anhang-B-1 (vgl. (Page, 1991), S. 6) verdeutlicht den Zusammenhang der Modellklassen:

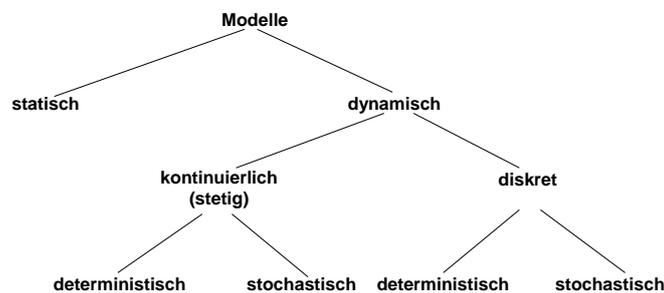


Abbildung Anhang-B-1: Modellklassen

1.2 Prozessaspekte

1.2.1 Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Phase des Lebenszyklus [1]

Das Element betrachtet die möglichen Phasen im Lebenszyklus eines Objektes, in denen Simulationsstudien zum Einsatz kommen können. Es dient der Berücksichtigung des Simulationsanwendungsszenarios. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Phase im Lebenszyklus ist fakultativ.

1.2	1	Phase des Lebenszyklus	
		Das Element betrachtet die Phase, in der sich der Gegenstand der Simulationsfragestellung befindet.	
E1	Varianten		--
	A	Planungsphase	(1.2-1-E1-A) xor (1.2-1-E1-B:C, Z)
	B	Realisierungsphase	(1.2-1-E1-B) xor (1.2-1-E1-A, C, Z)
	C	Betriebsphase	(1.2-1-E1-C) xor (1.2-1-E1-A:B, Z)
	Z	Keine Einordnung	(1.2-1-E1-Z) xor (1.2-1-E1-A:C, Z)
(Kuhn und Rabe, 1998), S. 1 (Zell, 1992) S. IX (Kühn, 2006), S. 90 (VDI, 2010), S. 5 ff.			

Erläuterungen:

Die VDI Richtlinie 3633 (vgl. (VDI, 2010), S. 5 ff.) beschreibt verschiedene Anwendungsszenarios für die ereignisdiskrete Simulation. In der **Planungsorientierten Anwendung** kommt sie in der Phase der Planung von (technischen) Systemen zum Einsatz. In der Planungsphase bietet sich die Möglichkeit, nicht real existierende Systeme zu untersuchen und bereits zu einem frühen Zeitpunkt zu verbessern. Häufig werden Aspekte wie Anlagendimensionierung, Durchsatz, Leistungsgrenzen usw. betrachtet. Eine genauere Spezifikation des Nutzens in der thematischen Domäne der Intralogistik bezieht sich auf den Anwendungsbereich der Fabrik- und Produktionsplanung. In der Planungsphase definieren KUHN UND RABE als relevante Aspekte etwa die Absicherung der Planung durch das Sammeln von Erfahrungen mit dem Simulationsmodell, die Überprüfung der Funktionalität und mögliche Korrekturen, die korrekte Dimensionierung von geplanten Anlagen durch Optimierung von Puffergrößen und Lagerbeständen, die Einsparung oder Vereinfachung von Systemelementen bzw.

die Vermeidung der Überdimensionierung der Elemente, die Durchführung von Sensitivitätsanalysen sowie die Überprüfung von Anlagenspezifikationen (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 7).

In der **Realisierungsorientierten Anwendung** findet die ereignisdiskrete Simulation bei Systemen in deren Entstehungsprozess Verwendung. Hier kann mit Hilfe der Simulation auf Eingriffe in das reale System verzichtet werden, und es können Gestaltungsaspekte wie Wirkungszusammenhänge, Validierung erwarteter Leistungsannahmen oder Maßnahmen zur Prozessstabilisierung im Simulationssystem untersucht werden.

In der thematischen Domäne der Intralogistik gehören zu den Realisierungsorientierten Anwendungen ebenfalls die Überprüfung von Konzepten zur Fabrik- und Produktionsplanung. Relevante Aspekte sind beispielsweise die Detaillierung von Steuerungsmechanismen, die Ausbildung von Personal anhand dargestellter Funktionen und Zusammenhänge, die Festlegung von Notfallstrategien bei Anlagenstörungen, Unterstützung bei der Durchführung von Anlagentests sowie die Verkürzung der Inbetriebnahmephase. Kosteneffekte lassen sich erzielen, wenn der Zeitraum zur Erreichung des Anlagendurchsatzes verkürzt werden kann (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 7; (Zell, 1992) S. IX).

In der **Betriebsorientierten Anwendung** findet die ereignisdiskrete Simulation bei existierenden Systemen in Betrieb Verwendung. In der Betriebsphase gehören dazu in der thematischen Domäne der Intralogistik insbesondere Elemente der Produktionsplanung und -steuerung wie die Mengen- und Terminplanung, die Prüfung alternativer Einplanungsszenarios und der Verbesserung der Kapazitätsauslastung der Anlagen sowie das kontinuierliche Redesign der Produktionsanlagen (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 1; (Zell, 1992) S. IX und (Kühn, 2006), S. 90).

1.2.2 Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Einordnung in der Wertschöpfungskette [2]

Das Element ermöglicht eine Einordnung der Fragestellung in den Ausschnitt der betriebswirtschaftlichen Wertschöpfungskette. Es dient der Berücksichtigung des Simulationsanwendungsszenarios. Die nachfolgend aufgeführten Varianten dienen als Rahmenvorgabe und als Instanziierungsbasis für das Element in der Domänenperspektive. Das Element enthält daher keine konfigurierbaren, sondern beschreibende Eigenschaften.

1.2	2	Einordnung in der Wertschöpfungskette	
		Das Element betrachtet den Ausschnitt der betriebswirtschaftlichen Wertschöpfungskette, in welcher die Fragestellung eingeordnet wird.	
E1	Primäre Varianten		--
	A	Eingangs- und Ausgangslogistik	--
	B	Produktion	--
	C	Materialwirtschaft	--
	D	Absatzwirtschaft	--
	E	Kundenservice	--
E2	Sekundäre Varianten		--
	A	Unternehmensführung	--
	B	Personalwirtschaft	--
	C	Informationswirtschaft	--
	D	Rechnungswesen	--
(Heinen, 1991), S. 51			

Erläuterungen:

Das Konzept der betrieblichen Wertschöpfungskette ist in der Betriebswirtschaftslehre angesiedelt und ordnet die in (Industrie-) Unternehmen vorhandenen Prozesse nach primären und sekundären Aktivitäten. Zu den primären Aktivitäten zählen physische sowie raumzeitliche Veränderungen von Produkten wie Eingangslogistik, Produktion, Absatz, Ausgangslogistik und Kundenservice. Zu den sekundären Aktivitäten werden alle Prozesse gezählt, die unterstützenden Charakter bezogen auf die primären Aktivitäten haben (vgl. (Heinen, 1991), S. 51).

1.2.3 Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Planungsebene [3]

Das Element ermöglicht eine Einordnung der Fragestellung in eine der betriebswirtschaftlichen Planungsebenen. Im Ordnungskatalog ist es als beschreibendes Element enthalten, da die Einordnung anhand der Aggregation erfolgt. Das Element dient außerdem als Instanzierungsbasis für die Domänenperspektive.

1.2	3	Planungsebene	
		Das Element betrachtet die betriebswirtschaftliche Planungsebene, in welcher die Fragestellung eingeordnet wird.	
E1	Varianten		--
	A	strategisch	--
	B	taktisch	--
	C	operativ	--
(Heinen, 1991), S. 65 (Breuer und Breuer, 2014)			

Erläuterungen:

In der Unternehmensplanung werden die drei Ebenen der operativen, taktischen und strategischen Planung mit den Betrachtungszeiträumen der Aggregation verbunden. Nach dem Top-down-Ansatz liefert die strategische, langfristige Planung über mehr als fünf Jahre die Rahmendaten für die taktische, mittelfristige Planung von drei bis fünf Jahren und diese wiederum ist Grundlage für die operative kurzfristige Planung für bis zu einem Jahr.

Steuerungsperspektive

1.3 Aspekte zum Außeneinfluss

1.3.1 Steuerungsperspektive [2] Außeneinfluss [1] Technische Daten [1]

Das Element ermöglicht die Konfiguration technischer Daten für das Simulationsmodell. Es dient der Analyse vorhandener bzw. benötigter Datenstrukturen. Technische Daten stellen Repräsentationen physischer Objekte dar und stehen damit in unmittelbarem Zusammenhang mit den Elementen der Basisperspektive im Bereich der Entitätenaspekte. Die Auswahl der technischen Daten ist obligatorisch.

2.1	1	Technische Daten	
		Das Element ermöglicht die Konfiguration technischer Daten für das Simulationsmodell.	
E1	Varianten		--
	A	Strukturdaten	(2.1-1-E1-A) or (2.1-1-E1-B:F)
	B	Fertigungsdaten	(2.1-1-E1-B) or (2.1-1-E1-A, C:F)
	C	Materialflussdaten	(2.1-1-E1-C) or (2.1-1-E1-A:B, D:F)
	D	Stördaten	(2.1-1-E1-D) or (2.1-1-E1-A:C, F)
	E	Informationsflussdaten	(2.1-1-E1-E) or (2.1-1-E1-A:D, F)
	F	Keine der Datenarten A-E	xor (2.1-1-E1)
E2	Abstraktion		(2.1-1-E1-A:E) and
	A	Mikroebene	(2.1-1-E2-A) or (2.1-1-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(2.1-1-E2-B) or (2.1-1-E2-A,C)
	C	Makroebene	(2.1-1-E2-C) or (2.1-1-E2-A:B)
E3	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(2.1-1-E3-A) or (2.1-1-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(2.1-1-E3-B) or (2.1-1-E3-A,C)
	C	Langfristig	(2.1-1-E3-C) or (2.1-1-E3-A:B)

(Schmidt, 2012), S. 23 (VDI, 2010), S. 23
--

Erläuterungen:

Technische Daten können in folgende Gruppen unterteilt werden (vgl. (VDI, 2010), S. 23; (Schmidt, 2012), S. 23):

- **Strukturdaten:** Anlagentopologien, Fabriklayout, Standortdaten, Fertigungsmittel, Transportfunktionen, Verkehrswege, Flächen, Restriktionen;
- **Fertigungsdaten** (Produktionsdaten): Nutzungszeiten, Leistungsdaten, Maschinenkapazitäten, Ausfallzeiten;
- **Materialflussdaten:** Topologie des Materialflusssystems, Fördermitteln, Nutzungsart, Leistungsdaten (Geschwindigkeit, Taktzeit, Kapazität);
- **Stördaten:** funktionale Daten, Verfügbarkeiten;
- **Informationsflussdaten:** Übertragungszeiten, Reaktionszeiten, Verfügbarkeit von Prozessinformationen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.3.2 Steuerungsperspektive [2] Außeneinfluss [1] Organisatorische Daten [2]

Das Element ermöglicht die Konfiguration organisatorischer Daten für das Simulationsmodell. Es dient der Analyse vorhandener bzw. benötigter Datenstrukturen. Organisatorische Daten stellen eine Repräsentation des Ablauf- und Informationsflusses dar und stehen damit in unmittelbarem Zusammenhang mit den Elementen der Basisperspektive bezüglich der Aspekte Entitäten. Die Auswahl der organisatorischen Daten ist obligatorisch.

2.1	2	Organisatorische Daten	
		Das Element ermöglicht die Konfiguration organisatorischer Daten für das Simulationsmodell.	
E1	Varianten		
	A	Arbeitszeitorganisationsdaten	(2.1-2-E1-A) or (2.1-2-E1-B:D)
	B	Ressourcenzuordnungsdaten	(2.1-2-E1-B) or (2.1-2-E1-A:C, D)
	C	Ablauforganisationsdaten	(2.1-2-E1-C) or (2.1-2-E1-A:B, D)
	D	Keine der Datenarten A-C	xor (2.1-2-E1)
E2	Abstraktion		(2.1-2-E1-A:D) and
	A	Mikroebene	(2.1-2-E2-A) or (2.1-2-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(2.1-2-E2-B) or (2.1-2-E2-A,C)
	C	Makroebene	(2.1-2-E2-C) or (2.1-2-E2-A:B)
E3	Aggregation		(2.1-2-E1-A:C) and
	A	Kurzfristig	(2.1-2-E3-A) or (2.1-2-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(2.1-2-E3-B) or (2.1-2-E3-A,C)
	C	Langfristig	(2.1-2-E3-C) or (2.1-2-E3-A:B)
(Selke, 2004), S. 16 (Witte, 1999), S. 23 (VDI, 2010), S. 23			

Erläuterungen:

Zu den organisatorischen Daten können in folgenden Gruppen von Daten zugeordnet werden (vgl. (VDI, 2010), S. 23; (Schmidt, 2012), S. 23):

- **Arbeitszeitorganisationsdaten:** Pausenregelungen, Schichtmodelle;
- **Ressourcenzuordnungsdaten:** Werker, Maschinen, Fördermittel;
- **Ablauforganisationsdaten:** Strategien zur Produktionssteuerung (Reihenfolgeregeln, Freigaberegeln, Losgrößenregeln, Bestandsregeln), Restriktionen, Störfallmanagement.

Für organisatorische Daten ist sowohl eine räumliche Abstraktion (z. B. bezüglich des Geltungsbereichs) als auch eine zeitliche Aggregation (z. B. bezüglich der Geltungsdauer) sinnvoll bzw. möglich.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.3.3 Steuerungsperspektive [2] Außeneinfluss [1] Systemlastdaten [3]

Das Element ermöglicht die Konfiguration von Systemlastdaten für das Simulationsmodell. Es dient der Analyse vorhandener bzw. benötigter Datenstrukturen. Systemlastdaten stellen eine Repräsentation der ausgeführten Prozesse dar. Die Auswahl der Systemlastdaten ist obligatorisch.

2.1	3	Systemlastdaten	
		Das Element ermöglicht die Konfiguration von Systemlastdaten für das Simulationsmodell.	
E1	Varianten		
	A	Auftragsdaten	(2.1-3-E1-A) or (2.1-3-E1-B:C)
	B	Produktdaten	(2.1-3-E1-B) or (2.1-3-E1-A, C)
	C	Keine der Datenarten A-B	xor (2.1-3-E1)
E2	Abstraktion		(2.1-3-E1-A:C) and
	A	Mikroebene	(2.1-3-E2-A) or (2.1-3-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(2.1-3-E2-B) or (2.1-3-E2-A,C)
	C	Makroebene	(2.1-3-E2-C) or (2.1-3-E2-A:B)
E3	Aggregation		(2.1-3-E1-A:C) and
	A	Kurzfristig	(2.1-3-E3-A) or (2.1-3-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(2.1-3-E3-B) or (2.1-3-E3-A,C)
	C	Langfristig	(2.1-3-E3-C) or (2.1-3-E3-A:B)
(VDI, 2010), S. 23			

Erläuterungen:

Die VDI Richtlinie 3633 ordnet den Systemlastdaten die

- Auftragsdaten: Auftragseinlastung von Produktionsaufträgen, Transportaufträgen, Mengen, Termine
- Produktdaten: Arbeitspläne, Stücklisten

zu (vgl. (VDI, 2010), S. 23).

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.4 Zeitaspekte

1.4.1 Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Art des Zeitfortschrittsmechanismus [1]

Das Element beschreibt die Art des Zeitfortschrittsmechanismus. Es dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Der dynamische Aspekt innerhalb der Simulationsmodelle ist von einem der nachfolgenden Faktoren abhängig. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Art des Zeitfortschrittsmechanismus ist obligatorisch.

2.2	1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus	
		Das Element beschreibt die Art des Zeitfortschrittsmechanismus.	
E1	Varianten		--
	A	Ereignisorientierte Sicht	(2.2-1-E1-A) xor (2.2-1-E1-B:F)
	B	Prozessorientierte Sicht	(2.2-1-E1-B) xor (2.2-1-E1-A,C:F)
	C	Transaktionsorientierte Sicht	(2.2-1-E1-C) xor (2.2-1-E1-A:B,D:F)
	D	Aktivitätsorientierte Sicht	(2.2-1-E1-D) xor (2.2-1-E1-A:C, E:F)
	E	Engagement strategy	xor (2.2-1-E1)
	F	Fixe Zeitinkremente	(2.2-1-E1-F) xor (2.2-1-E1-A:E)
(Adelsberger und Bick, 2003), S. 12 ff. (Liebl, 1995), S. 92 ff., S. 143 ff., S. 147 (Košturiak und Gregor, 1995), S. 7 (Pritsker, 1998), S. 37 f. (Page, 1991), S. 29 ff. (VDI, 2010), S. 12			

Erläuterungen:

Fixe Zeitinkremente stellen eine Unterteilung der Zeit in konstante Intervalle bzw. Takte dar. Es handelt sich um ein synchrones Verfahren zur periodenweisen Fortschreibung des Zeitfortschritts. Die Simulationsvariante ist im Konzept nicht ausdrücklich berücksichtigt. Abhängig von den Inputdaten und deren konstanten Takten kann die Variante implizit Verwendung finden. **Variable Zeitinkremente** stellen eine asynchrone Aktualisierung der Simulationskomponenten dar, sie bilden eine Diskretisierung der Zeit ab. Innerhalb der

Klasse der ereignisdiskreten Simulationen werden für variable Zeitinkremente mehrere Konzepte unterschieden, die den (dynamischen) Auslöser der diskreten zu betrachtenden Ereignisse differenzieren:

- die **ereignisorientierte Sicht** (event scheduling)
Diese Sicht auf die zeitdiskrete Simulation ist materialorientiert und betrachtet Zustandsänderungen in Form von Ereignissen, die zu bestimmten Zeitpunkten stattfinden. Die Simulation erfolgt unter Verwendung von Ereignisroutinen, Aktivitäten werden nicht simuliert. Da Ausführungszeiten nicht betrachtet werden, wird diese Sicht auch als zeitverzugslos bezeichnet. Es werden dynamische und statische Elemente unterschieden. Es handelt sich um eine vorwärtsgerichtete Betrachtung von Ereignissen.
- die **transaktionsorientierte Sicht** (transaction flow)
Bei dieser materialorientierten Sicht werden Zustandänderungen an dynamischen Objekten, die in diesem Konzept als Transaktionen bezeichnet werden, ausgelöst, indem diese im Simulationsmodell die statischen Elemente (sogenannte Blöcke) durchlaufen. Ereignisse werden als Zusammentreffen von Transaktionen und Blöcken interpretiert.
- die **prozessorientierte Sicht** (process interaction)
In dieser maschinenorientierten Sichtweise werden die auf ein Objekt anzuwendenden Aktivitäten mit ihren Attributen als Gesamtprozess (Prozessnetzwerk) verstanden und unter Verwendung von Prozessroutinen simuliert. Objekte durchlaufen das System. Als Ergänzung zur ereignisorientierten Sicht können Prozesse unterbrochen und fortgeführt werden. Da Ausführungszeiten nicht betrachtet werden, wird diese Sicht auch als zeitverzugslos bezeichnet. Es werden aktive und passive Prozessphasen betrachtet. Die Abbildung des Systems erfolgt aus Sicht der teilnehmenden Entitäten.
- die **aktivitätsorientierte Sicht** (activity scanning)
Diese ebenfalls maschinenorientierte Sichtweise betrachtet Ereignisse basierend auf der Erfüllung von beliebig komplexen Bedingungen. Zum jeweils als nächstes anstehenden Ereignis werden (isoliert für das Ereignis) alle Bedingungen geprüft, die als Voraussetzung für eine Aktivität definiert wurden. Es handelt sich um eine rückwärtsgerichtete Verkettung von Zustandsänderungen. Im Modell werden die Aktivitäten und deren Bedingungen abgebildet. Der Ansatz findet Verwendung, wenn Eintrittsbedingungen eine hohe Komplexität aufweisen.
- die **Engagement strategy**
Diese Sicht ist ein Konzept, die aktivitäts- und prozessorientierten Ansätze in einem theoretischen Bezugsrahmen weiterzuentwickeln. Sie hat in der Praxis quasi keine Bedeutung und wird durch das Konzept nicht abgedeckt.

1.4.2 Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Zeithorizont in der Simulation [2]

Das Element betrachtet die Entscheidung über den der Fragestellung zugrunde liegenden Zeithorizont der Simulation. Es dient der Analyse der Simulationsfragestellung sowie der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Art des Zeitfortschrittsmechanismus ist fakultativ.

2.2	2	Zeithorizont des Simulationsmodells	
		Das Element betrachtet die Entscheidung über den angestrebten Zeithorizont der Simulation.	
E1	Varianten		--
	A	unbegrenzter Horizont	(2.2-2-E1-A) xor (2.2-2-E1-B:C,Z)
	B	Begrenzter Horizont, terminierend	(2.2-2-E1-B) xor (2.2-2-E1-A,C,Z)
	C	Begrenzter Horizont, nicht terminierend	(2.2-2-E1-C) xor (2.2-2-E1-A:B,Z)
	Z	Keine Einordnung	(2.2-2-E1-Z) xor (2.2-2-E1-A:C)
(Liebl, 1995), S. 143 ff., S. 147 (Arnold und Furmans, 2007), S. 323 f. (Küll und Stähly, 1999), S. 13			

Erläuterungen:

Simulationsmodelle mit einem **unbegrenzten Horizont** beschreiben Systeme, die theoretisch endlos verfügbar bzw. im Einsatz sind. Beispiele sind Datennetze, Telefonnetze usw. Simulationsmodelle mit unbegrenztem Horizont können sowohl stationär als auch nicht stationär sein. Simulationsmodelle mit **begrenztem Horizont** betrachten endliche Systeme. Gegenstand solcher Modelle sind Abläufe, die über einen absehbaren operativen Zeitraum hinweg jeweils einen Anfang und ein Ende haben. Simulationsmodelle mit begrenztem Horizont sind grundsätzlich nichtstationär. Sie können in terminierende bzw. nicht terminierende Simulationen unterschieden werden. Für **terminierende Simulationen** kann die Länge eines Simulationslaufes basierend auf der zu untersuchenden Fragestellung identifiziert werden (z. B. über eine Schichtlänge hinweg). Für **nicht terminierende Simulationen** muss der Endzeitpunkt eines Simulationslaufes anhand eines zu definierenden Kriteriums festgelegt werden, da sich dieser nicht aus der Fragestellung ergibt.

1.4.3 Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Statistisches Verhalten der Outputreihe [3]

Das Element betrachtet das erwartete statistische Verhalten der Outputreihe in der Simulation. Es dient der Analyse der Simulationsfragestellung. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Ausprägung der Eigenschaft Variante des statistischen Verhaltens der Outputreihe ist fakultativ.

2.2	3	Statistisches Verhalten der Outputreihe	
		Das Element betrachtet das erwartete statistische Verhalten der Outputreihe in der Simulation.	
E1	Varianten		--
	A	Stationär	(2.2-3-E1-A) xor (2.2-3-E1-B, Z)
	B	Nichtstationär	(2.2-3-E1-B) xor (2.2-3-E1-A, Z)
	Z	Keine Einordnung	(2.2-3-E1-Z) xor (2.2-3-E1-A:B)
(Liebl, 1995), S. 143 ff., S. 147 (Adelsberger und Bick, 2003), S. 70			

Erläuterungen:

Stationäre Simulationsmodelle beschreiben Systeme, die bei langfristiger Betrachtung keine Trendkomponenten aufweisen und durch Parameterwerte beschrieben werden können, die vom Faktor Zeit unabhängig sind. Im Modell kann es z. B. konstante Ankunftsrate von Objekten geben. Ein weiteres Kriterium können die Freiheit von Strukturbrüchen sowie nicht vorhandene Übergangsprozesse (wie etwa in der Prozessindustrie) sein. Eine Bestätigung der Stationarität ist i. d. R. nicht im Vorfeld bei Erstellung des Modells zu ermitteln, sondern lässt sich erst durch Auswertung der Simulationsergebnisse nachweisen. Die Betrachtung stationärer Simulationsmodelle ist eher theoretischer Natur. **Nichtstationäre Simulationsmodelle** beschreiben Systeme, die der Realität näher kommen als Stationäre Simulationsmodelle. Nichtstationäre Simulationsmodelle haben Strukturbrüche sowie Übergangsprozesse, die abgebildet werden müssen. Außerdem werden in diesen Modellarten zeitlich variierende Inputreihen abgebildet.

Die Eigenschaft des statistischen Verhaltens der Outputreihe hängt mit der Auswahl des Zeithorizonts des Simulationsmodells zusammen (Element 2.2-2). Simulationsmodelle mit unbegrenztem Horizont können sowohl stationär als auch nicht stationär sein. Simulationsmodelle mit begrenztem Horizont sind grundsätzlich nichtstationär.

1.5 Infrastrukturaspekte

1.5.1 Steuerungsperspektive [2] Infrastruktur [3] Datenquellen [1]

Das Element beschreibt mögliche Datenquellen, die für die Simulationsstudie Dateninput liefern können. Es dient der Analyse vorhandener bzw. benötigter Datenstrukturen. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten können mehrere Ausprägungen gewählt werden. Die Auswahl einer oder mehrerer möglicher Datenquellen ist obligatorisch.

2.3	1	Datenquellen	
		Das Element beschreibt mögliche Datenquellen.	
E1	Varianten		--
	A	Relationale Datenbank	(2.3-1-E1-A) or (2.3-1-E1-B:D)
	B	Data Warehouse	(2.3-1-E1-B) or (2.3-1-E1-A, C:D)
	C	Dateisystem	(2.3-1-E1-C) or (2.3-1-E1-A:B,D)
	D	Unstrukturiertes System bzw. keine der Datenquellen A-C	xor (2.3-1-E1)
(Bange et al., 2009), S. 109 ff. und S. 127 (Bauer und Günzel, 2013), S. 616 f. (Heinen, 1991), S. 342 f.			

Erläuterungen:

In **relationalen Datenbanken** werden Datensätze in Tabellen strukturiert abgelegt. Zwischen den Tabellen können Beziehungen (Relationen) gebildet werden, welche Zusammenhänge zwischen den Tabellen verdeutlichen und die Speicherung redundanter Daten vermeiden helfen. Innerhalb der Datenbanktabellen werden Daten in Attributen gespeichert. Jedes Attribut enthält eine einzelne Information, auf die unter Verwendung von Datenbank-Abfragesprachen gezielt zugegriffen werden kann (vgl. (Bange et al., 2009), S. 127).

In einem **Data Warehouse** werden Datensätze in Form von Würfeln, Dimensionen und Fakten gespeichert. Diese Form der Speicherung wird als multidimensionales Datenmodell bezeichnet (vgl. (Bange et al., 2009), S. 109 ff. und (Bauer und Günzel, 2013), S. 616 f.). Mit Hilfe der Dimensionselemente können die Eigenschaften der Fakten, d. h. einzelner Datenelemente, beschrieben werden. Häufig verwendete Analysesichten sind beispielsweise Raum und Zeit. Die Speicherung erfolgt in Form des Star-Schemas oder des Snowflake-Schemas.

In einem **Dateisystem** werden Dateien abgelegt, zwischen denen normalerweise keine Beziehungen bestehen. Je nach verwendetem Speicherformat stehen die Daten innerhalb der Datei in strukturierter Form (z. B. bei Exceldateien, kommaseparierten Dateien) oder in unstrukturierter Form (z. B. bei Textdokumenten) zur Verfügung.

Von **unstrukturierten Systemen** wird gesprochen, wenn die Daten in unstrukturierter Form gespeichert sind. Es besteht für die Auswertung ein sehr hoher manueller Aufbereitungsaufwand. Diese Systeme werden im vorliegenden Konzept nicht weiter betrachtet.

1.5.2 Steuerungsperspektive [2] Infrastruktur [3] Schnittstellen [2]

Das Element beschreibt mögliche Schnittstellenvarianten, die in Simulationssystemen zum Einlesen von Dateninput zur Verfügung stehen. Es dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte sowie der Analyse vorhandener bzw. benötigter Datenstrukturen. Bei den in Eigenschaft E1 aufgeführten Varianten handelt es sich um eine abstrakte Unterteilung. Auf detaillierter Ebene werden diese nicht betrachtet. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten können mehrere Ausprägungen gewählt werden. Die Auswahl einer oder mehrerer möglicher Schnittstellen ist fakultativ.

2.3	2	Schnittstellen	
		Das Element beschreibt mögliche Schnittstellen von Simulationssystemen	
E1	Varianten		--
	A	Standardisierte IT-technische Schnittstelle	(2.3-2-E1-A) or (2.3-2-E1-B:D, Z)
	B	Standardisierte Simulations-technische Schnittstelle	(2.3-2-E1-B) or (2.3-2-E1-A, C:D, Z)
	C	Proprietäre Simulationswerkzeug-Schnittstelle	(2.3-2-E1-C) or (2.3-2-E1-A:B, D, Z)
	D	Andere als die Schnittstellen A-C	(2.3-2-E1-D) xor (2.3-2-E1-A:C, Z)
	Z	Keine Einordnung	(2.3-2-E1-Z) xor (2.3-2-E1-A:D)
(VDI, 2010), S. 18			

Erläuterungen:

Innerhalb der **Standardisierten IT-technischen Schnittstellen** können verschiedene Varianten unterschieden werden (z. B. ODBC, XML, CSV, SQL, usw.). Insbesondere Datenbankwerkzeuge unterstützen diverse Mechanismen zum Datenaustausch. Diese Schnittstellenvarianten beschränken sich auf die Unterstützung der technischen Aspekte.

Standardisierte Simulationstechnische Schnittstellen beinhalten neben einer Unterstützung von technischen Datenaustauschaspekten auch semantische Komponenten, die sich auf den Themenbereich der Simulation beziehen (z. B. CMSD, HLA, usw.).

Die höchste Spezialisierung innerhalb der Schnittstellenvarianten ist gegeben, wenn **Proprietäre Schnittstellen** des genutzten Simulationswerkzeugs zum Einsatz kommen.

1.6 Technikaspekte

1.6.1 Steuerungsperspektive [2] Technik [4] Simulationsmethode [1]

Das Element beschreibt mögliche Simulationsmethoden. Es dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Von den aufgeführten Methoden sind im Konzept initial die Methoden der diskreten und zumindest grundlegend der deterministischen Simulationen berücksichtigt. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine gewählt werden. Die Auswahl einer Simulationsmethode ist obligatorisch.

2.4	1	Simulationsmethode	
		Das Element beschreibt mögliche Simulationsmethoden.	
E1	Varianten		--
	A	Finite Elemente Methode (FEM)	xor (2.4-1-E1)
	B	Agentenbasierte Simulation	xor (2.4-1-E1)
	C	Monte-Carlo-Simulation Auch Monte-Carlo-Methoden	xor (2.4-1-E1)
	D	Deterministische Simulation	(2.4-1-E1-D) xor (2.4-1-E1-A:C,E)
	E	Diskrete Simulation	(2.4-1-E1-E) xor (2.4-1-E1-A:D)
(Kühn, 2006), S. 410 (Liebl, 1995), S. 11 (Fehler, 2010), S. 19			

Erläuterungen:

Die **Finite Elemente Methode** (FEM) ist als Simulationsmethode der Mikroebene zuzuordnen. Mit dieser Methode werden beispielsweise virtuelle Belastungsanalysen von Bauteilen untersucht (vgl. Kühn, 2006), S. 410).

Bei **Agentenbasierten Simulationen** handelt es sich um eine Sonderform der Simulation in Bezug auf die Abbildung der Agenten. Simulierte Agenten können mittels Sensoren ihre Umwelt wahrnehmen und aus den gewonnenen Wahrnehmungen eigenständige (autonome) Aktionen ableiten (vgl. (Fehler, 2010), S. 19).

Monte-Carlo-Methoden bzw. auch Monte-Carlo-Simulation genannte Simulationen untersuchen zeitstatische Stichprobenexperimente. Gesucht werden Lösungen eines deterministischen Problems unter Verwendung von stochastischen Elementen (vgl. (Liebl, 1995), S. 10).

Deterministische Simulationen haben als Rahmenbedingungen sowohl feste Takte für die Inputparameter als auch konstante Bearbeitungszeiten. Deterministische Simulationen enthalten keine Zufallsfaktoren, allerdings werden im Unterschied zur Monte-Carlo-Simulation zeitdynamische statt zeitstatischer Problemstellungen betrachtet.

In **Diskreten Simulationen** werden sowohl Zufallsaspekte, d. h. stochastische Eigenschaften, als auch zeitdynamische Problemstellungen untersucht. Somit ist sowohl der Aspekt der Zeitabbildung als auch der Zufallsabbildung in den Modellen zu berücksichtigen.

1.6.2 Steuerungsperspektive [2] Technik [4] Entscheidungsregeln [2]

Das Element beschreibt verschiedene Varianten von Entscheidungsregeln. Es dient der Analyse der Simulationsfragestellung. Bei den Entscheidungsregeln kann es sich sowohl um Ablauf- als auch Steuerungsdaten handeln. Solche Regeln stehen häufig nicht in expliziter Form als Inputdaten zur Verfügung und finden auch in DWH-Umgebungen eher selten Verwendung. Da sie im Simulationsmodell aber berücksichtigt werden müssen, sind sie als Element im Katalog enthalten. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten können mehrere Ausprägungen gewählt werden. Die Auswahl von Entscheidungsregeln ist fakultativ.

2.4	2	Entscheidungsregeln	
		Das Element beschreibt verschiedene Varianten von Entscheidungsregeln.	
E1	Varianten		--
	A	Regeln zur Allokation von Instrumenten	(2.4-2-E1-A) or (2.4-2-E1-B:E, Z)
	B	Reihenfolgeregeln (FIFO, LIFO, Bearbeitung)	(2.4-2-E1-B) or (2.4-2-E1-A,C:E, Z)
	C	Prioritätsregeln (Sequenzialisierung paralleler Ereignisse)	(2.4-2-E1-C) or (2.4-2-E1-A:B,D:E, Z)
	D	Vorfahrtsstrategien	(2.4-2-E1-D) or (2.4-2-E1-A:C,E, Z)
	E	Routingstrategien	(2.4-2-E1-E) or (2.4-2-E1-A:D, Z)
	Z	Keine Einordnung	(2.4-2-E1-Z) or (2.4-2-E1-A:E)
(Adelsberger und Bick, 2003), S. 12			

Erläuterungen:

Regeln zur Allokation von Instrumenten beschreiben, unter welchen Bedingungen Instrumente des Simulationsmodells verwendet werden.

Reihenfolgeregeln beschreiben die Reihenfolge bei der Verwendung von Instrumenten, wenn für ein Ereignis / einen Prozess / eine Aktion mehrere Instrumente zur Verfügung stehen.

Prioritätsregeln beschreiben die Reihenfolge von Leistungsempfängern, wenn mehrere zur Verfügung stehen.

Vorfahrtsstrategien beschreiben in Transport- bzw. Fließsimulationen das Verhalten von Simulationsobjekten an Kreuzungen.

Routingstrategien beschreiben Regeln für den Weg von Objekten durch ein Simulationsmodell.

Basisperspektive

Die Elemente der Basisperspektive dienen als beschreibende Elemente und als Quelle für die Instanziierung der domänenspezifischen Objekte. Daher sind sie selber nicht konfigurierbar.

1.7 Aktionsaspekte

Die Aspektgruppe der Aktionen steht als Synonym für alle in der Simulationstheorie vorhandenen Konzepte zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Zustand und Zeit. Grundsätzlich werden die drei Aktionsarten Ereignis, Aktivität und Prozess unterschieden. **Ereignisse** (Events) beschreiben Zustandsveränderungen eines Objektes zu einem diskreten Zeitpunkt. Unterschieden werden endogene und exogene Ereignisse. **Aktivitäten** bestehen aus einer Anzahl von Operationen, die auf ein Objekt angewendet werden und den Zustand des Objektes nach Durchführung der Aktivitäten verändern. Ein **Prozess** kann als Folge mehrerer Aktivitäten definiert werden, die auf sich auf ein bestimmtes Objekt beziehen und dessen Zustand verändern (vgl. (Page, 1991), S. 89 f.).

Da sich die Differenzierung der Aktionen auf die Implementierung im Simulationsmodell bezieht und für die Auswahl von Daten und die Analyse der datenrelevanten Aspekte nicht unterschieden werden muss, wird diese bezogen auf die Aufgabenstellung des Ordnungskataloges vernachlässigt. Der Oberbegriff der Aktion bzw. des Ereignisses gilt insofern für alle drei Varianten.

1.7.1 Basisperspektive [3] Aktion [1] Auslöser der Zustandsänderung [1]

Das Element beschreibt Auslöser für Zustandsänderungen (Events) innerhalb eines Simulationsmodells. Es dient der Analyse der Simulationsfragestellung sowie der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Unter dem Aspekt der verschiedenen Sichten auf die Simulationsmodellierung (siehe Element 1.4.1) sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um Simulationselemente mit verschiedenen Bezeichnungen wie Ereignis, Aktivität, Prozess oder Zusammentreffen von Transaktion und Block handeln kann. Diese treten im Modell als Folge von Zustandsänderungen eines Simulationsobjektes auf. Der Wechsel zwischen Zuständen kann sowohl mit Zeitverzug als auch zeitverzugslos vorgenommen werden. Zeitverzugslose Ereignisse sind zeitpunktbezogen, d. h. der Wechsel selbst wird nicht durch eine Dauer abgebildet.

3.1	1	Auslöser der Zustandsänderung	
		Das Element beschreibt Auslöser für Zustandsänderungen innerhalb eines Simulationsmodells.	
E1	Exogene Varianten		--
	A	Entstehung eines Objektes im System	--
	B	Weggang eines Objektes aus dem System	--
E2	Endogene Varianten		--
	A	Beginn einer Wartezeit aufgrund eines belegten Instruments	--
	B	Ende einer Wartezeit aufgrund eines belegten Instruments	--
	C	Instrument erhält „Status frei“	--
	D	Instrument erhält „Status belegt“	--
E3	Aktivitätsvarianten (prozessorientierte Sicht)		xor (2.2-1-E1-B)
	A	Passive Phase	--
	B	Aktive Phase	--
	C	Zeitkonsumierende Aktivität	--
	D	Zeitverzugslose Aktivität	--
(Adelsberger und Bick, 2003), S. 11 (Kühn, 2006), S. 405 (Banks, 1998), S. 7 (Page, 1991), S. 26 (Spieckermann und Voss, 1998), S. 22			

Erläuterungen:

Exogene Ereignisse sind dadurch gekennzeichnet, dass der Zeitpunkt für deren Auftreten im Modell von der Systemumgebung vorgegeben wird. **Endogene Ereignisse** sind Folge von Zustandsänderungen im Simulationsmodell.

Aktivitäten sind Vorgänge, die zu einer konstanten Ausprägung eines Attributes führen. Aktivitäten sind zeitverbrauchend, d. h. sie werden von einem Anfangs- und Endereignis begrenzt und führen zu einem Zustandsübergang der Entität. Die Dauer der Aktivität (Period of Time) ist als Wert definiert und im Simulationsmodell bekannt. Mögliche Varianten sind konstante Dauern, vorher berechnete Dauern oder eine Dauer, die über eine Zufallsvariable vergeben wird.

Passive Phasen stellen in der prozessorientierten Sicht Zeiteinheiten im Simulationsexperiment dar, in denen ein Objekt / Prozess passiv ist. **Aktive Phasen** stellen in der prozessorientierten Sicht Zeiteinheiten im Simulationsexperiment dar, in denen ein Objekt / Prozess aktiv ist.

Bei der Ausführung von **Zeitkonsumierenden Aktivitäten** in der prozessorientierten Sicht läuft während des Prozesses die Zeitmessung des Experiments weiter. Bei der Ausführung von **Zeitverzugslosen Aktivitäten** in der prozessorientierten Sicht wird die Zeitmessung erst nach Verlassen der Aktivität weiter gesetzt.

Das Ereignis **Entstehung eines Objektes im System** in der ereignisorientierten Sicht beschreibt das Erscheinen eines beweglichen temporären Objektes aus einer Quelle. Das Ereignis **Weggang eines Objektes aus dem System** beschreibt in der ereignisorientierten Sicht das Verlassen eines beweglichen temporären Objektes in einer Senke.

1.8 Entitätenaspekte

Ein wesentlicher Bestandteil von Modellen sind Entitäten. Im Umfeld der Simulation steht der Begriff der Entität (bzw. des Entity) als Oberbegriff für dynamische Objekte, die im Verlauf der Simulation im System erzeugt, verändert und wieder ausgeschleust werden. Entitäten werden durch Eigenschaften beschrieben, die in Form von Attributen abgebildet werden. Innerhalb der dynamischen Objekte werden nachfolgend verschiedene Unterscheidungen bezogen auf Beweglichkeit, Masse und Lebensdauer vorgenommen (vgl. (Adelsberger und Bick, 2003), S. 77; (Liebl, 1995), S. 87 f.).

1.8.1 Basisperspektive [3] Entität [2] Bewegliches permanentes Objekt [1]

Das Element beschreibt bewegliche permanente Objekte. Es dient sowohl der Analyse der Simulationsfragestellung als auch der Berücksichtigung funktionaler Aspekte. Innerhalb der beweglichen Objekte können permanente und temporäre Objekte unterschieden werden. Permanente bewegliche Objekte können als Variante der unbeweglichen Objekte eingeordnet werden. Sie bilden Bestandteile der Infrastruktur des zu simulierenden Systems ab (vgl. (Liebl, 1995), S. 88 f.). Bewegliche permanente Objekte bleiben während der Laufzeit der Simulation erhalten, können sich aber im Modell bewegen. Sie sind Bestandteil der Infrastruktur eines Simulationsmodells. In der ereignisorientierten Sicht werden diese Elemente als statische Komponenten bezeichnet. Da es sich um ein Basiselement handelt, wirken die Konfigurationsfilter des Ordnungskatalogs für dieses Objekt nicht.

3.2	1	Bewegliches permanentes Objekt	
		Das Element beschreibt bewegliche permanente Objekte.	
E1	Varianten		--
	A	Stetige Transportmittel	--
	B	Unstetige Transportmittel	--
E2	Bewegungsinitiierung		--
	A	Pushprinzip	--
	B	Pullprinzip	--
(Liebl, 1995), S. 87 f. (VDI, 2010), S. 24			

Erläuterungen:

Das **Pushprinzip** bedeutet, dass der Initiator für die Bewegung eines Objektes im Simulationssystem der Leistungserbringer ist.

Das **Pullprinzip** bedeutet, dass der Initiator für die Bewegung eines Objektes im Simulationssystem der Leistungsempfänger ist.

Stetige Transportmittel (Stetigförderer) stellen permanente Objekte dar, die über einen kontinuierlichen Transportweg bzw. Transportfluss verfügen (wie beispielsweise Bandförderanlagen).

Unstetige Transportmitteln (Unstetigförderer) entsprechen Staplern, Transportwagen usw.

1.8.2 Basisperspektive [3] Entität [2] Unbewegliches permanentes Objekt [2]

Das Element beschreibt unbewegliche permanente Objekte. Diese bilden die Infrastruktur des zu simulierenden Systems. Das Element dient sowohl der Analyse der Simulationsfragestellung als auch der Berücksichtigung funktionaler Aspekte. Da es sich um ein Basiselement handelt, wirken die Konfigurationsfilter des Ordnungskatalogs für dieses Objekt nicht. In der ereignisorientierten und in der transaktionsorientierten Sicht werden diese Elemente als statische Komponenten bezeichnet.

3.2	2	Unbewegliches permanentes Objekt	
		Das Element beschreibt unbewegliche permanente Objekte.	
E1	Varianten		
	A	Einzelstation, Bedienstation	--
	B	Pufferplatz	--
	C	Speicher	--
	D	Leitstelle	--
	E	Knoten	--
	F	Strecke	--
E2	Eigenschaften (Beispiele)		--
	A	Anzahl	--
	B	Kapazität	--
	C	Verfügbare / benötigte Anzahl Bedieneinheiten	--
	D	Bearbeitungs- bzw. Bediendauer	--
(Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f. (Page, 1991), S. 38 f. (Arnold und Furmans, 2007), S. 319			

Erläuterungen:

Einzelstationen (Bedienstationen, facilities) dienen als Materialflussbausteine mit einer festgelegten Kapazität. Sie werden in Simulationsmodellen verwendet, in denen Bedienanforderungen simuliert werden.

Pufferplätze dienen als Zwischenspeicher für bewegliche Objekte.

Speicher (Storage) stellen unbewegliche permanente Objekte in der transaktionsorientierten Sicht dar.

Leitstellen (logic switch) stellen unbewegliche permanente Objekte in der transaktionsorientierten Sicht dar.

Knoten stellen unbewegliche permanente Objekte dar, die während des Durchflusses eines beweglichen Objektes durch das Simulationsmodell eine Entscheidungsmöglichkeit zur Trennung bzw. Zusammenführung von diesen Elementen ermöglichen.

Strecken dienen als Beschreibung möglicher Wege von beweglichen Objekten im Simulationsmodell. Sie stellen Entitäten zur Verbindung von Einzelstationen, Pufferplätzen, Speichern usw. dar.

1.8.3 Basisperspektive [3] Entität [2] Bewegliches temporäres Objekt [3]

Das Element beschreibt bewegliche temporäre Objekte. Es dient sowohl der Analyse der Simulationsfragestellung als auch der Berücksichtigung funktionaler Aspekte.

Temporäre bewegliche Objekte durchlaufen das Simulationssystem, sie betreten das System bzw. verlassen es im Verlauf eines Simulationsexperimentes. In der ereignisorientierten und in der transaktionsorientierten Sicht werden diese Elemente als dynamische Komponenten bezeichnet. Da es sich um ein Basiselement handelt, wirken die Konfigurationsfilter des Ordnungskatalogs für dieses Objekt nicht.

3.2	3	Bewegliches temporäres Objekt	
		Das Element beschreibt bewegliche temporäre Objekte.	
E1	Varianten		
	A	Bearbeitungsgegenstand	--
	B	Transportgegenstand	--
E2	Bewegungsinitiierung		--
	A	Pushprinzip	--
	B	Pullprinzip	--
(Witte, 1999), S. 25 (Spieckermann und Voss, 1998), S. 21 (Košturiak und Gregor, 1995), S. 23 f.			

Erläuterungen:

Das **Pushprinzip** bedeutet, dass der Initiator für die Bewegung eines Objektes im Simulationssystem der Leistungserbringer ist.

Das **Pullprinzip** bedeutet, dass der Initiator für die Bewegung eines Objektes im Simulationssystem der Leistungsempfänger ist.

Als **Bearbeitungs- und Transportgegenstände** können Produkte, Materialien und Werkzeuge eingeordnet werden. Je nach Position innerhalb der Simulation können sie bearbeitet oder bewegt werden.

1.8.4 Basisperspektive [3] Entität [2] Ereignishandler [4]

Das Element betrachtet Objekte eines Simulationsmodells, die zur Ausführung von Ereignissen genutzt werden. Der Begriff ‚Ereignishandler‘ ist angelehnt an den englischen Ausdruck ‚event handler‘, der in der Softwareentwicklung für die Steuerung von Events Verwendung findet (vgl. (Schimpf et al., 2001), S. 193). Das Element dient sowohl der Analyse der Simulationsfragestellung als auch der Berücksichtigung funktionaler Aspekte. Das Basiselement dient der Beschreibung und ist nicht als Konfigurationskriterium verwendbar.

3.2	4	Ereignishandler	
		Das Element betrachtet Objekte eines Simulationsmodells, die Ereignisse durchführen.	
E1	Varianten		--
	A	Quelle	--
	B	Senke	--
	C	Warteschlange	--
	D	Ereignisverwalter	--
(Kühn, 2006), S. 416 (Adelsberger und Bick, 2003), S. 77 (Page, 1991), S. 36			

Erläuterungen:

Eine **Quelle** ist ein Element eines Simulationsmodells, welches das Ereignis der Erzeugung eines beweglichen Objektes abbildet. Es ist als Schnittstelle ‚nach außen‘ zu verstehen, über welche Objekte in ein System eingeschleust werden. Eine **Senke** ist ein Element eines Simulationsmodells, welches das Ereignis des Verlassens eines beweglichen Objektes aus dem Simulationssystem abbildet. Es ist als Schnittstelle ‚nach außen‘ zu verstehen, über welche Objekte aus dem System ausgeschleust werden.

Eine **Warteschlange** dient zur Abbildung des Ereignisses ‚Stau‘ in einem Simulationsmodell. Es beinhaltet eine Ansammlung von permanenten oder temporären Objekten, die nicht in einer Ressource verarbeitet werden können. Das Auf- bzw. Abbauverhalten innerhalb eines solchen Elementes unterliegt Reihenfolgenkriterien wie LIFO oder FIFO. Bei einer **Liste** handelt es sich um eine Sonderform der Warteschlange, welche nur nach FIFO bearbeitet werden kann.

Ein **Ereignisverwalter** ist ein Element einer Simulation, welches alle Ereignisse während der Simulation berechnet und verwaltet.

1.8.5 Basisperspektive [3] Entität [2] Objekt ohne Masse [5]

Das Element beschreibt Objekte ohne Masse. Es dient sowohl der Analyse der Simulationsfragestellung als auch der Berücksichtigung funktionaler Aspekte.

Es gibt Objekte mit Masse und Objekte ohne Masse bezogen auf ihre reale Existenz. Objekte ohne Masse werden wie Objekte mit Masse durch beschreibende Eigenschaften sowie relationale Beziehungsattribute beschrieben und häufig in relationalen Datenbanken abgelegt (vgl. (Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f.). Das Element dient nicht zur Konfiguration, sondern nur als Basis für die Instanziierung in der Domänenperspektive. Die Auswahl zwischen den Ausprägungen der Eigenschaft Varianten wird in Abhängigkeit vom Element (2.2-1-E1) (Steuerungsperspektive [2] Zeit [2] Art des Zeitfortschrittsmechanismus [1] E1 Varianten) abgeleitet.

3.2	5	Objekt ohne Masse	
		Das Element beschreibt Objekte ohne Masse.	
E1	Varianten		
	A	Daten	--
	B	Transaktion	--
(Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f. (Page, 1991), S. 26 f.			

Erläuterungen:

Daten stellen Elemente in einem Simulationsmodell dar, welche als Input aus anderen Systemen oder innerhalb der Verarbeitung verwendet werden. Typische Datenelemente für Simulationsstudien werden in den Elementen der Aspekte zum Außeneinfluss (Steuerungsperspektive 1.3) beschrieben.

Eine **Transaktion** stellt in der transaktionsorientierten Sicht ein dynamisches Element ohne Masse dar.

1.9 Funktionsaspekte

1.9.1 Basisperspektive [3] Funktion [3] Simulationsroutinen [1]

Das Element beschreibt Ablaufroutinen, die in einem Simulationsmodell verwendet werden. Diese stellen damit die funktionale Basis eines solchen Modells dar und werden deshalb als Element im Katalog beschrieben. Es handelt sich um ein beschreibendes Modell ohne Konfigurationskriterien und dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte.

3.3	1	Simulationsroutinen	
		Das Element beschreibt Ablaufroutinen, die in einem Simulationsmodell verwendet werden.	
E1	In Prozess Varianten		--
	A	Ereignisroutine	--
	B	Zeitführungsroutine	--
	C	Steuerprogramm	--
	D	Prozessroutine (Prozessorientierte Sicht)	--
E2	Start- und Endvarianten		--
	A	Initialisierungsroutine	--
	B	Ergebnisroutine	--
(Adelsberger und Bick, 2003), S. 17 (Page, 1991), S. 33			

Erläuterungen:

Eine **Initialisierungsroutine** dient in der ereignisorientierten Sicht als Prozedur zur Initialisierung des Simulationsmodells zum Startzeitpunkt eines Simulationsexperiments.

Eine **Ereignisroutine** dient in der ereignisorientierten Sicht zur Aktualisierung des Modellzustands in Abhängigkeit vom jeweiligen Ereignistyp. Innerhalb der Ereignisroutinen wird die Logik der Simulation festgelegt, sie dienen zur Ausführung der ihnen zugewiesenen Ereignistypen. Ereignisroutinen betrachten keine Aktivitäten, sondern nur Zustandsveränderungen.

Eine **Zeitführungsroutine** dient in der ereignisorientierten Sicht dazu, das nächste Ereignis aus einer Ereignisliste zu selektieren und die Simulationsuhr auf den nächsten Ereigniszeitpunkt zu setzen.

Unter Verwendung einer **Ergebnisroutine** erfolgt die Berechnung und Ausgabe der statistischen Werte der Ergebnisvariablen am Ende eines Simulationsexperiments in der ereignisorientierten Sicht.

Das **Simulationssteuerprogramm** koordiniert das Zusammenspiel zwischen Zeitführungs- und Ereignisroutine im Verlauf des Simulationsexperiments.

1.9.2 Basisperspektive [3] Funktion [3] Variablenarten [2]

Das Element beschreibt, welche Arten von Variablen im Simulationsmodell enthalten sein können. Es dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Variablen sind von Entitäten (siehe Elemente im Bereich Entitätenaspekte (1.8)) unabhängige Größen. Es handelt sich um ein beschreibendes Element, die Ausprägungen enthalten daher keine Konfigurationskriterien. Die Verwendung von einigen der aufgeführten Variablenarten ist abhängig von der Art des Zeitfortschrittsmechanismus.

3.3	2	Variablenarten	
		Das Element beschreibt, welche Arten von Variablen im Modell enthalten sein können.	
E1	Kontinuität / Reproduzierungsgrad		--
	A	Stochastische Variablen	--
	B	Deterministische Variablen	--
E2	Ebene der Beeinflussung		--
	A	Endogene Variablen	--
	B	Exogene Variablen	--
E3	Varianten der ereignisorientierten Sicht		--
	A	Statistische Zähler	--
	B	Ereignisliste	--
	C	Simulationsuhr	--
	D	Zustandsvariablen	--
E4	Varianten der prozessorientierten Sicht		--
	A	Ereignisliste zukünftige Ereignisse (Future Event List)	--
	B	Ereignisliste aktuelle Ereignisse (Current Event List)	--
(Adelsberger und Bick, 2003), S. 17 (Košturiak und Gregor, 1995), S. 23 (Page, 1991), S. 33 f.			

Erläuterungen:

Stochastische Variablen nehmen im Modell ihre Werte als Ergebnis eines Zufallsprozesses an. Sie werden auch als Zufallszahlen zur Abbildung stochastischer Größen bezeichnet.

Deterministische Variablen nehmen im Modell unter gleichen Bedingungen stets gleiche Werte an.

Endogene Variablen dienen im Simulationsmodell als interne Variablen und beinhalten Zwischengrößen oder Ergebnisgrößen.

Exogene Variablen sind von außen regelbar oder nicht regelbar, werden dem System aber von außen vorgegeben. Sie stellen Beziehungen zwischen dem System und seiner Umgebung dar.

Statistische Zähler dienen in der Ereignisorientierten Sicht als Variablen, die zur Sammlung und Speicherung statistischer Ergebnisse eines Simulationsexperimentes dienen.

Ereignislisten dienen als Komponente im Simulationsmodell in der Ereignisorientierten Sicht zur Verwaltung von Ereignissen.

Eine **Simulationsuhr** findet ebenfalls in der Ereignisorientierten Sicht Verwendung als Variable, die den aktuellen Zeitpunkt des Simulationsexperimentes verwaltet.

In **Zustandsvariablen** werden in der Ereignisorientierten Sicht die jeweils aktuellen Zustände der Entitäten gespeichert.

1.9.3 Basisperspektive [3] Struktur [3] Datenarten [3]

Das Element beschreibt verschiedene Arten von Daten, die im Simulationsmodell benötigt werden und dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte. Das Element dient in dieser Perspektive zur Erläuterung. Die einzelnen Datenarten sind in der Steuerungsperspektive als Außeneinflüsse als konfigurierbare Elemente enthalten.

3.3	3	Datenarten		
		Das Element beschreibt verschiedene Arten von Daten, die im Simulationsmodell benötigt werden.		
E1	Arten			--
	A	Technische Daten		--
	B	Organisatorische Daten		--
	C	Systemlastdaten		--
	D	Experimentdaten		--
(Selke, 2004), S. 15 (VDI, 2010), S. 23				

Erläuterungen:

Inputdaten für Simulationsstudien können in **technische Daten** (Repräsentation physischer Objekte), **organisatorische Daten** (Repräsentation des Ablauf- und Informationsflusses), **Systemlastdaten** (Repräsentation der ausgeführten Prozesse) und **Experimentdaten** (notwendige Parameter und Konfigurationen für die Durchführung der Simulation) unterschieden werden.

Transformationsperspektive

Die Transformationsperspektive dient dazu, die Konzepte des Data Warehousing auf die Anforderungen der Simulationsstudien zu transformieren. Es handelt sich in dieser Perspektive daher um Elemente, die aus dem Themenbereich des Data Warehousing abgeleitet und die ebenso im Themenbereich der Simulation zu finden sind.

1.10 Faktenaspekte

1.10.1 Transformationsperspektive [4] Faktum [1] Kenngrößenarten [1]

Das Element betrachtet Kenngrößenarten. Es dient der Analyse vorhandener bzw. benötigter Datenstrukturen. Kenngrößen bzw. Kennzahlen oder Performance Measures sind sowohl Ergebnisse eines Simulationsexperimentes als auch Inhalt eines Data Warehouses bzw. einer BI-Applikation. Wesentliche Eigenschaften sind ihr Messfokus (qualitativ, quantitativ) sowie ihr Aggregationsgrad. Außerdem muss für jede Kenngröße definiert werden, welche statistischen Werte diese ermittelt. Dabei kann es sich beispielsweise um den Durchschnitt, die Varianz, die Standardabweichung, das Maximum oder das Minimum handeln.

4.1	1	Kenngrößenarten	
		Das Element betrachtet Kenngrößenarten.	
E1	Verdichtungsgrad		--
	A	Absolut	(4.1-1-E1-A) or (4.1-1-E1-B, Z)
	B	Relativ	(4.1-1-E1-B) or (4.1-1-E1-A, Z)
	Z	Keine Einordnung	(4.1-1-E1-Z) or (4.1-1-E1-A:B)
E2	Bezugsrahmen		--
	A	Lokal	(4.1-1-E2-A) or (4.1-1-E2-B:D, Z)
	B	Global	(4.1-1-E2-B) or (4.1-1-E2-A,C:D, Z)
	C	Zuordnung	(4.1-1-E2-C) or (4.1-1-E2-A:B,D, Z)
	D	Ablauf	(4.1-1-E2-D) or (4.1-1-E2-A:C, Z)
	Z	Keine Einordnung	(4.1-1-E2-Z) or (4.1-1-E2-A:D)

E3	Bildungsrichtung		--
	A	Top Down	(4.1-1-E3-A) or (4.1-1-E3-B, Z)
	B	Bottom Up	(4.1-1-E3-B) or (4.1-1-E3-A, Z)
	Z	Keine Einordnung	(4.1-1-E3-Z) or (4.1-1-E3-A:B)
E4	Abstraktion		--
	A	Mikroebene	(4.1-1-E4-A) or (4.1-1-E4-B:C)
	B	Mesoebene	(4.1-1-E4-B) or (4.1-1-E4-A,C)
	C	Makroebene	(4.1-1-E4-C) or (4.1-1-E4-A:B)
E5	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(4.1-1-E5-A) or (4.1-1-E5-B:C)
	B	Mittelfristig	(4.1-1-E5-B) or (4.1-1-E5-A,C)
	C	Langfristig	(4.1-1-E5-C) or (4.1-1-E5-A:B)
<p>(Bauer und Günzel, 2013), S. 618 (Rohrer, 1998), S. 529 (Reichmann, 2011), S. 24 f. (Heinen, 1991), S. 967 (Weber, 1991), S. 207 ff. (Liebl, 1995), S. 144, S. 145 (Syska, 1990) S. 23 f. (Kämpf et al., 2000)</p>			

Im Ordnungskatalog ist das Element enthalten, da basierend auf den in den Eigenschaften E1 bis E4 die Prüfung möglicher Inputdaten in Form von aufbereiteten Kennzahlen des Data Warehouse unterstützt wird. Der Fokus des Elements liegt auf der Schnittstelle zwischen Output aus dem Data Warehouse und Inputdaten für die Simulation.

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E4 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E5 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

Absolute Kenngrößen (wie z. B. Summe, Differenz usw.) können zur Unterstützung in der operativen Planung und Steuerung sowie in Kontrollprozessen verwendet werden (z. B. durchschnittlicher Lagerbestand der Erzeugnisse einer Sparte, Zahl von Fehlmengensituationen, Kontrollspanne eines Vorgesetzten). **Relative Kenngrößen** bzw. Verhältniszahlen (wie Beziehungs-, Gliederungs- oder Indexzahlen) beinhalten eine höhere Aussagefähigkeit als absolute Kennzahlen (z. B. Logistikkostenanteil, Umschlagsgeschwindigkeit, Auslastungsquoten von Fördermitteln) (vgl. (Kämpf et al., 2000)).

Lokale Kenngrößen werden für einen bestimmten, abgegrenzten betrieblichen Bereich gebildet. **Globale Kenngrößen** werden dagegen für jeden betrieblichen Bereich bzw. das Gesamtunternehmen erzeugt bzw. auf dieser Ebene verdichtet. **Zuordnungskenngrößen** sind Kenngrößen, die durch Zuordnung zu betrieblichen Funktionen Aussagen über die Wirtschaftlichkeit und Effektivität ermöglichen. **Ablaufkenngrößen** dienen dazu, Material- oder Prozessflüsse pro Zeiteinheit zu beobachten oder zu prüfen. In Form von normativen Ablaufkenngrößen können die Größen auch zur Messung und Beobachtung von Verbesserungen im beobachteten System führen.

Top-Down-Kenngrößen dienen der Verdichtung komplexer Details. Sie bilden auf oberster Ebene eine höhere Verdichtung ab und reduzieren diese (basierend auf der Granularität der vorhandenen Dimensionen) mit jeder Ebene abwärts. **Bottom-Up-Kenngrößen** werden als logisch (mehr oder weniger stringent) abgeleitete Abbildung komplexer Realität gebildet. Sie bilden auf unterster Ebene feine Details ab und bieten eine Aggregation (basierend auf der Granularität der vorhandenen Dimensionen) mit jeder Ebene aufwärts.

1.10.2 Transformationsperspektive [4] Faktum [1] Kenngrößeneigenschaften [2]

Das Element betrachtet Kenngrößeneigenschaften. Es handelt sich um ein informatives Element ohne Konfigurationseigenschaft und dient der Berücksichtigung funktionaler Simulationsaspekte.

4.1	2	Kenngrößeneigenschaften	
		Das Element betrachtet Kenngrößeneigenschaften.	
E1	Eigenschaften		--
	A	Informationscharakter	--
	B	Quantifizierbarkeit	--
E2	Statistische Einordnung (Beispiele)		--
	A	Durchschnitt	--
	B	Varianz	--
	C	Standardabweichung	--
	D	Minimum	--
	E	Maximum	--
(Bauer und Günzel, 2013), S. 616 ff. (Reichmann, 2011), S. 24 f. (Rohrer, 1998), S. 528			

Erläuterungen:

Der **Informationscharakter** einer Kenngröße bewertet, in wie weit und in welchem Maß es sich bei der dargestellten Kenngröße inhaltlich um wichtige Sachverhalte und Zusammenhänge handelt.

Die **Quantifizierbarkeit** einer Kenngröße ist eine Eigenschaft, welche beschreibt, ob eine Kenngröße die dargestellten Sachverhalte basierend auf einer Metrik abbildet.

Die Eigenschaft der **statistischen Einordnung** einer Kenngröße beinhaltet verschiedene Beispiele für statistische Werte, die durch diese berechnet werden können.

1.11 Dimensionenaspekte

Dimensionen entsprechen den Analyse-Blickwinkeln, mit denen die Fragestellung betrachtet wird. Sie haben generell eine Verdichtungsfunktion. Beispiele dafür sind in Element 4.1-2 Kenngrößeneigenschaften, Eigenschaft E2 aufgeführt.

1.11.1 Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionstyp [1]

Elemente des multidimensionalen Datenmodells sind Dimensionen und Fakten. Der Begriff der Dimension kann mit einer Analyse- bzw. Auswertungssicht auf die Daten verglichen werden. Dimensionen orientieren sich am Anwendungsszenario, in dem das Datenmodell zum Einsatz kommt. Die Stufen einer Dimension beschreiben die jeweilige Granularität der Analysesicht bzw. deren Verdichtungsstufen und unterliegen einer eindeutigen Struktur. Mit Hilfe der Dimensionen können die Eigenschaften der Fakten, d. h. einzelner Datenelemente, beschrieben werden. Häufig verwendete Analysesichten sind beispielsweise Raum und Zeit. Das Element ist im Ordnungskatalog für die Beschreibung von verschiedenen Varianten von Dimensionstypen. Es hat keine filternden, sondern beschreibende Eigenschaften.

4.2	1	Dimensionstyp	
		Das Element Dimensionstyp beschreibt verschiedene Varianten der Granularität der Analysesicht bzw. deren Verdichtungsstufen.	
E1	Varianten		--
	A	Einfach hierarchisch	--
	B	Parallel hierarchisch	--
	C	Nicht hierarchisch	--
	D	Kategorisch	--
(Bange et al., 2009), S. 109 ff., 189 f. (Holthuis, 1997), S. 144 ff.			

Erläuterungen:

Einfach hierarchische Dimensionen sind linear strukturiert und folgen einer eindimensionalen Hierarchie. Sie haben pro Hierarchieebene jeweils nur ein Element. Beispiele hierfür sind die Dimensionselemente in der Domänenperspektive 5.1-2 Aggregation und 5.1-1 Abstraktion. **Parallel hierarchische Dimensionen** können auf den jeweiligen Hierarchieebenen mehrere Elemente haben und ähneln daher in ihrer Struktur einem Spannbaum. **Nicht hierarchische Dimensionen** weisen keine Verdichtungsstruktur auf. **Kategorische Dimensionen** bilden verschiedene Arten von Kategorien ab.

1.11.2 Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionssubjekt [2]

Das Element beschreibt Subjekte (Akteure, Menschen) im Simulationsmodell. Es dient der Identifikation von Abstraktions- und Aggregationsaspekten. Als Subjekte werden die zu simulierenden Komponenten definiert, die eine Aktion durchführen (Leistungserbringer) oder Nutznießer der Aktion sind (Leistungsempfänger).

4.2	2	Dimensionssubjekt	
		Das Element beschreibt Subjekte (Akteure, Menschen) im Simulationsmodell.	
E1	Varianten (Beispiele)		--
	A	Kunde, Kundengruppe	--
	B	Lieferant, Lieferantengruppe	--
	C	Bedienpersonal, Mitarbeiter, Mitarbeitergruppe	--
	D	Spedition	--
	E	Mandant	--
E2	Abstraktion		--
	A	Mikroebene	(4.2-2-E2-A) or (4.2-2-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(4.2-2-E2-B) or (4.2-2-E2-A,C)
	C	Makroebene	(4.2-2-E2-C) or (4.2-2-E2-A:B)
E3	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(4.2-2-E3-A) or (4.2-2-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(4.2-2-E3-B) or (4.2-2-E3-A,C)
	C	Langfristig	(4.2-2-E3-C) or (4.2-2-E3-A:B)
(Witte, 1999), S. 24			

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.11.3 Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionsobjekt [3]

Das Element beschreibt relevante Dimensionsobjekte, die betrachtet werden können. Es dient der Identifikation von Abstraktions- und Aggregationsaspekten. Als Objekte werden die zu simulierenden Komponenten definiert, an denen eine Aktion durchgeführt wird.

4.2	3	Dimensionsobjekt	
		Das Element beschreibt relevante Dimensionsobjekte, die betrachtet werden können.	
E1	Varianten		--
	A	Bewegliches permanentes Objekt	--
	B	Unbewegliches permanentes Objekt	--
	C	Bewegliches temporäres Objekt	--
	D	Instrument	--
	E	Ereignishandler	--
	F	Objekt ohne Masse	--
E2	Abstraktion		--
	A	Mikroebene	(4.2-3-E2-A) or (4.2-3-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(4.2-3-E2-B) or (4.2-3-E2-A,C)
	C	Makroebene	(4.2-3-E2-C) or (4.2-3-E2-A:B)
E3	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(4.2-3-E3-A) or (4.2-3-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(4.2-3-E3-B) or (4.2-3-E3-A,C)
	C	Langfristig	(4.2-3-E3-C) or (4.2-3-E3-A:B)
(Witte et al., 1994), S. 215 (Witte, 1999), S. 24			

Erläuterungen:

Die Eigenschaft **E1 Varianten** repräsentiert die in der Basisperspektive – Entitätenaspekte abgebildeten Elemente. Über alle diese Elemente können Dimensionen des multidimensionalen Datenmodells gebildet werden. Daher stellen sie die unterschiedlichen Blickwinkel der Dimensionen dar. Eine Filterung über diese Eigenschaft ergibt sich aus den in der Domänen-

perspektive instanziierten Elementen basierend auf den Elementen der Basisperspektive Entitätenaspekte. Daher ist die Eigenschaft in diesem Element nicht mit Filterkriterien versehen. Die Eigenschaft dient der Verdeutlichung der Zusammenhänge.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen. Die Zuordnung erfolgt in diesem Element anhand der durch Eigenschaft **E1 Varianten** hergestellten Verbindung zu einer Entität im Simulationsmodell.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.11.4 Transformationsperspektive [4] Dimension [2] Dimensionsinstrument [4]

Das Element beschreibt Dimensionsinstrumente (teilweise auch als Mittel bezeichnet), die in einem Simulationsmodell verwendet werden. Es dient der Identifikation von Abstraktions- und Aggregationsaspekten. Als Instrumente werden die zu simulierenden Komponenten betrachtet, mit denen eine Aktion durchgeführt wird. Instrumente werden von Entitäten in Anspruch genommen und dienen der Veränderung von Entitäten bzw. von deren Zuständen. Sie können im Simulationsmodell frei oder belegt sein. Zu modellierende Eigenschaften sind z. B. Anzahl, Qualität, Verfügbarkeit und Verrichtungen, die zugewiesen werden können.

4.2	4	Dimensionsinstrument	
		Das Element beschreibt relevante Dimensionsinstrumente, die in einem Simulationsmodell verwendet werden.	
E1	Varianten (Beispiele)		
	A	Transportmittel	--
	B	Werkzeug	--
	C	Bedienstation	--
	D	Maschine	--
	E	Personelle Ressource, Bedieneinheit	--
E2	Abstraktion		--
	A	Mikroebene	(4.2-4-E2-A) or (4.2-4-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(4.2-4-E2-B) or (4.2-4-E2-A,C)
	C	Makroebene	(4.2-4-E2-C) or (4.2-4-E2-A:B)
E3	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(4.2-4-E3-A) or (4.2-4-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(4.2-4-E3-B) or (4.2-4-E3-A,C)
	C	Langfristig	(4.2-4-E3-C) or (4.2-4-E3-A:B)
E4	Kapazitätsabbildung (Beispiele) Wie wird die Kapazität der Ressource abgebildet?		--
	A	Anzahl	--
	B	Verweilzeiten / Bearbeitungszeiten	--
	C	Verfügbarkeit	--
	D	Zeitpläne (Schichten)	--

	E	Qualität	--
E5	Funktionalitätsgrad		--
	A	Eine Funktion	--
	B	Mehrere Funktionen	--
E6	Verwendungsfrequenz		--
	A	Verbrauchbar, erneuerbar	--
	B	Verbrauchbar, nicht erneuerbar	--
	C	Nicht verbrauchbar	--
(Witte et al., 1994), S. 215 (Adelsberger und Bick, 2003), S. 78 (Page, 1991), S. 37			

Erläuterungen:

Wenn das Instrument über **eine Funktion** verfügt, sind keine weiteren Entscheidungsregeln notwendig. Bei Instrumenten, die über **mehrere Funktionen** verfügen, werden Regeln zur Auswahl der zu verwendenden Funktion benötigt. Bei nicht verbrauchbaren Objekten handelt es sich beispielsweise um permanente Objekte (Warteschlange, Bedieneinheiten).

Für die verschiedenen Ausprägungen der **Verwendungsfrequenz** eines Dimensionsinstruments ist Verbrauchbare relevant, welche Daten für das Instrument (als Input für die Simulation) erhoben werden können. Für verbrauchbare Instrumente sollten sowohl Verbrauchs- als auch Erneuerungsparameter zur Verfügung stehen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen. Die Zuordnung erfolgt in diesem Element anhand der durch Eigenschaft **E1 Varianten** hergestellten Verbindung zu einer Entität im Simulationsmodell.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.12 Granularitätsaspekte

Für die Betrachtung unterschiedlicher Granularitätsaspekte dienen die in dieser Ebene eingeordneten Elemente.

1.12.1 Transformationsperspektive [4] Granularität [3] Abstraktion [1]

Das Element beschreibt die Eigenschaft der Abstraktion in einer Klassifikationshierarchie. Es dient der Identifikation von Abstraktions- und Aggregationsaspekten. Die Klassifikationshierarchie kann domänenspezifisch innerhalb der drei Ebenen Mikroebene, Mesoebene und Makroebene angepasst werden.

4.3	1	Abstraktion	
		Das Element beschreibt die Eigenschaft der räumlichen Abstraktion	
E1		Klassifikationshierarchie	--
	A	Mikroebene	--
	B	Mesoebene	--
	C	Makroebene	--
(Kühn, 2006), S. 412			

Erläuterungen:

Auf der **Mikroebene** werden einzelne Objekte der zu analysierenden Systeme und deren direkte Beziehungen zueinander betrachtet (z. B. Maschinen, Transporteinheiten, detaillierter Warenfluss). Der Fokus liegt auf den Details innerhalb des Systems. Die Abstraktionsebene kann als gering bezeichnet werden. Auf der **Mesoebene** werden organisatorische Einheiten und deren Beziehungen betrachtet (z. B. Lagerstrukturen, Transportsysteme). Auf der **Makroebene** können sowohl komplexere Subsysteme inklusive ihrer Interaktionen eingeordnet werden (z. B. Werksplanung, Warenflussplanung) als auch gesamte Systeme (von außen betrachtet) (vgl. (Kühn, 2006), S. 412).

Die Stufen innerhalb der drei Ebenen können feiner granuliert werden, sodass auf der jeweiligen Ebene mehrere Elemente eingeordnet werden können. Dies erfolgt im domänenspezifisch instanziierten Element (siehe Element 1.13.1).

1.12.2 Transformationsperspektive [4] Granularität [3] Aggregation [2]

Das Element beschreibt die Eigenschaft der Aggregation in einer Klassifikationshierarchie. Es dient der Identifikation von Abstraktions- und Aggregationsaspekten. Die Klassifikationshierarchie kann domänenspezifisch innerhalb der drei Ebenen kurzfristig, mittelfristig und langfristig angepasst werden.

4.3	2	Aggregation	
		Das Element beschreibt die Eigenschaft der zeitlichen Aggregation in einer Klassifikationshierarchie.	
E1	Klassifikationshierarchie		
	A	Kurzfristig	--
	B	Mittelfristig	--
	C	Langfristig	--
(Heinen, 1991), S. 65 (Breuer und Breuer, 2014) (Kistner und Steven, 2001), S. 12			

Erläuterungen:

In der Betriebswirtschaftslehre erfolgt die zeitliche Unterteilung in die drei Betrachtungszeiträume **kurzfristig, mittelfristig und langfristig**. Die Übertragung auf konkrete Zeitspannen weicht dabei je nach Themenbereich ab. In der Unternehmensplanung werden die drei Betrachtungszeiträume mit den Ebenen der operativen, taktischen und strategischen Planung verbunden. Nach dem Top-down-Ansatz liefert die strategische, langfristige Planung über mehr als fünf Jahre die Rahmendaten für die taktische, mittelfristige Planung von drei bis fünf Jahren und diese wiederum ist Grundlage für die operative kurzfristige Planung für bis zu einem Jahr (vgl. (Heinen, 1991), S. 65; (Breuer und Breuer, 2014)). In der betriebswirtschaftlichen Produktionsplanung werden die Zeiträume in langfristig mit mehr als drei Jahren, mittelfristig mit Quartals- und Jahresfrist sowie kurzfristig mit unterjähriger Planung beschrieben (vgl. (Kistner und Steven, 2001), S. 12).

Die Stufen innerhalb der drei Ebenen können feiner granuliert werden, sodass auf der jeweiligen Ebene mehrere Elemente eingeordnet werden können. Dies erfolgt im domänenspezifisch instanziierten Element (siehe Element 1.13.2).

Domänenperspektive

1.13 Intralogistik

1.13.1 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Abstraktion [1]

Das Element beschreibt die Eigenschaft der Abstraktion in einer konkreten für die Intralogistik relevanten Klassifikationshierarchie. Außerdem dient es als Abbildung der räumlichen Strukturen, in denen die Simulation abläuft.

Die Klassifikationshierarchie kann domänenspezifisch innerhalb der drei Ebenen Mikroebene, Mesoebene und Makroebene angepasst werden. Die Anzahl der Differenzierungsstufen pro Ebene kann frei gewählt werden, sie muss ≥ 1 sein, damit zu jeder Ebene mindestens eine Stufe existiert. Die Anpassung der Klassifikationshierarchie orientiert sich an der zu analysierenden Fragestellung. Auf der Mikroebene wird die kleinste zu betrachtende räumliche Einheit eingeordnet, auf der Makroebene die größte zu betrachtende räumliche Einheit.

5.1	1	Räumliche Abstraktion der Ortstruktur	
		Das Element beschreibt die Eigenschaft der Abstraktion in einer konkreten für die Intralogistik relevanten Klassifikationshierarchie. Instanz von Element 4.3-1 (Abstraktion) und von Element 3.2-2 (unbewegliches permanentes Objekt)	
E1	Klassifikationshierarchie		--
	A	Lagerplatz	Mikroebene (Stufe 1)
	B	Lagerzone	Mikroebene (Stufe 2)
	C	Lagerort	Mesoebene (Stufe 3)
	D	Werkbereich	Mesoebene (Stufe 4)
	E	Werkshalle	Mesoebene (Stufe 5)
	F	Werk	Makroebene (Stufe 6)
	G	Standort	Makroebene (Stufe 7)
	H	Unternehmen	Makroebene (Stufe 8)

Bei der hier dargestellten Klassifikationshierarchie handelt es sich um eine mögliche räumliche Struktur in acht Hierarchiestufen. Das Element kann basierend auf den drei Abstraktionsebenen Mikro-, Meso- und Makroebene für die individuelle Fragestellung neu strukturiert werden. Es können sowohl Hierarchiestufen ergänzt als auch entfernt werden bzw. die einzelnen Stufen entsprechend der zu analysierenden Fragestellung strukturiert werden. Je-

de Stufe muss einer der drei Abstraktionsebenen zugeordnet werden. Zur Verdeutlichung wird das Element noch einmal als zu befüllender Rahmen aufgenommen.

Alle weiteren Fragestellungen zur Eigenschaft der Abstraktion basieren auf den drei Abstraktionsebenen und beziehen sich auf das (bei Bedarf) angepasste Element. Durch diese Abgrenzung zwischen festgelegten Abstraktionsebenen (3 Einteilungen, Basis für die Konfiguration) und frei wählbaren Abstraktionsstufen (Basis für die Extraktion von Daten aus dem DWH) besteht kann bei den Stufen eine frei wählbare Gliederung erfolgen.

5.1	1	Räumliche Abstraktion der Ortstruktur (zur Anpassung an die Simulationsfragestellung)	
		Das Element beschreibt die Eigenschaft der Abstraktion in einer konkreten für die Intralogistik relevanten Klassifikationshierarchie. Instanz von Element 4.3-1 (Abstraktion) und von Element 3.2-2 (unbewegliches permanentes Objekt)	
E1	Klassifikationshierarchie		--
	A	Mikroebene	--
	B	Mikroebene	--
	C	Mesoebene	--
	D	Mesoebene	--
	E	Makroebene	--
	F	Makroebene	--

1.13.2 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Aggregation [2]

Das Element beschreibt die Eigenschaft der Aggregation in einer konkreten für die Intralogistik relevanten Klassifikationshierarchie.

5.1	2	Zeitliche Aggregation		
		Das Element beschreibt die Eigenschaft der Aggregation in einer konkreten für die Intralogistik relevanten Klassifikationshierarchie. Instanz von Element 4.3-2 (Aggregation)		
E1	Klassifikationshierarchie			
	A	Stunde	Kurzfristig (Stufe 1)	--
	B	Tag	Kurzfristig (Stufe 2)	--
	C	Kalenderwoche	Kurzfristig (Stufe 3)	--
	D	Monat	Mittelfristig (Stufe 4)	--
	E	Quartal	Mittelfristig (Stufe 5)	--
	F	Jahr	Langfristig (Stufe 6)	--

Erläuterungen:

Die Klassifikationshierarchie kann domänenspezifisch innerhalb der drei Ebenen Kurzfristig, Mittelfristig, Langfristig angepasst werden. Die Anzahl der Differenzierungsstufen pro Ebene kann frei gewählt werden, sie muss ≥ 1 sein, damit zu jeder Ebene mindestens eine Stufe existiert. Die Anpassung der Klassifikationshierarchie orientiert sich an der zu analysierenden Fragestellung. Auf der kurzfristigen Stufe wird die kleinste zu betrachtende zeitliche Einheit eingeordnet, auf der langfristigen Stufe die größte zu betrachtende zeitliche Einheit.

Bei der hier dargestellten Klassifikationshierarchie handelt es sich um eine mögliche zeitliche Struktur in sechs Hierarchiestufen. Das Element kann basierend auf den drei Aggregationsebenen Kurz-, Mittel- und Langfristig für die individuelle Fragestellung neu strukturiert werden. Es können sowohl Hierarchiestufen ergänzt als auch entfernt werden bzw. die einzelnen Stufen entsprechend der zu analysierenden Fragestellung strukturiert werden. Jede Stufe muss einer der drei Aggregationsebenen zugeordnet werden. Zur Verdeutlichung wird das Element noch einmal als zu befüllender Rahmen aufgenommen.

Alle weiteren Fragestellungen zur Eigenschaft der Aggregation basieren auf den drei Aggregationsebenen und beziehen sich auf das (bei Bedarf) angepasste Element. Durch diese Abgrenzung zwischen festgelegten Aggregationsebenen (3 Einteilungen, Basis für die Konfiguration) und frei wählbaren Aggregationsstufen (Basis für die Extraktion von Daten aus dem DWH) besteht kann bei den Stufen eine frei wählbare Gliederung erfolgen.

5.1	2	Zeitliche Aggregation (zur Anpassung an die Simulationsfragestellung)	
		Das Element beschreibt die Eigenschaft der Aggregation in einer konkreten für die Intralogistik relevanten Klassifikationshierarchie. Instanz von Element 4.3-2 (Aggregation)	
E1	Klassifikationshierarchie		
	A	Kurzfristig	--
	B	Kurzfristig	--
	C	Mittelfristig	--
	D	Mittelfristig	--
	E	Langfristig	--
	F	Langfristig	--

1.13.3 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Job, Auftrag [3]

Jobs bzw. Aufträge bilden die Arbeitslast des Simulationssystems ab. Dabei kann es sich um Kundenaufträge, Produktionsaufträge, Transportaufträge usw. handeln. Sie stellen Elemente dar, die als Objekt ohne Masse repräsentiert werden, d. h. sie werden auch in der realen Welt nicht durch existierende Objekte abgebildet (vgl. (Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f.).

5.1	3	Job, Auftrag	
		Instanz von Element 3.2-6 (Objekt ohne Masse)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-3-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion (Dimension über Auftragsstypen; Dimension über Auftragsstatuswerte)		(5.1-3-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-3-E2-A) or (5.1-3-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-3-E2-B) or (5.1-3-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-3-E2-C) or (5.1-3-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-3-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-3-E3-A) or (5.1-3-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-3-E3-B) or (5.1-3-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-3-E3-C) or (5.1-3-E3-A:B)
E4	Attribute (Beispiele)		(5.1-3-E1) and
	A	Eintreffzeitpunkt	--
	B	Bedienstationszuordnung	--
	C	Ressourcenbedarf	--
	D	Priorität / Bedienreihenfolge	--
	E	Anzahl	--
	F	Auftragsart	--
	G	Auftragsstatus	--
	H	Bearbeitungsdauer	--

(Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f.

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.13.4 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Werkstück [4]

Werkstücke (auch als Synonym für Bauteile, Material oder auch Fördergut) dienen als Materialflussbausteine, die im Simulationssystem vorhandene Instrumente für ein Ereignis belegen können und somit eine Belegungskapazität abbilden. Sie stellen Elemente dar, die als bewegliches Element repräsentiert werden, d. h. die transportiert (siehe Elemente 1.13.5 und 1.13.6) und bearbeitet werden können.

5.1	4	Werkstück	
		Instanz von Element: 3.2-3 (Bewegliches temporäres Objekt)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-4-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion		(5.1-4-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-4-E2-A) or (5.1-4-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-4-E2-B) or (5.1-4-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-4-E2-C) or (5.1-4-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-4-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-4-E3-A) or (5.1-4-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-4-E3-B) or (5.1-4-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-4-E3-C) or (5.1-4-E3-A:B)
E4	Attribute (Beispiele)		(5.1-4-E1) and
	A	Materialart	--
	B	Physikalische Eigenschaften	--
	C	Anzahl	--
	D	Bearbeitungsstufen	--
(Manivannan, 1998), S. 578 f.			

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

Mögliche **Materialarten** sind z. B. Rohmaterialien, Halbfertigware oder Fertigprodukte.

Physikalische Eigenschaften sind Informationen wie Maße, Gewicht, Form und Aggregatzustand.

Bearbeitungsstufen sind beispielsweise Arbeitsschritte, Anzahl notwendige Arbeitsgänge usw.

1.13.5 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Ladehilfsmittel [5]

Ladehilfsmittel (auch als Synonym für Paletten, Behälter, Boxen usw.) dienen als Materialflussbausteine mit der Kapazität 1. Sie stellen passive Elemente dar, die i. d. R. als temporäres bewegliches Element, seltener als permanentes bewegliches Element repräsentiert werden, d. h. die mit Hilfe von Transportmitteln (Element 1.13.6) transportiert aber in Abgrenzung zum Werkstück (Element 1.13.4) nicht bearbeitet werden können.

5.1	5	Ladehilfsmittel	
		Instanz von Element: 3.2-3 (Bewegliches temporäres Objekt)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-5-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion (z. B. über Ladehilfsmitteltypen)		(5.1-5-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-5-E2-A) or (5.1-5-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-5-E2-B) or (5.1-5-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-5-E2-C) or (5.1-5-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-5-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-5-E3-A) or (5.1-5-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-5-E3-B) or (5.1-5-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-5-E3-C) or (5.1-5-E3-A:B)
E4	Varianten (Beispiele)		--
	A	Palette	--
	B	Gitterboxen	--
	C	Kleinladungsträger	--
	D	Behälter	--
E5	Attribute (Beispiele)		--
	A	Anzahl	--
	B	Physikalische Eigenschaften	--
	C	Kapazität	--
(Manivannan, 1998), S. 578 f.			

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

Physikalische Eigenschaften sind beispielsweise Maße oder Gewicht.

Kapazitäten von Ladehilfsmitteln sind beispielsweise das Transportvolumen, Aufnahmelast, Inhaltsvolumen usw.

1.13.6 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Transportmittel [6]

Transportmittel dienen als Materialflussbausteine mit einer fest definierten Kapazität. Sie stellen aktive Elemente dar, die i. d. R. als permanentes bewegliches Element repräsentiert werden.

5.1	6	Transportmittel	
		Instanz von Element 3.2-1 (Bewegliches permanentes Objekt)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-6-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion		(5.1-6-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-6-E2-A) or (5.1-6-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-6-E2-B) or (5.1-6-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-6-E2-C) or (5.1-6-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-6-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-6-E3-A) or (5.1-6-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-6-E3-B) or (5.1-6-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-6-E3-C) or (5.1-6-E3-A:B)
E4	Varianten (Beispiele)		--
	A	Fahrerloses Transportfahrzeug	--
	B	Gabelstapler	--
	C	Verteilwagen, Verschiebewagen	--
	D	Elektrohängebahn	--
	E	Transportband	--
	F	Regalbediengerät	--
	G	Kran	--
(Košturiak und Gregor, 1995), S. 23 (Spieckermann und Voss, 1998), S. 20 f. (Manivannan, 1998), S. 578 f. (Markert, 1997), S. 70			

Erläuterungen:

Transportmittel dienen zur aktiven Bewegung von Werkstücken (Element 1.13.4) im Simulationsmodell. Bei Bedarf werden Ladehilfsmittel (Element 1.13.5) als zusätzliche Elemente modelliert. In der Intralogistik werden Transportmittel häufig gruppiert in Stetigförderer und Unstetigförderer (vgl. (Markert, 1997), S. 70). Da es sich in den in Eigenschaft E4 dargestellten Varianten von Transportmitteln lediglich um Beispiele zur Veranschaulichung handelt, wird auf diese Unterteilung im Element verzichtet.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen. Im Rahmen der Abstraktion können beispielsweise Gruppen von mehreren gleichartigen Transportmitteln betrachtet oder Abschnitte von Transportwegen zusammengefasst werden.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen. Im Rahmen der Aggregation kann eine zeitliche Zusammenfassung einzelner Transportleistungen erfolgen.

1.13.7 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Leistungsempfänger [7]

Das Element beschreibt Leistungsempfänger im Simulationsmodell, die zur Analyse in Form von Dimensionen und Dimensionshierarchien betrachtet werden. Leistungsempfänger werden aus Sicht des Simulationsmodells häufig nicht ausdrücklich modelliert. Soweit sie als Dimensionshierarchien in DWH-Systemen in Form von Kunden, Lieferanten oder in der Intralogistik als Speditionen abgebildet sind, kann die Verwendung entsprechender Daten aus dem DWH relevant sein.

5.1	7	Leistungsempfänger	
		Instanz von Element 4.2.2 (Dimensionssubjekt)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-7-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion		(5.1-7-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-7-E2-A) or (5.1-7-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-7-E2-B) or (5.1-7-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-7-E2-C) or (5.1-7-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-7-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-7-E3-A) or (5.1-7-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-7-E3-B) or (5.1-7-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-7-E3-C) or (5.1-7-E3-A:B)
E4	Arten (Beispiele)		--
	A	Kunde, Kundengruppe	--
	B	Lieferant, Lieferantengruppe	--
	C	Spedition, Speditionengruppe	--

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen. Die Ausprägungen der Eigenschaft

E3 Aggregation beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.13.8 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Leistungserbringer [8]

Das Element beschreibt Leistungserbringer im Simulationsmodell, die zur Analyse in Form von Dimensionen und Dimensionshierarchien betrachtet werden. Leistungserbringer werden aus Sicht des Simulationsmodells häufig nicht ausdrücklich modelliert. Soweit sie als Dimensionshierarchien in DWH-Systemen in Form von Mitarbeitern, Ressourcen, Bedienpersonal usw. abgebildet sind, kann die Verwendung entsprechender Daten aus dem DWH relevant sein.

5.1	8	Leistungserbringer	
		Instanz von Element 4.2.2 (Dimensionssubjekt)	
E1	Objektverwendung		xor (5.1-8-E1)
	A	Ja	--
	B	Nein	--
E2	Abstraktion		(5.1-8-E1) and
	A	Mikroebene	(5.1-8-E2-A) or (5.1-8-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-8-E2-B) or (5.1-8-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-8-E2-C) or (5.1-8-E2-A:B)
E3	Aggregation		(5.1-8-E1) and
	A	Kurzfristig	(5.1-8-E3-A) or (5.1-8-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-8-E3-B) or (5.1-8-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-8-E3-C) or (5.1-8-E3-A:B)
E4	Attribute (Beispiele)		--
	A	Qualifikationsgrad	--
	B	Leistungsgrad	--
	C	Anzahl	--
E5	Varianten (Beispiele)		--
	A	Bedienpersonal z. B. einer Fertigungsanlage	--
	B	Leitstandspersonal z. B. Disponenten	--
	C	Kommissionierpersonal	--
	D	Transportpersonal z. B. Staplerfahrer	--
(Witte, 1999), S. 24			

Erläuterungen:

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

1.13.9 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Prozess [9]

Das Element beschreibt relevante intralogistische Prozesse, die betrachtet werden können. Die Einordnung der Simulationsfragestellung in einen der aufgeführten intralogistischen Teilprozesse dient dazu, für die Ermittlung von benötigten Inputdaten eine Eingrenzung vornehmen zu können. Intralogistische Data-Warehouse-Systeme bilden die entsprechenden Teilprozesse häufig in entsprechenden Data Marts ab (vgl. (Walter, 2010)).

5.1	9	Prozess	
		Instanzen von Element 1.2-2 (Einordnung in der Wertschöpfungskette) für Eigenschaft E1 Element 1.2-1 (Phase des Lebenszyklus) für Eigenschaft E2 Element 1.2-3 (Planungsebene) für Eigenschaft E3	
E1	Varianten		--
	A	Fertigung	(5.1-9-E1-A) or (5.1-9-E1-B:F)
	B	Montage	(5.1-9-E1-B) or (5.1-9-E1-A,C:F)
	C	Lagerung	(5.1-9-E1-C) or (5.1-9-E1-A:B,D:F)
	D	Transport	(5.1-9-E1-D) or (5.1-9-E1-A:C,E:F)
	E	Qualitätssicherung (Kontrolle)	(5.1-9-E1-E) or (5.1-9-E1-A:D,F)
	F	Beschaffung	(5.1-9-E1-F) or (5.1-9-E1-A:E)
E2	Einordnung des Prozesses in die Phase des Lebenszyklus		--
	A	Planungsphase	(5.1-9-E2-A) xor (5.1-9-E2-B:C, Z)
	B	Realisierungsphase	(5.1-9-E2-B) xor (5.1-9-E2-A,C, Z)
	C	Steuerungsphase	(5.1-9-E2-C) xor (5.1-9-E2-A:B, Z)
Z	Keine Einordnung	(5.1-9-E2-Z) xor (5.1-9-E2-A:C)	
E3	Planungsebene		--
	A	Operativ	--
	B	Taktisch	--
	C	Strategisch	--
(Knothe, 2000), S. 102			

Erläuterungen:

Die Eigenschaft **E1 Varianten** enthält die verschiedenen intralogistischen Teilprozesse.

In der Eigenschaft **E2 Einordnung des Prozesses in die Phase des Lebenszyklus** erfolgt eine Zuordnung der Simulationsfragestellung zur Phase des Lebenszyklus bezogen auf das zu simulierende System.

Die Eigenschaft **E3 Planungsebene** ordnet die Simulationsfragestellung in eine der drei Ebenen operativ, taktisch oder strategisch ein. Die damit verbundene zeitliche Einordnung erfolgt jedoch über das Aggregationselement 1.13.2, sodass es sich bei dieser Eigenschaft um eine beschreibende Eigenschaft handelt.

1.13.10 Domänenperspektive [5] Intralogistik [1] Performance Measures [10]

Das Element beschreibt relevante Simulations-Performance-Measures in der Domäne Intralogistik im Sinne operativer Analysen. Dieses Element hat die Ergebnisse der Simulationsstudie zum Gegenstand, es ist von einer Empfehlung bezüglich des Dateninputs unabhängig.

5.1	10	Performance Measures	
		Instanz von Element 4.1-1 (Kenngrößenarten)	
E1	Kennzahlenarten		--
	A	Absolut	(5.1-10-E1-A) or (5.1-10-E1-B, Z)
	B	Relativ	(5.1-10-E1-B) or (5.1-10-E1-A, Z)
	Z	Keine Einordnung	(5.1-10-E1-Z) or (5.1-10-E1-A:B)
E2	Abstraktion		--
	A	Mikroebene	(5.1-10-E2-A) or (5.1-10-E2-B:C)
	B	Mesoebene	(5.1-10-E2-B) or (5.1-10-E2-A,C)
	C	Makroebene	(5.1-10-E2-C) or (5.1-10-E2-A:B)
E3	Aggregation		--
	A	Kurzfristig	(5.1-10-E3-A) or (5.1-10-E3-B:C)
	B	Mittelfristig	(5.1-10-E3-B) or (5.1-10-E3-A,C)
	C	Langfristig	(5.1-10-E3-C) or (5.1-10-E3-A:B)
E1	Kennzahlen (Beispiele)		--
	A	Durchsatzraten	--
	B	Termintreue	--
	C	Ressourcennutzung, Ressourcenbedarf, Engpässe	--
	D	Durchlaufzeit	--
	E	Wartezeit	--
	F	Ausschussraten	--
(Pritsker, 1998), S. 37 (Rohrer, 1998), S. 529, S. 539			

Erläuterungen:

Die Eigenschaften der Abstraktion und Aggregation können für die Ergebnisse zumindest als erläuternder Hinweis dienen, daher ist das Element im Katalog enthalten.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E2 Abstraktion** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.1 definierten Klassifikationsstufen.

Die Ausprägungen der Eigenschaft **E3 Aggregation** beziehen sich auf die im domänenspezifischen Element 1.13.2 definierten Klassifikationsstufen.

Kennzahlen zur **Termintreue** sind in der Intralogistik insgesamt von hoher Bedeutung, da sie eine ihrer Kernleistungen betrachten.

Sowohl Informationen zur **Ressourcennutzung** als auch zum **Ressourcenbedarf** (Equipment und Mitarbeiter) können als Ergebnisse eines Simulationsexperiments betrachtet werden. Im Zusammenhang mit Arbeitsabläufen (Arbeitsplänen) kann auch der Bedarf bzw. die Nutzung von Mitarbeitern mit unterschiedlichen Qualifikationsgraden analysiert werden.

Bestandskennzahlen dienen sowohl zur Analyse der Prozesse innerhalb der Supply Chain als auch zur Prüfung, ob eine durch bevorratete Bestände angemessene Kapitalbindung vorliegt. Die Analyse von Beständen ist sowohl Bestandteil der Intralogistik als auch der Materialwirtschaft und Disposition.

Durchlaufzeiten, Wartezeiten, Ausschussraten und **Durchsatzraten** stehen bei der Analyse von Fragestellungen zu Transport- und Materialhandhabungsaspekten im Vordergrund.

Die **Identifikation von Engpassressourcen** liefert Informationen über Maschinen, Arbeitsplätze usw., bei denen im betrachteten System der Nutzungsbedarf nicht befriedigt werden kann. Sie verdeutlicht im Zusammenspiel mit ergänzenden Informationen die Folgen dieser Engpässe. Zur Identifikation von Engpassressourcen empfiehlt sich die Betrachtung verschiedener Abstraktions- und Aggregationsebenen.

Anhang C: Konzeptkomponente Fragenkatalog

In diesem Anhangkapitel ist die Konzeptkomponente Fragenkatalog vollständig enthalten.

Fragenkatalog

A Kernperspektivenbezogene Fragen

A.a Frage zur Modellsicht

Die Frage zur Modellsicht dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *1.1-1 Modellsicht*.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.a	Welche Modellsicht wird eingenommen?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwort- möglich- keiten	A	Beschreibung, Ermittlung (1.1-1-E1-A)
	B	Erklärung (1.1-1-E1-B)
	C	Entscheidung, Optimierung xor (1.1-1-E1)
	D	Prognose, Simulation (1.1-1-E1-D)
Elemente	Filterstufe 1	(1.1-1-E1)
	Filterstufe 2	(1.1-1-E1-A:D)

A.b Frage zur Art des geplanten Simulationsmodells

Die Frage zur Art des geplanten Simulationsmodells dient als Filter für die Eigenschaft *E1* Varianten des Elementes *1.1-2 Modellart*.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.b	Welche Art von Simulationsmodell soll entwickelt werden?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwort- möglich- keiten	A	Statisch (1.1-2-E1-A)
	B	Zeitorientiert, diskret, deterministisch (1.1-2-E1-B)
	C	Ereignisorientiert, diskret, deterministisch (1.1-2-E1-C)
	D	Zeitorientiert, diskret, stochastisch (1.1-2-E1-D)
	E	Ereignisorientiert, diskret, stochastisch (1.1-2-E1-E)
	F	Keine der Varianten (1.1-2-E1-F)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(1.1-2-E1-A:F)

A.c Frage zur Phase des Lebenszyklus

Die Frage, in welcher Phase des Lebenszyklus das zu simulierende System sich befindet, dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *1.2-1 Phase des Lebenszyklus* sowie Eigenschaft *E2 Einordnung des Prozesses in die Phase des Lebenszyklus* des Elementes *5.1-9 Prozess*.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.c	Welche Phase im Lebenszyklus des zu simulierenden Systems soll analysiert werden?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Planungsphase (1.2-1-E1-A) (5.1-9-E2-A)
	B	Realisierungsphase (1.2-1-E1-B) (5.1-9-E2-B)
	C	Betriebsphase (1.2-1-E1-C) (5.1-9-E2-C)
	Z	Keine Einordnung (1.2-1-E1-Z) (5.1-9-E2-Z)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(1.2-1-E1-A:C, Z) (5.1-9-E2-A:C, Z)

A.d Frage zur Art des Zeitfortschrittsmechanismus

Die Frage zur Art des Zeitfortschrittsmechanismus dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes 2.2-1 *Art des Zeitfortschrittsmechanismus*.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.d	Welche Art des Zeitfortschrittsmechanismus (Sicht auf die Simulation) wird gewählt?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ereignisorientierte Sicht (2.2-1-E1-A)
	B	Prozessorientierte Sicht (2.2-1-E1-B)
	C	Transaktionsorientierte Sicht (2.2-1-E1-C)
	D	Aktivitätsorientierte Sicht (2.2-1-E1-D)
	E	Engagement Strategy xor (2.2-1-E1)
	F	Fixe Zeitinkremente (2.2-1-E1-F)
Elemente	Filterstufe 1	(2.2-1-E1)
	Filterstufe 2	(2.2-1-E1-A:F)

A.e Frage zum Zeithorizont der Simulation

Die Frage zum Zeithorizont der Simulation dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.2-2 Zeithorizont des Simulationsmodells*.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.e	Welchen Zeithorizont beinhaltet die zu analysierende Fragestellung?	
	Optional - Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwort- möglich- keiten	A	Unbegrenzter Horizont (2.2-2-E1-A)
	B	Begrenzter Horizont, terminierend (2.2-2-E1-B)
	C	Begrenzter Horizont, nicht terminierend (2.2-2-E1-C)
	Z	Keine Einordnung (2.2-2-E1-Z)
Elemente	Filterstufe 1	(2.2-2-E1)
	Filterstufe 2	(2.2-2-E1-A:C, Z)

A.f Frage zum erwarteten statistischen Verhalten der Outputreihe

Die Frage zum erwarteten statistischen Verhalten der Outputreihe dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.2-3 Statistisches Verhalten der Outputreihe*. Da dieses häufig vor Durchführung der Simulationsexperimente nicht definiert werden kann, handelt es sich um eine fakultative Frage.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.f	Welches Verhalten der statistischen Outputreihe wird erwartet?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Stationär (2.2-3-E1-A)
	B	Nichtstationär (2.2-3-E1-B)
	Z	Keine Einordnung (2.2-3-E1-Z)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(2.2-3-E1-A:B, Z)

A.g Frage zu den möglichen Datenquellen

Die Frage zu den möglichen Datenquellen dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.3-1 Datenquellen*.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.g	Welche Arten von Datenquellen stehen zur Verfügung?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwort- möglich- keiten	A	Relationale Datenbank (2.3-1-E1-A)
	B	Data Warehouse (2.3-1-E1-B)
	C	Dateisystem (2.3-1-E1-C)
	D	Unstrukturiertes System bzw. keine der Datenquellen A-C xor (2.3-1-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(2.3-1-E1)
	Filterstufe 2	(2.3-1-E1-A:D)

A.h Frage zu den möglichen Schnittstellen

Die Frage zu den möglichen Schnittstellen dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.3-2 Schnittstellen*.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.h	Welche Arten von Schnittstellen stehen zur Verfügung?		
	Mehrere Antworten möglich!		
Antwort- möglich- keiten	A	Standardisierte IT-technische Schnittstelle	(2.3-2-E1-A)
	B	Standardisierte Simulations-technische Schnittstelle	(2.3-2-E1-B)
	C	Proprietäre Simulationswerkzeug-Schnittstelle	(2.3-2-E1-C)
	D	Andere als die Schnittstellen A-C	xor (2.3-2-E1)
	Z	Keine Einordnung	(2.3-2-E1-Z)
Elemente	Filterstufe 1	(2.3-2-E1)	
	Filterstufe 2	(2.3-2-E1-A:D, Z)	

A.i Frage zur Simulationsmethode

Die Frage zur Simulationsmethode dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.4-1 Simulationsmethode*.

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.i	Welche Simulationsmethode soll verwendet werden?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit	
Antwort- möglich- keiten	A	Finite Elemente Methode xor (2.4-1-E1)
	B	Agentenbasierte Simulation xor (2.4-1-E1)
	C	Monte-Carlo-Simulation xor (2.4-1-E1)
	D	Deterministische Simulation (2.4-1-E1-D)
	E	Diskrete Simulation (2.4-1-E1-E)
Elemente	Filterstufe 1	(2.4-1-E1)
	Filterstufe 2	(2.4-1-E1-A:E)

A.j Frage zu möglichen Entscheidungsregeln

Die Frage zu möglichen Entscheidungsregeln dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.4-2 Entscheidungsregeln*.

Kriterien:

- Mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.j	Welche Arten von Entscheidungsregeln sollen definiert werden?	
	Optional – Mehrere Antworten möglich	
Antwort- möglich- keiten	A	Regeln zur Allokation von Instrumenten (2.4-2-E1-A)
	B	Reihenfolgeregeln (2.4-2-E1-B)
	C	Prioritätsregeln (2.4-2-E1-C)
	D	Vorfahrtsstrategien (2.4-2-E1-D)
	E	Routingstrategien (2.4-2-E1-E)
	Z	Keine Einordnung (2.4-2-E1-Z)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(2.4-2-E1-A:E, Z)

A.k Frage zur Betrachtung der räumlichen Struktur

Diese Frage dient als Filter auf alle Eigenschaften der Abstraktion, die den verschiedenen Elementen zugeordnet ist. Basis der Antwortmöglichkeiten ist die Klassifikationshierarchie des domänenspezifischen Elementes Abstraktion (Domäne Intralogistik: 5.1-1).

Kriterien:

- Mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.k	Welche räumliche Struktur soll in der Fragestellung betrachtet werden?		
	Mehrere Antworten möglich!		
Antwort- möglich- keiten	A	Mikroebene	
	B	Mesoebene	
	C	Makroebene	
Elemente	Filterstufe 1	--	
	Filterstufe 2	(2.1-1-E2-A:C) (2.1-2-E2-A:C) (2.1-3-E2-A:C) (4.1-1-E4-A:C) (4.2-2-E2-A:C) (4.2-3-E2-A:C) (4.2-4-E2-A:C) Domäne Intralogistik (5.1-3-E2-A:C) (5.1-4-E2-A:C) (5.1-5-E2-A:C) (5.1-6-E2-A:C) (5.1-7-E2-A:C) (5.1-8-E2-A:C) (5.1-10-E2-A:C)	

A.1 Frage zur Betrachtung der zeitlichen Struktur

Diese Frage dient als Filter auf alle Eigenschaften der Aggregation, die den verschiedenen Elementen zugeordnet ist. Basis der Antwortmöglichkeiten ist die Klassifikationshierarchie des domänenspezifischen Elementes Abstraktion (Domäne Intralogistik: 5.1-2).

Kriterien:

- Mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch

A.1	Welche zeitliche Struktur soll in der Fragestellung betrachtet werden?		
	Mehrere Antworten möglich!		
Antwort- möglich- keiten	A	Kurzfristig	
	B	Mittelfristig	
	C	Langfristig	
Elemente	Filterstufe 1	--	
	Filterstufe 2	(2.1-2-E3-A:C) (2.1-1-E3-A:C) (2.1-3-E3-A:C) (4.1-1-E5-A:C) (4.2-2-E3-A:C) (4.2-3-E3-A:C) (4.2-4-E3-A:C) Domäne Intralogistik (5.1-3-E3-A:C) (5.1-4-E3-A:C) (5.1-5-E3-A:C) (5.1-6-E3-A:C) (5.1-7-E3-A:C) (5.1-8-E3-A:C) (5.1-10-E3-A:C)	

A.m Frage zur Verfügbarkeit technischer Daten

Die Frage zur Verfügbarkeit technischer Daten dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.1-1 Technische Daten*.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten bei der Auswahl zwischen (A-E)
 - Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch
- Wenn keine der Datenarten zur Verfügung steht, gilt Antwortmöglichkeit F

A.m	Welche technischen Daten stehen zur Verfügung und können verwendet werden?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwortmöglichkeiten	A	Strukturdaten (2.1-1-E1-A)
	B	Fertigungsdaten (2.1-1-E1-B)
	C	Materialflussdaten (2.1-1-E1-C)
	D	Stördaten (2.1-1-E1-D)
	E	Informationsflussdaten (2.1-1-E1-E)
	F	Keine der Datenarten A-E xor (2.1-1-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(2.1-1-E1)
	Filterstufe 2	(2.1-1-E1-A:F)

A.n Frage zur Verfügbarkeit organisatorischer Daten

Die Frage zur Verfügbarkeit organisatorischer Daten dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.1-2 Organisatorische Daten*.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten bei der Auswahl zwischen (A-C)
 - Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch
- Wenn keine der Datenarten zur Verfügung steht, gilt Antwortmöglichkeit D

A.n	Welche organisatorischen Daten stehen zur Verfügung und können verwendet werden?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwortmöglichkeiten	A	Arbeitszeitorganisationsdaten (2.1-2-E1-A)
	B	Ressourcenzuordnungsdaten (2.1-2-E1-B)
	C	Ablauforganisationsdaten (2.1-2-E1-C)
	D	Keine der Datenarten A-C xor (2.1-2-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(2.1-2-E1)
	Filterstufe 2	(2.1-2-E1-A:D)

A.o Frage zur Verfügbarkeit von Systemlastdaten

Die Frage zur Verfügbarkeit von Systemlastdaten dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Varianten* des Elementes *2.1-3 Systemlastdaten*.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten bei der Auswahl zwischen (A-B)
 - Die Beantwortung der Frage ist obligatorisch
- Wenn keine der Datenarten zur Verfügung steht, gilt Antwortmöglichkeit C

A.o	Welche Systemlastdaten stehen zur Verfügung und können verwendet werden?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwortmöglichkeiten	A	Auftragsdaten (2.1-3-E1-A)
	B	Produktdaten (2.1-3-E1-B)
	C	Keine der Datenarten A-B xor (2.1-3-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(2.1-3-E1)
	Filterstufe 2	(2.1-3-E1-A:C)

A.p Frage zum Verdichtungsgrad von Kenngrößen

Hinweis: Der Begriff der Kenngröße dient als Synonym für die im Data Warehouse bzw. im Kennzahlensystem vorhandenen Ergebnisse. Im Themenbereich der Simulation werden diese Ergebnisse teilweise auch als Performance Measures bezeichnet. Die Frage bezieht sich auf den Dateninput für die Simulation, nicht auf deren Ergebnisse.

Die Frage zum Verdichtungsgrad von Kenngrößen dient als Filter für die Eigenschaft *E1 Verdichtungsgrad* des Elementes *4.1-1 Kenngrößenarten* sowie Eigenschaft *E1 Kennzahlenart* des Elementes *5.1-10 Performance Measures*.

Stehen keine Informationen zu Kenngrößen zur Verfügung, kann die Frage unbeantwortet bleiben.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.p	Welche Verdichtungsgrade von Kenngrößen stehen zur Verfügung?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwortmöglichkeiten	A	Absolut (4.1-1-E1-A) (5.1-10-E1-A)
	B	Relativ (4.1-1-E1-B) (5.1-10-E1-B)
	Z	Keine Einordnung (4.1-1-E1-Z) (5.1-10-E1-Z)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(4.1-1-E1-A:B, Z) (5.1-10-E1-A:B, Z)

A.q Frage zum Bezugsrahmen von Kenngrößen

Hinweis: Der Begriff der Kenngröße dient als Synonym für die im Data Warehouse bzw. im Kennzahlensystem vorhandenen Ergebnisse. Im Themenbereich der Simulation werden diese Ergebnisse teilweise auch als Performance Measures bezeichnet. Die Frage bezieht sich auf den Dateninput für die Simulation, nicht auf deren Ergebnisse.

Die Frage zum Bezugsrahmen von Kenngrößen dient als Filter für die Eigenschaft *E2 Bezugsrahmen* des Elementes *4.1-1 Kenngrößenarten*.

Stehen keine Informationen zu Kenngrößen zur Verfügung, kann die Frage unbeantwortet bleiben.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.q	Welcher Bezugsrahmen liegt den zur Verfügung stehenden Kenngrößen zugrunde?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwortmöglichkeiten	A	Lokal (4.1-1-E2-A)
	B	Global (4.1-1-E2-B)
	C	Zuordnung (4.1-1-E2-C)
	D	Ablauf (4.1-1-E2-D)
	Z	Keine Einordnung (4.1-1-E2-Z)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(4.1-1-E2-A:D, Z)

A.r Frage zur Bildungsrichtung von Kenngrößen

Hinweis: Der Begriff der Kenngröße dient als Synonym für die im Data Warehouse bzw. im Kennzahlensystem vorhandenen Ergebnisse. Im Themenbereich der Simulation werden diese Ergebnisse teilweise auch als Performance Measures bezeichnet. Die Frage bezieht sich auf den Dateninput für die Simulation, nicht auf deren Ergebnisse.

Die Frage zur Bildungsrichtung von Kenngrößen dient als Filter für die Eigenschaft *E3 Bildungsrichtung* des Elementes *4.1-1 Kenngrößenarten*.

Stehen keine Informationen zu Kenngrößen zur Verfügung, kann die Frage unbeantwortet bleiben.

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.r	Welche Bildungsrichtung liegt den zur Verfügung stehenden Kenngrößen zugrunde?	
	Mehrere Antworten möglich!	
Antwortmöglichkeiten	A	Top-Down (4.1-1-E3-A)
	B	Bottom-Up (4.1-1-E3-B)
	Z	Keine Einordnung (4.1-1-E3-Z)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(4.1-1-E3-A:B, Z)

B Domänenperspektivenbezogene Fragen – Domäne Intralogistik

In der Intralogistik können verschiedene Fragestellungen Gegenstand von Simulationsstudien sein.

Die nachfolgende Auswahl von domänenspezifischen Objekten kann bei der Einschätzung unterstützen, welche Daten als Input sinnvoll sind. Daraus ergibt sich auch der Fokus der Fragestellungen. Gefragt wird nicht nach dem Betrachtungshorizont der Ergebnisse, sondern nach dem Input der Simulationsstudien. Die Frage nach dem Gegenstand der Betrachtung umfasst daher alle wesentlichen Objekte, die Bestandteil des Simulationsmodells sind und nicht nur die Objekte, die zum Lösungsfokus gehören.

Die Beantwortung der Fragen in der Domänenperspektive ist grundsätzlich fakultativ.

B.a Frage zu Auftragsdaten

B.a	Ist die Betrachtung von Auftragsdaten Bestandteil der Fragestellung?		
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!		
Antwortmöglichkeiten	A	Ja	(5.1-3-E1)
	B	Nein	not (5.1-3-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-3-E1)	
	Filterstufe 2	--	

Die Eigenschaft 5.1-3-E1 Objektverwendung von Jobs und Aufträgen wird durch diese Frage gefiltert.

Wird die Frage mit „A Ja“ beantwortet, dienen die Beispiele der Eigenschaft E4 als Hinweise auf mögliche aus dem multidimensionalen Datenmodell zu filternde Informationen.

Wird die Frage mit „B Nein“ beantwortet, entfällt die Eigenschaft E1. Da sowohl die Eigenschaft 5.1-3-E2 Abstraktion und 5.1-3-E3 Aggregation als auch die Eigenschaft 5.1-3-E4 Attribute mit einer AND-Bedingung an die Eigenschaft E1 geknüpft sind, entfallen bei Verneinung der Verwendung von Jobs- und Auftragsdaten in der Simulationsstudie auch diese beiden Eigenschaften.

Da bei Beantwortung der Frage mit „B Nein“ alle Eigenschaften des Elements entfallen, wird das Element ebenfalls komplett gefiltert.

B.b Frage zu Werkstücken, Material usw.

B.b	Ist die Betrachtung von Werkstücken, Material usw. Bestandteil der Fragestellung?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ja (5.1-4-E1)
	B	Nein not (5.1-4-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-4-E1)
	Filterstufe 2	--

Die Eigenschaft 5.1-4-E1 Objektverwendung von Werkstücken wird durch diese Frage gefiltert.

Wird die Frage mit „A Ja“ beantwortet, dienen die Beispiele der Eigenschaft E4 als Hinweise auf mögliche aus dem multidimensionalen Datenmodell zu filternde Informationen.

Wird die Frage mit „B Nein“ beantwortet, entfällt die Eigenschaft E1. Da sowohl die Eigenschaft 5.1-4-E2 Abstraktion, 5.1-4-E3 Aggregation als auch die Eigenschaft 5.1-4-E4 Attribute mit einer AND-Bedingung an die Eigenschaft E1 geknüpft sind, entfallen bei Verneinung der Verwendung von Werkstückdaten in der Simulationsstudie auch diese beiden Eigenschaften.

Da bei Beantwortung der Frage mit „B Nein“ alle Eigenschaften des Elements entfallen, wird das Element ebenfalls komplett gefiltert.

B.c Frage zu Ladehilfsmitteln (Logistische Instrumente)

B.c	Ist die Betrachtung von passiven Ladehilfsmitteln Bestandteil der Fragestellung?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ja (5.1-5-E1)
	B	Nein not (5.1-5-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-5-E1)
	Filterstufe 2	--

Die Eigenschaft 5.1-5-E1 Objektverwendung von Ladehilfsmitteln wird durch diese Frage gefiltert.

Wird die Frage mit „A Ja“ beantwortet, dienen die Beispiele der Eigenschaft E5 Attribute von Ladehilfsmitteln als Hinweise auf mögliche aus dem multidimensionalen Datenmodell zu filternde Informationen.

Wird die Frage mit „B Nein“ beantwortet, entfällt die Eigenschaft E1. Da sowohl die Eigenschaft 5.1-5-E2 Abstraktion, die Eigenschaft 5.1-5-E3 Aggregation als auch die Eigenschaft 5.1-5-E4 und 5.1-5-E5 mit einer AND-Bedingung an die Eigenschaft E1 geknüpft sind, entfallen bei Verneinung der Verwendung von Jobs- und Auftragsdaten in der Simulationsstudie auch diese beiden Eigenschaften.

Da bei Beantwortung der Frage mit „B Nein“ alle Eigenschaften des Elements entfallen, wird das Element ebenfalls komplett gefiltert.

B.d Frage zu Transportmitteln (Logistische Instrumente)

B.d	Ist die Betrachtung von aktiven Transportmitteln Bestandteil der Fragestellung?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ja (5.1-6-E1)
	B	Nein not (5.1-6-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-6-E1)
	Filterstufe 2	--

Die Eigenschaft 5.1-6-E1 Objektverwendung von aktiven Transportmitteln wird durch diese Frage gefiltert.

Wird die Frage mit „A Ja“ beantwortet, dienen die Beispiele der Eigenschaft E4 Varianten von Transportmitteln als Hinweise auf mögliche aus dem multidimensionalen Datenmodell zu filternde Informationen.

Wird die Frage mit „B Nein“ beantwortet, entfällt die Eigenschaft E1. Da sowohl die Eigenschaft 5.1-6-E2 Abstraktion, 5.1-6-E3 Aggregation als auch die Eigenschaft 5.1-6-E4 mit einer AND-Bedingung an die Eigenschaft E1 geknüpft sind, entfallen bei Verneinung der Verwendung von Jobs- und Auftragsdaten in der Simulationsstudie auch diese beiden Eigenschaften.

Da bei Beantwortung der Frage mit „B Nein“ alle Eigenschaften des Elements entfallen, wird das Element ebenfalls komplett gefiltert.

B.e Frage zu Leistungsempfängern

B.e	Ist die Betrachtung von Leistungsempfängern (Kunden, Lieferanten usw.) Bestandteil der Fragestellung?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ja (5.1-7-E1)
	B	Nein not (5.1-7-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-7-E1)
	Filterstufe 2	--

Die Eigenschaft 5.1-7-E1 Objektverwendung von Leistungsempfängern wird durch diese Frage gefiltert.

Wird die Frage mit „A Ja“ beantwortet, dienen die Beispiele der Eigenschaft E4 Arten von Leistungsempfängern als Hinweise auf mögliche aus dem multidimensionalen Datenmodell zu filternde Informationen.

Wird die Frage mit „B Nein“ beantwortet, entfällt die Eigenschaft E1. Da sowohl die Eigenschaft 5.1-7-E2 Abstraktion, 5.1-7-E3 Aggregation als auch die Eigenschaft 5.1-7-E4 mit einer AND-Bedingung an die Eigenschaft E1 geknüpft sind, entfallen bei Verneinung der Verwendung von Jobs- und Auftragsdaten in der Simulationsstudie auch diese beiden Eigenschaften.

Da bei Beantwortung der Frage mit „B Nein“ alle Eigenschaften des Elements entfallen, wird das Element ebenfalls komplett gefiltert.

B.f Frage zu Leistungserbringern

B.f	Ist die Betrachtung von Leistungserbringern (Bedienpersonal usw.) Bestandteil der Fragestellung?	
	Optional – Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwortmöglichkeiten	A	Ja (5.1-8-E1)
	B	Nein not (5.1-8-E1)
Elemente	Filterstufe 1	(5.1-8-E1)
	Filterstufe 2	--

Die Eigenschaft 5.1-8-E1 Objektverwendung von Leistungserbringern wird durch diese Frage gefiltert.

Wird die Frage mit „A Ja“ beantwortet, dienen die Beispiele der Eigenschaft E4 Varianten von Leistungserbringern und E5 Attribute als Hinweise auf mögliche aus dem multidimensionalen Datenmodell zu filternde Informationen.

Wird die Frage mit „B Nein“ beantwortet, entfällt die Eigenschaft E1. Da sowohl die Eigenschaft 5.1-8-E2 Abstraktion, 5.1-8-E3 Aggregation als auch die Eigenschaften 5.1-8-E4 und 5.1-8-E5 mit einer AND-Bedingung an die Eigenschaft E1 geknüpft sind, entfallen bei Verneinung der Verwendung von Leistungserbringern (Bedienpersonal usw.) in der Simulationsstudie auch diese beiden Eigenschaften.

Da bei Beantwortung der Frage mit „B Nein“ alle Eigenschaften des Elements entfallen, wird das Element ebenfalls komplett gefiltert.

B.g Frage zum intralogistischen Teilprozess

Kriterien:

- Es gibt mehrere Antwortmöglichkeiten
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

B.g	Welcher intralogistische Teilprozess soll betrachtet werden?	
	Optional – Mehrere Antworten möglich!	
Antwort- möglich- keiten	A	Fertigung (5.1-9-E1-A)
	B	Montage (5.1-9-E1-B)
	C	Lagerung (5.1-9-E1-C)
	D	Transport (5.1-9-E1-D)
	E	Qualitätssicherung (Kontrolle) (5.1-9-E1-E)
	F	Beschaffung (5.1-9-E1-F)
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(5.1-9-E1-A:F)

Anhang D: Konzeptkomponente Verwendungsanweisung

In diesem Anhangkapitel ist die dritte Konzeptkomponente komplett abgebildet. Das Ziel bei der Erstellung der drei Komponenten ist, dass ausgehend von der Verwendungsanweisung das Konzept ohne Bezug auf die Dissertationsschrift verständlich wird. Daher sind einige Kapitel und Abbildungen in der Verwendungsanweisung bzw. im diesen Anhangkapitel redundant zur Dissertation enthalten. Um die Vollständigkeit und den Erklärungsansatz der Verwendungsanweisung durch Weglassen redundanter Teile nicht zu gefährden, wurde diese Redundanz Aspekt von der Autorin in Kauf genommen.

Bei den redundanten Teilen handelt es sich um das Kapitel 2 der Verwendungsanweisung, in dem der Aufbau, die Struktur und die Komponenten des Konzeptes beschrieben werden. In Kapitel 3 wird (ebenfalls redundant) erläutert, wie eine Erweiterung der Komponenten erfolgen kann.

Inhaltsverzeichnis Anhang D:

1	Einleitung	245
1.1	Die Arbeit mit den Katalogen und der Verwendungsanweisung	246
1.1.1	Allgemeines	246
1.1.2	Die Vorgehensweise in Schritten	246
2	Aufbau und Struktur der Kataloge	249
2.1	Das Gesamtkonzept im Überblick	249
2.2	Der Ordnungskatalog	250
2.2.1	Beschreibung der Elemente	252
2.3	Der Fragenkatalog	254
2.3.1	Das Fragediagramm	254
2.4	Ein Verwendungsbeispiel	255
3	Erweiterung der Kataloge	259
4	Die Auswertung der Ergebnisse	261
4.1	Relevanz der Elemente, Eigenschaften und Ausprägungen	261
4.1.1	Bewertung des domänenneutralen Teils des Fragenkatalogs	262
4.1.2	Bewertung des domänenspezifischen Teils des Fragenkatalogs	276
4.1.3	Elemente des Ordnungskatalogs ohne Filterkriterium	281

1 Einleitung

Diese Verwendungsanweisung beschreibt die Nutzung von zwei Katalogen. Diese Kataloge dienen dazu, Simulationsdurchführende und Data-Warehouse-Verwender bei datenorientierten Prozessschritten in Simulationsstudien zu unterstützen. Für konkrete Simulationsfragestellungen wird die Entscheidungsfindung erleichtert, ob die Verwendung von Daten aus Multidimensionalen Datenmodellen sinnvoll und hilfreich sein kann.

Außerdem enthält die Verwendungsanweisung

- Hinweise auf die Vorgehensweise zur Nutzung,
- zu beachtende Punkte in der Handhabung und
- Informationen über den Aufbau und die Struktur

der drei Komponenten

- Fragenkatalog
- Ordnungskatalog
- Verwendungsanweisung.

Die Verwendung der beiden Kataloge unter Beachtung der Erläuterungen und Hinweise in diesem Dokument dient dazu, folgende Fragen zu beantworten:

1. Kann es für eine konkrete Simulationsfragestellung sinnvoll sein, Daten aus multidimensionalen Datenmodellen, also aus einem Data-Warehouse zu verwenden?
2. Welche Daten sollten sinnvollerweise aus dem Data-Warehouse übernommen werden?
3. In welchem Abstraktionsgrad und auf welcher Aggregationsebene sollten die Daten sinnvollerweise aus dem Data-Warehouse übernommen werden?

Die Verwendung der beiden Kataloge setzt fachliche Kenntnisse im Bereich der Simulationsstudien sowie des Data Warehousing voraus. Wenn Sie über solche Kenntnisse nicht verfügen, ist es sinnvoll, die Grundlagenkapitel der Dissertation zu lesen und die Unterstützung durch entsprechende Experten zu gewährleisten.

1.1 Die Arbeit mit den Katalogen und der Verwendungsanweisung

1.1.1 Allgemeines

Die Arbeit mit den beiden Katalogen (Fragenkatalog und Ordnungskatalog) und die Auswertung anhand dieser Verwendungsanweisung bringen folgenden Nutzen:

- sie ermöglicht eine systematische Herangehensweise an die Fragestellung
- sie verdeutlicht, bei welchem Abstraktionsgrad und welcher Aggregationsebene die Nutzung multidimensional aufbereiteter Daten sinnvoll ist
- die Antworten werden bezüglich der Fragestellung bewertet
- die Gesamtmenge der Antworten ermöglicht die Einschätzung, ob die Verwendung von Daten basierend auf multidimensionalen Datenmodellen für die Simulationsfragestellung sinnvoll bzw. möglich ist

Die Kataloge können in der Praxis eingesetzt werden, um eine individuelle Einzelbeurteilung der konkreten Simulationsfragestellung vorzunehmen. Denkbar ist aber auch die Einschätzung mehrerer Fachleute zu einem Thema um die Ergebnisse anschließend zu vergleichen und Einschätzungen zu prüfen.

Führend für die Bearbeitung ist die Verwendungsanweisung. In Kapitel 1.1.2 wird die Vorgehensweise zur Bearbeitung schrittweise erläutert. Der Ordnungskatalog beschreibt die Elemente, Eigenschaften und Attribute; im Fragenkatalog erfolgt aufgrund der Beantwortung der Fragen die Konfiguration bzw. Selektion.

1.1.2 Die Vorgehensweise in Schritten

Folgende Vorgehensweise ist notwendig:

Schritt 1: Lesen Sie diese Verwendungsanweisung vor Bearbeitung der beiden Kataloge (nur) bis einschließlich Kapitel 2 (Aufbau und Struktur der Kataloge).

Schritt 2: Prüfen Sie im Ordnungskatalog, ob eine der in der Domänenperspektive enthaltenen Domänen zu Ihrer Fragestellung passt. Wenn ja, können Sie mit der Bearbeitung der Fragen beginnen, lesen Sie weiter bei Punkt 4.

Wenn in der Domänenperspektive keine für Ihre Fragestellung passende Domäne enthalten ist, prüfen Sie, ob Sie die Domänenperspektive um Ihre Inhaltsdomäne er-

weitem wollen. Wenn ja, lesen Sie in Kapitel 3 (Erweiterung der Kataloge) weiter. Wenn nein, ist die weitere Arbeit mit dem Konzept für Ihre Fragestellung nicht sinnvoll.

Schritt 3: Prüfen Sie die beiden Elemente 5.1-1 und 5.1-2 im Ordnungskatalog und stellen Sie fest, ob die gewählten Einteilungen der räumlichen Abstraktion und der zeitlichen Aggregation Ihrer Fragestellung gerecht werden. Wenn nicht, passen Sie die Einteilungen auf Ihre Fragestellung an. Verwenden Sie dabei beliebig viele Unterstufungsstufen, jedoch mindestens jeweils eine pro Ebene (Mikroebene, Mesoebene, Makroebene bzw. kurzfristig, mittelfristig und langfristig). Je höher die Anzahl der Stufen zur Unterteilung der Ebenen ist, desto feiner können Sie die Unterteilung nutzen.

Schritt 4: Lesen Sie sich den Fragenkatalog Frage für Frage durch. Führend für die Bearbeitung der beiden Kataloge ist der Fragenkatalog.

Lesen Sie parallel die im Ordnungskatalog zu den Elementen enthaltenen Erläuterungen. Welche Elemente von einer Frage betrachtet werden, ist für jede Frage angegeben in den Spalten der Filterstufen 1 und 2. Der Aufbau der Kataloge wird nachfolgend noch ausführlich beschrieben.

Beantworten Sie die obligatorischen Fragen unbedingt.

Von den fakultativen Fragen sollten Sie so viele Fragen wie möglich beantworten. Sollten Sie Zweifel haben bei der Auswahl der zutreffenden Antwort oder die gefragten Informationen liegen Ihnen nicht vor, können Sie diese aber auch unbeantwortet lassen.

Die Fragen der Kategorie A beziehen sich auf allgemeine Themen zur Simulation und zum Data-Warehousing. Die Fragen der Kategorie B beziehen sich auf die Inhaltsdomäne der Intralogistik. Sie dienen dazu, eine Datenbasis zu ermitteln, welche als Input für die Simulationsstudie betrachtet werden soll. Bei der Beantwortung der Fragen zur Inhaltsdomäne lesen Sie bitte auch die Erläuterungen zu den Elementen im Ordnungskatalog, die als Basis für die Instanziierung dienen. Um welches Element es sich handelt, ist im Domänenelement angegeben.

Notieren Sie die von Ihnen ausgewählten Antworten.

Schritt 5: Nach Beantwortung aller Fragen lesen Sie in dieser Verwendungsanweisung ab Kapitel 4 (Die Auswertung der Ergebnisse) weiter. Dort sind die Analyse der Antworten sowie die Vorgehensweise zur Bewertung und Nutzung der Ergebnisse erläutert.

Sie müssen nur die Zeilen in der Bewertungstabelle zu den Antworten lesen, die Sie ausgewählt haben.

Hinweise:

- Die Erläuterungen der Elemente, Eigenschaften und Ausprägungen im Ordnungskatalog dienen dem Verständnis des Fragenkontextes und somit als Hilfsmittel für die Beantwortung der Fragen.

Die Zusammenhänge und Wechsel zwischen den drei Komponenten sind in Abbildung Anhang-D-1 grafisch dargestellt:

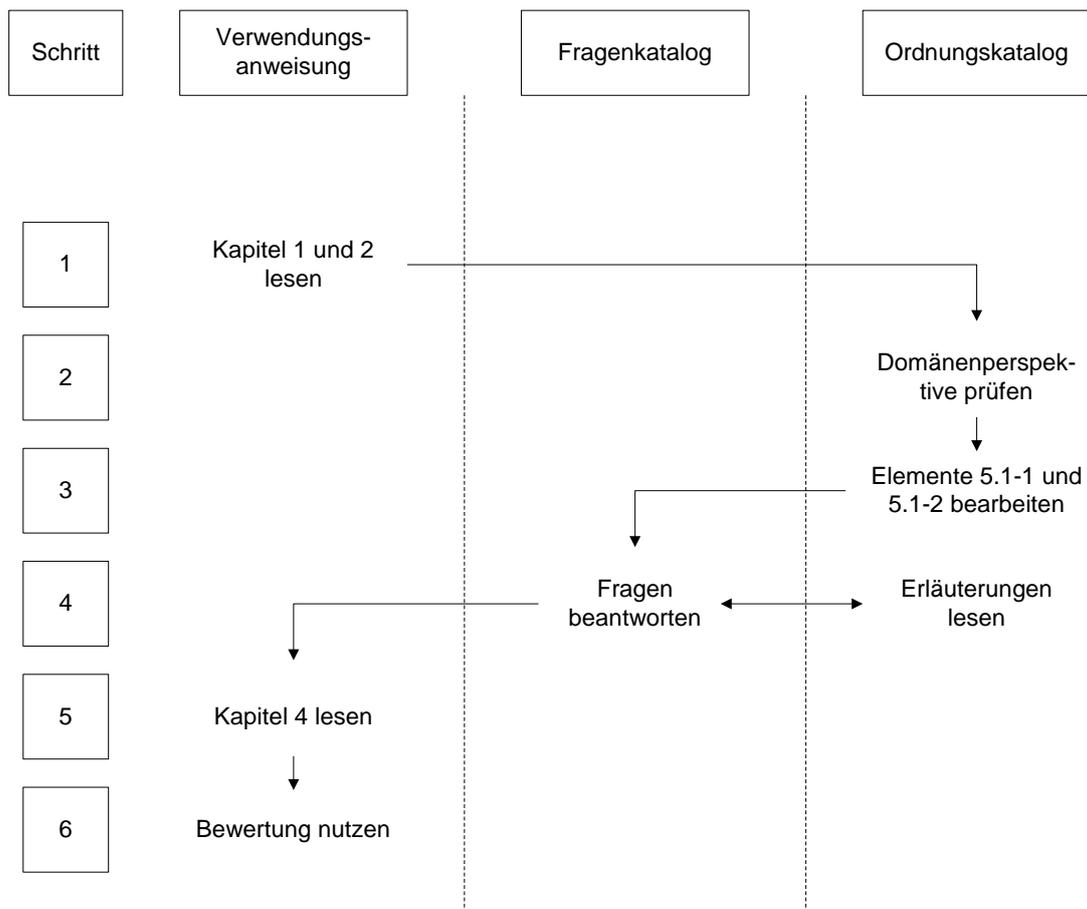


Abbildung Anhang-D-1: Wechsel zwischen den Komponenten (eigene Darstellung)

2 Aufbau und Struktur der Kataloge

2.1 Das Gesamtkonzept im Überblick

Bei dem Ihnen hier vorliegenden Konzept handelt es sich um einen Ansatz zur Verbindung der Themenbereiche Data Warehousing und Simulation. Dieses Konzept besteht aus den in Abbildung Anhang-D-2 dargestellten Komponenten.

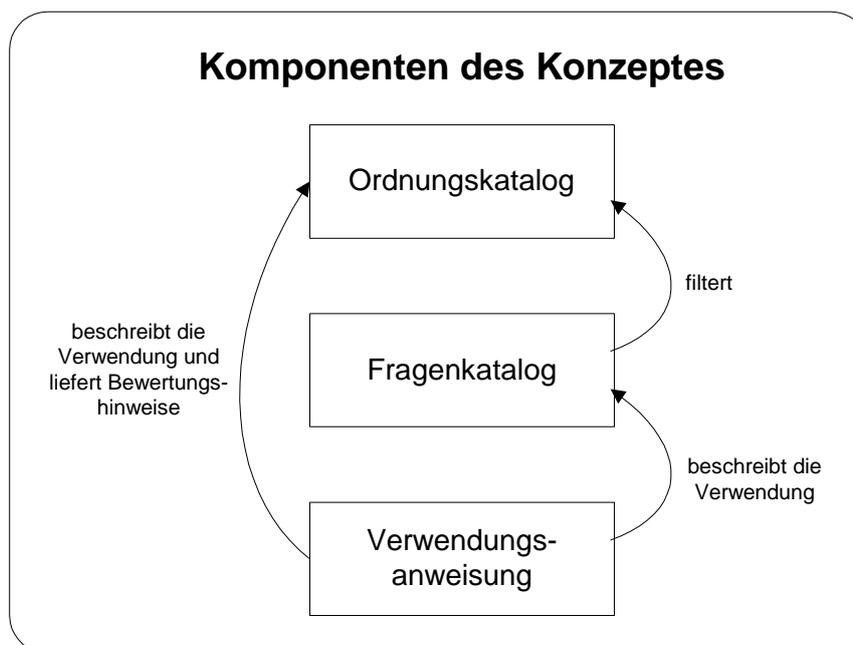


Abbildung Anhang-D-2: Komponenten des Konzeptes (eigene Darstellung)

Die Abbildung des Konzeptes erfolgt in drei Komponenten. Durch den Aufbau eines Ordnungskatalogs mit einem Satz an Elementen und einem Fragenkatalogs mit den dazugehörigen Fragen werden entscheidungsrelevante Aspekte zur Analyse der Simulationsfragestellung dargestellt. Als Beschreibungskomponente zu den beiden Katalogen sowie als Bewertungsinstrument zur Ableitung von Handlungsempfehlungen dient eine Verwendungsanweisung.

Die Struktur und der Inhalt des **Ordnungskatalogs** dienen als Rahmen für die zu berücksichtigenden verschiedenen Aspekte der beteiligten Themenbereiche. Dabei handelt es sich um charakteristische Eigenschaften der Simulation und des Data Warehousing. Diese Aspekte sind systematisch gruppiert und in sogenannte Elemente gegliedert. Sie bilden eine Obermenge, die auf eine möglichst umfassende Zahl von verschiedenen Anwendungsszenarios anwendbar ist und somit die breite Anwendbarkeit des Konzeptes gewährleisten.

Der **Fragenkatalog** resultiert unmittelbar aus dem Ordnungskatalog. Die enthaltenen Fragen bzw. Antworten dienen der Filterung der Obermenge der im Ordnungskatalog enthaltenen Elemente (bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen) bezogen auf die jeweilige Simu-

lationsfragestellung. Dabei werden die in Unterabschnitt 4.2 beschriebenen Anforderungen berücksichtigt. Die einzelnen Fragen dienen der Analyse der Simulationsfragestellung und der Berücksichtigung der sich daraus ergebenden Randbedingungen. Sie dienen dazu, Informationen über das Anwendungsszenario zu ermitteln und zu beachten sowie zur Identifikation der szenarioabhängigen relevanten Abstraktionsgrade und der notwendigen Aggregationsebenen. Weitere Elemente und die auf diese bezogenen Fragen dienen dazu, Informationen über die vorhandenen bzw. benötigten Datenstrukturen zu gewinnen.

Die **Verwendungsanweisung** enthält zum einen eine Bedienungsanleitung zur Nutzung der beiden Kataloge sowie eine Vorgehensweise zur Erweiterung der Komponenten, falls diese notwendig sein sollte. Außerdem enthält die Verwendungsanweisung Bewertungstabellen, welche Informationen über die Eignung der Simulationsfragestellung zur Verwendung von Inputdaten aus multidimensionalen Datenmodellen enthalten. Als Ergebnis bleiben nach Anwendung des Fragenkatalogs auf den Ordnungskatalog für den jeweiligen Sachverhalt relevante Elemente (bzw. deren Eigenschaften und Ausprägungen) übrig, die eine Antwort auf folgende **Konzeptfragestellung** ermöglichen sollen:

„Ist die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung anwendbar bzw. empfehlenswert und bringt sie für diese Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen?“

Sowohl die beiden Kataloge als auch die Verwendungsanweisung dürfen nicht als abschließend definierte Artefakte verstanden werden. Basierend auf speziellen Fragestellungen, Anforderungen für weitere Inhaltsdomänen oder Systemumgebungen soll die Möglichkeit bestehen, Erweiterungen vorzunehmen.

2.2 Der Ordnungskatalog

Der Ordnungskatalog enthält sogenannte Elemente. Jedes Element beschäftigt sich mit einem Aspekt aus dem Bereich der Simulation bzw. des Data Warehousing.

Die Elemente sind in Perspektiven eingeordnet. Innerhalb der Perspektiven sind wiederum verschiedene Aspekte eingeordnet. Diese Strukturierung der Elemente dient dazu, thematisch miteinander verbundene Elemente zu gruppieren. Der Aufbau der Perspektiven sowie die zugeordneten Aspekte sind dem folgenden Diagramm zu entnehmen:

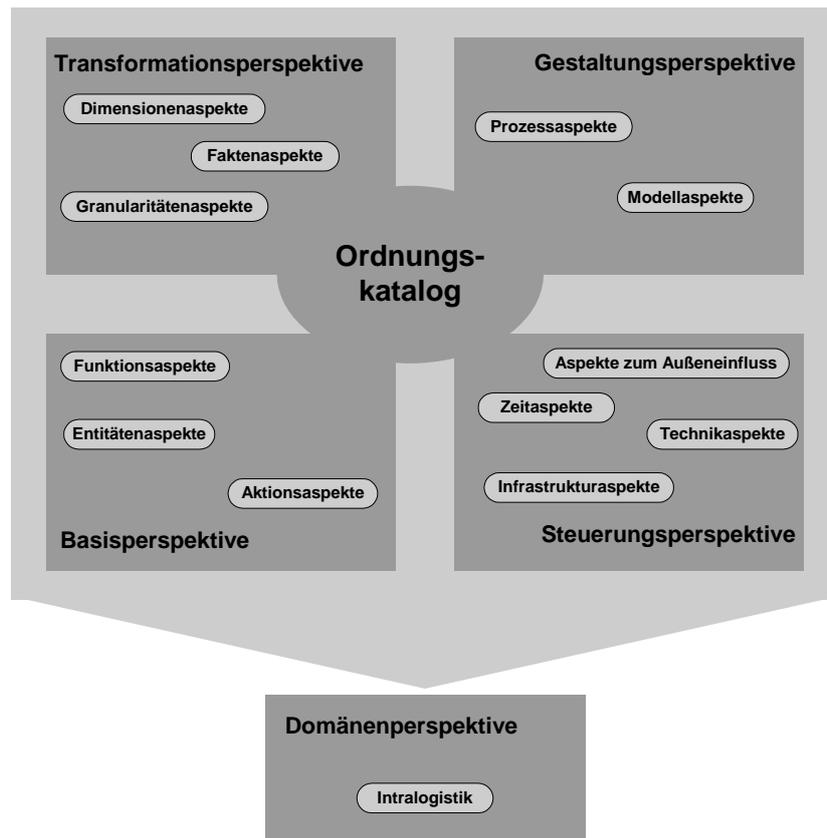


Abbildung Anhang-D-3: Die Struktur des Ordnungskatalogs (Eigene Darstellung)

Die **Gestaltungsperspektive** führt die Identifikation [1]. Sie beinhaltet Aspekte, welche die zu analysierende Fragestellung (z. B. einer Simulationsstudie oder Modellierung) gestalten. Die Aspekte bilden die Grundstrukturen der konkreten Simulationsstudie ab. In der Gestaltungsperspektive sind auch Aspekte zugeordnet, die zur Klärung von Modellierungsaspekten sowie zur Phaseneinordnung der Simulationsstudie beitragen.

Die **Steuerungsperspektive** führt die Identifikation [2]. Sie enthält Aspekte, die sich mit der Zeit, Infrastruktur und Technik beschäftigen. Es handelt sich um Komponenten von Simulation bzw. Data Warehousing, welche die Steuerungsaspekte abbilden wie beispielsweise die Art des Zeitfortschrittsmechanismus, den zu betrachtenden Zeithorizont, die Simulationmethode oder Konfigurationsregeln.

Die **Basisperspektive** führt die Identifikation [3]. Sie enthält Aspekte, die sich mit Aktionen (Wann, Womit, Wodurch), Entitäten (an welchem Objekt), Funktionen (Was) und Strukturobjekten beschäftigen. In dieser Perspektive sind teilweise Elemente enthalten, die keine Konfigurations- bzw. Filtereigenschaften haben. Im Ordnungskatalog sind diese zum einen enthalten, um den Empfehlungscharakter der Ergebnismenge mit möglichst konkreten Informationen anzureichern. Zum anderen dienen sie als Basis für die inhaltlich konkretisierten Elemente der Domänenperspektive.

Die **Transformationsperspektive** führt die Identifikation [4]. Diese Perspektive dient zur Überführung der Konzepte des multidimensionalen Datenmodells in die Strukturen des Dateninputs für Simulationen. Sie beinhaltet Aspekte zu Dimensionen und Fakten und überträgt deren Konzepte in Subjekte, Objekte und Instrumente eines Simulationsmodells.

Die **Domänenperspektive** führt die Identifikation [5]. Sie beinhaltet relevante Aspekte zur gewählten Inhaltsdomäne Intralogistik. Diese Perspektive kann zukünftig um weitere Inhaltsdomänen erweitert werden. Bei den Elementen handelt es sich um instanziierte Objekte aus den Perspektiven 1-4. In dieser Perspektive sind beispielsweise auch Datenselektionselemente eingeordnet, die dazu führen, dass z. B. eine Eingrenzung von Daten aus dem Data Warehouse oder dem operativen System erfolgt, bezogen auf die exemplarisch definierten Dimensionen <ZEIT> (Aggregationsebenen) und <ORT> (Abstraktionsgrade).

Die Ebene 2 unterteilt die Perspektiven in relevante **Aspekte**. Diese sind den Perspektiven jeweils disjunkt zugeordnet. Aspekte der Gestaltungsperspektive sind z. B. Modellaspekte, Aspekte der Steuerungsperspektive sind administrative, zeitliche, infrastrukturelle, technische sowie äußere Einflüsse. Innerhalb der Basisperspektive werden Aspekte z. B. strukturiert in Aktivitäten, Objekte und Funktionen. Die Domänenperspektive spiegelt die jeweils für die Fragestellung relevanten Aspekte wider. In der initialen Befüllung enthält sie Elemente der Intralogistik. Sie bilden jeweils Teil 2 ([m]) der Ordnungszahl. Innerhalb des Klassifikationssystems (Perspektive und Aspekt) werden die Elemente sequentiell durchnummeriert.

2.2.1 Beschreibung der Elemente

Alle Elemente des Ordnungskatalogs sind durch ein allgemein gültiges Elementdiagramm bzw. die im Diagramm enthaltenen Attribute beschrieben. Ein **Musterdiagramm zur Beschreibung der Elemente des Ordnungskatalogs** ist nachfolgend abstrahiert dargestellt.

Ordnungszahl	Lfd. Nr	Elementname		
		Beschreibung		
„E“ Eigenschaftszahl	+	Eigenschaft		Filterstufe 1
		Ausprägungs-ID	Ausprägung	Filterstufe 2
	
...	
	
Verweise, Quellenangaben				

Abbildung Anhang-D-4: Abstrahiertes Elementdiagramm

Erläuterung der Beschreibungsparameter:

Ordnungszahl	Erste und Zweite Ordnungsebene des Klassifikationssystems. Die Ordnungszahl bildet sich aus der Perspektive und dem Aspekt
Lfd. Nr.	Laufende Nummer des Elements innerhalb der Ordnungszahl auf Ordnungsebene 3
Elementname	Bezeichnung des Elements, welches beschrieben wird
Beschreibung	Kurze Beschreibung des Elements
Eigenschaftszahl	Zweite Stufe der Klassifizierung: Eigenschaft und Eigenschaftszahl
Eigenschaft	Bezeichnung der Eigenschaft, für welche die relevanten Ausprägungen beschrieben werden. Wesentliche Eigenschaften des Ordnungskatalogs sind die Abstraktion und die Aggregation. Weitere Eigenschaften wie die Variante können elementabhängig verwendet werden.
Filterstufe 1	Die Filterstufe 1 ist so definiert, dass sie eine Eigenschaft aufgrund der Beantwortung des Fragenkatalogs aus der Ergebnismenge filtert.
Ausprägungs-ID	Dritte Stufe der Klassifizierung: Identifikation innerhalb der Ausprägungen
Ausprägung	Bezeichnung der Ausprägung. Diese Einträge bilden gleichzeitig die Antwortmöglichkeiten des Fragenkataloges
Filterstufe 2	Die Filterstufe 2 ist so definiert, dass sie eine Ausprägung aufgrund der Beantwortung des Fragenkatalogs aus der Ergebnismenge filtert.
Verweise	Relevante Literaturverweise, Quellenangaben usw.

Im Ordnungskatalog werden verschiedene Arten von Elementen unterschieden. In den Kernperspektiven gibt es folgende Elementarten:

- **Konfigurationselemente**
Diese Elemente dienen der Konfiguration. Sie enthalten Attribute, die gefiltert werden können bzw. müssen.
- **Beschreibungselemente**
Diese Elemente besitzen keine Filterkriterien. Sie beschreiben (Daten-) Objekte, die in Simulationsstudien benötigt werden und dienen als Quelle für die Instanziierung dieser Objekte in der Domänenperspektive. Außerdem dienen beschreibende Elemente vor allem den in Tabelle 8 beschriebenen Zielgruppen der Data Warehousing Experten und der fachfremden Anwender als Erklärung für typische in Simulationsmodellen verwendete Elemente. Für den Simulationsexperten sind die in der Transformationsperspektive eingeordneten Beschreibungselemente als entsprechende Erklärung

rungen enthalten. Auch die Beschreibungselemente sind in der Verwendungsanweisung mit Handlungsempfehlungen enthalten. Die Informationen dienen bei der Prüfung, ob die Verwendung von Daten aus einem Data Warehouse für die Simulationsstudie sinnvoll ist, als Ergänzung.

2.3 Der Fragenkatalog

Der Fragenkatalog enthält die zu beantwortenden Fragen. Diese Fragen haben mehrere Aufgaben.

1. Die Fragen dienen der Konfiguration der Eigenschaften und Ausprägungen.
2. Einige Fragen beziehen sich jeweils auf eine oder mehrere gleichlautende Eigenschaften von Elementen.
3. Einige Fragen sind obligatorisch, d. h. deren Beantwortung ist zwingend notwendig, damit das Ergebnis die gewünschte Aussagekraft hat.
4. Einige Fragen sind fakultativ, d. h. deren Beantwortung ist optional. Trotzdem sollten diese, soweit es möglich ist, beantwortet werden. Für jede Frage ist gekennzeichnet, ob es sich um eine obligatorisch zu beantwortende oder eine fakultativ zu beantwortende Frage handelt. Die Beantwortung aller dient dazu, die Aussagekraft des Ergebnisses zu verbessern.

2.3.1 Das Fragediagramm

Alle Fragen des Fragenkatalogs sind durch ein allgemein gültiges Fragediagramm bzw. die im Diagramm enthaltenen Attribute beschrieben. Ein **Musterdiagramm zum Fragenkatalog** ist in Anhang-D-6 abstrahiert dargestellt.

Identifikation	Frage		
	Erläuterungen		
Antwortmöglichkeiten	Ausprägungs-ID	Antwortmöglichkeit / Ausprägung	Zugeordnetes Filterkriterium

Elemente	Filterstufe 1	<Ordnungszahl + Lfd. Nr. + Eigenschaftszahl>	
	Filterstufe 2	<Element-ID>	

Abbildung Anhang-D-6: Abstrahiertes Fragediagramm

Erläuterung der Parameter des Fragediagramms:

Identifikation	Jede Frage wird durch eine laufende Nummer identifiziert
Frage	Formulierte Fragestellung
Erläuterungen	Ggf. Erläuterungen, wie die Frage bezogen auf den Kontext zu verstehen ist sowie Instruktionen zur Beantwortung.
Antwortmöglichkeiten	Die Antwortmöglichkeiten ergeben sich aus den Elementen des Ordnungskataloges sowie deren Eigenschaften und Ausprägungen.
Zugeordnetes Filterkriterium	Es werden alle Ausprägungen des Ordnungskataloges aufgeführt, auf welche die Antwort als Filter wirkt.
Anwendung auf Konfigurationsfilter	Es werden die Konfigurationsfilter der verschiedenen Ebenen beschrieben, auf welche die Frage Auswirkungen hat.
Filterstufe 1	Filter dieser Ebene werden durch die Ordnungszahl + Lfd. Nr. + Eigenschaftszahl identifiziert
Filterstufe 2	Filter dieser Ebene werden durch die vollständige Element-ID identifiziert

Im Fragenkatalog werden zwei Gruppen von Fragen unterschieden:

- **Obligatorische Fragen**
Die Gruppe der obligatorischen Fragen bildet die wesentlichen Analyseaspekte der Simulationsfragestellung ab. Daher sollten diese Fragen beantwortet werden.
- **Fakultative Fragen**
Die Gruppe der fakultativen Fragen bildet die Domäne ab und kann unbeantwortet bleiben. Zur Verbesserung der Handlungsempfehlung in der Ergebnismenge ist eine Beantwortung soweit möglich zu empfehlen.

Ziel dieser Aufteilung ist es, die Verwendung des Konzeptes auch dann zu ermöglichen, wenn zu der zu analysierenden Simulationsfragestellung (noch) nicht alle Informationen vorliegen.

2.4 Ein Verwendungsbeispiel

In diesem Kapitel ist ein Beispiel für die Schritte 4 bis 6 aus Kapitel 1.1.2 (Die Vorgehensweise in Schritten) beschrieben für die Bearbeitung der Frage A.c.

Schritt 4:

Lesen Sie die Frage im Fragenkatalog:

A.c Frage zur Phase des Lebenszyklus

Kriterien:

- Es gibt nur eine Antwortmöglichkeit
- Die Beantwortung der Frage ist fakultativ

A.c	Welche Phase im Lebenszyklus soll analysiert werden?	
	Nur eine Antwortmöglichkeit!	
Antwort- möglich- keiten	A	Planungsphase (1.2-1-E1-A) (5.1-9-E2-A)
	B	Realisierungsphase (1. 2-1-E1-B) (5.1-9-E2-B)
	C	Betriebsphase (1. 2-1-E1-C) (5.1-9-E2-C)
	Z	Keine Einordnung --
Elemente	Filterstufe 1	--
	Filterstufe 2	(1. 2-1-E1-A:C) (5.1-9-E2-A:C)

Lesen Sie die Beschreibungen zu den beiden betroffenen Elementen 1.2-1 und 5.1-9:

1.2 Prozessaspekte

1.2.1 Gestaltungsperspektive [1] Prozess [2] Phase des Lebenszyklus [1]

Das Element betrachtet die möglichen Phasen im Lebenszyklus eines Objektes, in denen Simulationsstudien zum Einsatz kommen können. Von den in Eigenschaft E1 angegebenen Varianten kann nur eine Ausprägung gewählt werden. Die Auswahl einer Phase im Lebenszyklus ist fakultativ.

Erläuterungen:

¶n der **Betriebsorientierten Anwendung** findet die ereignisdiskrete Simulation bei existierenden Systemen in Betrieb Verwendung. In der Betriebsphase gehören dazu in der thematischen Domäne der Intralogistik insbesondere Elemente der Produktionsplanung und -steuerung wie die Mengen- und Terminplanung, die Prüfung alternativer Einplanungsszenarien und der Verbesserung der Kapazitätsauslastung der Anlagen sowie das kontinuierliche Redesign der Produktionsanlagen (vgl. (Kuhn und Rabe, 1998), S. 1; (Zell, 1992) S. IX und (Kühn, 2006), S. 90).

1.2	1	Phase des Lebenszyklus	
		Das Element betrachtet die Phase, in der sich der Gegenstand der Simulationsfragestellung befindet.	
E1	Varianten		--
	A	Planungsphase	(1.2-1-E1-A) xor (1.2-1-E1-B:C)
	B	Realisierungsphase	(1.2-1-E1-B) xor (1.2-1-E1-A, C)
	C	Betriebsphase	(1.2-1-E1-C) xor (1.2-1-E1-A:B)
	Z	Keine Einordnung	xor 1.2-1

Aus Platzgründen ist nur der Erläuterungstext zur Variante C abgebildet.

Beantworten Sie die Frage z. B. mit Variante C, ordnen Sie damit das in der Simulationsstudie zu betrachtende Untersuchungsobjekt in der Betriebsphase ein.

Notieren Sie die Antwort: C

Schritt 5 entfällt, da es sich nicht um eine Frage aus dem domänenspezifischen Teil des Fragenkatalogs handelt.

Schritt 6:

Lesen Sie in der Verwendungsanweisung in Kapitel 4 die Hinweise zu Ihrer Antwort:

1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	A Planungsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Planungsphase eines Analysegegenstandes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt.
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	B Realisierungsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Realisierungsphase eines Analysegegenstandes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt.
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	C Betriebsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Betriebsphase eines Analysegegenstandes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt.
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	Z Keine Einordnung	A.c	Da in allen Phasen des Lebenszyklus des Analysegegenstandes eine Unterstützung durch multidimensionale Datenmodelle möglich ist, kann auch bei fehlender Einordnung die Verwendung grundsätzlich empfohlen werden.

Bewertung der Antwort C: Simulationsstudien, die sich mit Untersuchungsobjekten in der Betriebsphase beschäftigen, werden durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, da in dieser Phase Daten des zu untersuchenden Objektes i. d. R. im DWH zur Verfügung stehen. Es ist nicht notwendig, Daten anderer, ähnlicher Systeme zu adaptieren.

3 Erweiterung der Kataloge

Alle drei Komponenten sind konzeptionell so aufgebaut, dass sie erweitert werden können. Für die Ergänzung der Komponenten können unterschiedliche Vorgehensweisen notwendig sein.

- **Erweiterung der vorhandenen Inhaltsdomäne Intralogistik um weitere Elemente und Fragen:** Für dieses Szenario stehen in den Kernperspektiven Elemente zur Verfügung, für die das Instanzierungsprinzip der Domänenperspektive angewendet werden muss. Das Prinzip der Ja / Nein Auswahl kann verlassen werden, falls dies als sinnvoll erachtet wird. Die Erstellung eines weiteren Elements mit Konfigurationsmöglichkeit zieht sowohl die Erweiterung des Fragenkatalogs um eine korrespondierende Frage als auch die Erweiterung der Bewertungstabelle in der Verwendungsanweisung nach sich.
- **Erweiterung der Domänenperspektive um eine weitere Inhaltsdomäne:** Für dieses Szenario stehen ebenfalls in den Kernperspektiven Instanzierungselemente zur Verfügung. Im Zuge der Erstellung einer weiteren Inhaltsdomäne kann sich der Bedarf zur Erweiterung der Kernperspektiven ergeben. Für jedes Element müssen sowohl der Fragenkatalog als auch die Bewertungstabelle in der Verwendungsanweisung ergänzt werden.
- **Erweiterung der Kernperspektiven um weitere konfigurierbare Elemente innerhalb der vorhandenen Aspekte:** Für die Erweiterung einer der Kernperspektiven um ein konfigurierbares Element ist zum einen die Erstellung eines Elements unterhalb eines der vorhandenen Aspekte sowie die Ergänzung des Fragenkatalogs um eine entsprechende Frage zur Konfiguration notwendig. Für die Bewertung des konfigurierbaren Elements müssen zum anderen entsprechende Einträge für die definierten Eigenschaften und Ausprägungen in der Bewertungstabelle vorgenommen werden.
- **Erweiterung der Kernperspektiven um weitere beschreibende Elemente innerhalb der vorhandenen Aspekte:** Beschreibende Elemente können hinzugefügt werden, wenn sie das Verständnis des Konzeptes für bestimmte Simulationsfragen unterstützen. Die Erweiterung des Fragenkatalogs ist nicht notwendig, da bei diesem Elementtyp keine Konfiguration vorgesehen ist. Bei Bedarf kann die Bewertungstabelle in der Verwendungsanweisung um erklärende Formulierungen ergänzt werden.

- **Erweiterung der Kernperspektiven um weitere Elemente und neue Aspekte:** Dieses Szenario enthält gegenüber der Erweiterung der Kernperspektiven um weitere Elemente die Ergänzung eines neuen Aspektes. Dieser muss ebenfalls im Perspektivenmodell ergänzt werden.
- **Erweiterung vorhandener Elemente um weitere Eigenschaften:** Innerhalb bestehender Elemente kann sich die Notwendigkeit ergeben, weitere Eigenschaften (sowohl konfigurierbar als auch beschreibend) zu ergänzen. Bei Ergänzung einer konfigurierbaren Eigenschaft ist wiederum der Fragenkatalog zu erweitern sowie in beiden Fällen die Bewertungstabelle innerhalb der Verwendungsanweisung.
- **Erweiterung vorhandener Eigenschaften in Elementen um weitere Ausprägungen:** Dieses Szenario stellt die geringst mögliche Erweiterung des Konzeptes dar. Wenn für bestehende Eigenschaften eines Elements weitere Ausprägungen ergänzt werden sollen, müssen vorhandene Einträge im Ordnungs- und Fragenkatalog erweitert werden. In der Bewertungstabelle der Verwendungsanweisung sind ebenfalls entsprechende Einträge vorzunehmen.

Für alle Erweiterungen gelten grundsätzlich die im syntaktischen Metamodell aufgestellten Regeln, um die Einhaltung der Struktur und Architektur des Konzeptes zu gewährleisten. Neben der Erweiterung des Konzeptes ist insbesondere für die Erstellung der Bewertungshinweise konzeptioneller Aufwand zu betreiben, um die zu treffenden Empfehlungen verwendbar zu gestalten.

4 Die Auswertung der Ergebnisse

4.1 Relevanz der Elemente, Eigenschaften und Ausprägungen

In diesem Kapitel werden für die Elemente des Ordnungskatalogs die Eigenschaften und Ausprägungen bezüglich ihrer Relevanz beschrieben.

Lesen Sie dieses Kapitel erst nach Beantwortung der Fragen. So vermeiden Sie eine Beeinflussung bei der Beantwortung.

Die Bedeutung der Elemente, Hinweise zur Interpretation der Ergebnisse sowie weitere Handlungsempfehlungen für den Umgang mit dem Ergebnis werden gegeben.

Die Spalten der Bewertungstabelle und deren Bedeutung sind nachfolgend beschrieben:

Element	Ordnungszahl und laufende Nr. aus dem Ordnungskatalog
Name Eigenschaft	Name des Elements sowie Eigenschaftszahl und Eigenschaftsbezeichnung
Ausprägung	Ausprägungs-ID und Bezeichnung des Ausprägungselementes
Frage	Fragen-ID
Bewertungshinweis	Hinweise zur ausgewählten Ausprägung und wie ihre Bedeutung für die Fragestellung des Konzeptes zu bewerten ist

Die Bewertung erfolgt unter Berücksichtigung der Fragestellung:

„Ist die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen für die datengetriebenen Prozessschritte der zu bearbeitenden Simulationsfragestellung anwendbar bzw. empfehlenswert und bringt sie für diese Verbesserungspotenziale bzw. Nutzen?“

4.1.1 Bewertung des domänenneutralen Teils des Fragenkatalogs

In diesem Abschnitt der Verwendungsanweisung befindet sich in Tabelle Anhang-D-1 die Bewertung der beiden zentralen Eigenschaften Abstraktion und Aggregation. Für alle Elemente, denen diese Eigenschaften zugeordnet sind, können die Bewertung und der Bewertungshinweis verwendet werden.

In Anhang-D-2 sind alle konfigurierbaren Elemente und deren Eigenschaften und Ausprägungen aus den domänenneutralen Kernperspektiven bewertet.

Tabelle Anhang-D-1: Bewertung von Abstraktion und Aggregation

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
*	E Abstraktion	A Mikroebene	A.k	Die räumliche Abstraktion auf der Mikroebene beinhaltet nur einen geringen Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Mikroebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen. Der Erhebungs- und Aufbereitungsaufwand ist aufgrund des geringen Abstraktionsgrades zu prüfen.
*	E Abstraktion	B Mesoebene	A.k	Die räumliche Abstraktion auf der Mesoebene beinhaltet einen mittleren Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Mesoebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen.
*	E Abstraktion	C Makroebene	A.k	Die räumliche Abstraktion auf der Makroebene beinhaltet einen hohen Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Makroebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen der Makroebene ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.

*	E Aggregation	A Kurzfristig	A.1	Die zeitliche Aggregation auf kurzfristige Zeiteinheiten beinhaltet nur einen geringen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in kurzfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen. Der Erhebung und Aufbereitungsaufwand ist aufgrund der geringen Aggregationsebene zu prüfen.
*	E Aggregation	B Mittelfristig	A.1	Die zeitliche Aggregation auf mittelfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen mittleren Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in mittelfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen.
*	E Aggregation	C Langfristig	A.1	Die zeitliche Aggregation auf langfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen hohen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in langfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen mit langfristigem Zeithorizont ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.

Tabelle Anhang-D-2: Domänenneutrale Bewertung

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
1.1-1	Modellsicht E1 Varianten	A Beschreibung, Ermittlung	A.a	Für die Erstellung eines Modells mit dem Ziel der Beschreibung eines Analysegegenstandes oder der Ermittlung von Kenntnissen diesem ist die Verwendung von Simulationsstudien nicht notwendig. Die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle wird grundsätzlich unterstützt. Diese Ausprägung beinhaltet keine besonderen Anforderungen an die Art der zu verwendenden Daten im Sinne multidimensionaler Datenmodelle.
1.1-1	Modellsicht E1 Varianten	B Erklärung	A.a	Für die Erstellung eines Modells mit dem Ziel der Erklärung eines Analysegegenstandes ist die Verwendung von Simulationsstudien nicht notwendig. Die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle wird grundsätzlich unterstützt. Diese Ausprägung beinhaltet keine besonderen Anforderungen an die Art der zu verwendenden Daten im Sinne multidimensionaler Datenmodelle..
1.1-1	Modellsicht E1 Varianten	C Entscheidung, Optimierung	A.a	Eine Simulationsstudie mit dem Ziel der Entscheidungsfindung bzw. Optimierung wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht unterstützt, da die verwendeten Instrumente Simulation und Data Warehousing nicht zur Findung optimaler Lösungen geeignet sind. Wenn diese Antwort ausgewählt wurde, ist sowohl das Instrument der Simulationsstudie als auch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle als deren Input zu überdenken. Die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle kann nicht empfohlen werden.
1.1-1	Modellsicht E1 Varianten	D Prognose, Simulation	A.a	Eine Simulationsstudie, die als Modellsichtvariante das Ziel der Prognose bzw. Simulation eines Analysegegenstandes verfolgt, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Analysen im Sinne einer Prognose und Simulation benötigen häufig Daten in unterschiedlichen Granularitäten. Diese ist durch die Verwendung von Daten aus einem DWH gegeben.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
1.1-2	Modellart E1 Varianten	A Statisches Modell	A.b	Eine Simulationsstudie wird i. d. R. nicht als statisches Modell umgesetzt. Wenn diese Antwort ausgewählt wurde, ist sowohl das Instrument der Simulationsstudie als auch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle als Input zu überdenken. Die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle kann nur bedingt empfohlen werden.
1.1-2	Modellart E1 Varianten	B Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	A.b	Eine Simulationsstudie, die als zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell mit deterministischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Diese Ausprägung beinhaltet jedoch keine besonderen Anforderungen an die Art der zu verwendenden Daten.
1.1-2	Modellart E1 Varianten	C Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (deterministisch)	A.b	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit deterministischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, da entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind.
1.1-2	Modellart E1 Varianten	D Zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	A.b	Eine Simulationsstudie, die als zeitorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Der stochastische Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung reduziert werden, da die enthaltene Datenvarianz die Verwendung stochastischer Elemente minimieren kann.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
1.1-2	Modellart E1 Varianten	E Ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell (stochastisch)	A.b	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, da entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind. Zusätzlich können die stochastischen Elemente durch die enthaltene Datenvarianz reduziert werden.
1.1-2	Modellart E1 Varianten	F Keine der Varianten	A.b	Das Konzept wurde nur für die in den Modellarten der in A-E dargestellten Varianten betrachtet. Für weitere Modellarten wurde die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht betrachtet, daher kann die Verwendung nicht empfohlen werden.
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	A Planungsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Planungsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der Grad der Unterstützung hängt von der Adaptierbarkeit der Daten im DWH ab.
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	B Realisierungsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Realisierungsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der Grad der Unterstützung hängt von der Adaptierbarkeit der Daten bzw. von der bereits vorhandenen Varianz und Granularität im DWH ab.
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	C Betriebsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Betriebsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. In der Betriebsphase sind in einem domänenspezifisch orientierten Data Warehouse Daten in entsprechender Varianz und Granularität zu erwarten.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
1.2-1	Phase des Lebenszyklus E1 Varianten	Z Keine Einordnung	A.c	Da in allen Phasen des Lebenszyklus des Analysegegenstandes eine Unterstützung durch multidimensionale Datenmodelle möglich ist, kann auch bei fehlender Einordnung die Verwendung grundsätzlich empfohlen werden. Der Grad der Unterstützung hängt von der Adaptierbarkeit der Daten bzw. der vorhandenen Granularität und Varianz im DWH ab.
2.1-1	Technische Daten E1 Varianten	A Strukturdaten	A.m	Strukturdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht prädestiniert. Topologiedaten, Layoutinformationen usw. sind für die Abstraktion und Aggregation nur in geringem Umfang geeignet. Für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle bei Strukturdaten ist die Verfügbarkeit als neutral anzusehen.
2.1-1	Technische Daten E1 Varianten	B Fertigungsdaten	A.m	Fertigungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden.
2.1-1	Technische Daten E1 Varianten	C Materialflussdaten	A.m	Materialflussdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden.
2.1-1	Technische Daten E1 Varianten	D Stördaten	A.m	Stördaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden.
2.1-1	Technische Daten E1 Varianten	E Informationsflussdaten	A.m	Informationsflussdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
2.1-1	Technische Daten E1 Varianten	F Keine der Datenarten A-E	A.m	Wenn keine der aufgeführten Datengruppen in einem der Quellsysteme zur Verfügung steht, ist die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle aufgrund der mangelhaften Datenbasis nicht zu empfehlen.
2.1-2	Organisatorische Daten E1 Varianten	A Arbeitszeitorganisationsdaten	A.n	Arbeitszeitorganisationsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.
2.1-2	Organisatorische Daten E1 Varianten	B Ressourcenzuordnungsdaten	A.n	Ressourcenzuordnungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.
2.1-2	Organisatorische Daten E1 Varianten	C Ablauforganisationsdaten	A.n	Ablauforganisationsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.
2.1-2	Organisatorische Daten E1 Varianten	D Keine der Datenarten A-C	A.n	Wenn keine der aufgeführten Datengruppen in einem der Quellsysteme zur Verfügung steht, ist die Erhebung entsprechender Daten durch manuelle Verfahren zu prüfen. Wenn Daten zu organisatorischen Strukturen benötigt werden und deren Erhebung, ist Verwendung multidimensionaler Datenmodelle aufgrund der fehlenden Datenbasis nicht zu empfehlen.
2.1-3	Systemlastdaten E1 Varianten	A Auftragsdaten	A.o	Auftragsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden.
2.1-3	Systemlastdaten E1 Varianten	B Produktdaten	A.o	Produktdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
2.1-3	Systemlastdaten E1 Varianten	C Keine der Datenarten A-B	A.o	Wenn keine der aufgeführten Datengruppen in einem der Quellsysteme zur Verfügung steht, ist die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle aufgrund der mangelhaften Datenbasis nicht zu empfehlen.
2.2-1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus E1 Varianten	A Ereignisorientierte Sicht	A.d	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind.
2.2-1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus E1 Varianten	B Prozessorientierte Sicht	A.d	Eine Simulationsstudie, die als prozessorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der prozessorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Prozesse in den Daten abgebildet sind.
2.2-1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus E1 Varianten	C Transaktionsorientierte Sicht	A.d	Eine Simulationsstudie, die als transaktionsorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der transaktionsorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Transaktionen in den Daten abgebildet sind.
2.2-1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus E1 Varianten	D Aktivitätsorientierte Sicht	A.d	Eine Simulationsstudie, die als aktivitätsorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der aktionsorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Aktionen in den Daten abgebildet sind.
2.2-1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus E1 Varianten	E Engagement strategy	A.d	Für Simulationsstudien, die als Engagement strategy realisiert werden, wurde die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht betrachtet, daher kann die Verwendung nicht empfohlen werden.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
2.2-1	Art des Zeitfortschrittsmechanismus E1 Varianten	F Fixe Zeitinkremente	A.d	Für Simulationsstudien, deren Zeitfortschrittsmechanismus unter Verwendung fixer Zeitinkremente umgesetzt wurde, sollte der Aufwand zur Verwendung multidimensionaler Datenmodelle kritisch geprüft werden. Daten im DWH sind mit einer Zeitinformation gekennzeichnet, sodass die Verwendung grundsätzlich möglich ist.
2.2-2	Zeithorizont des Simulationsmodells E1 Varianten	A unbegrenzter Horizont	A.e	Eine Simulationsstudie mit unbegrenztem Horizont wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, wenn die Definition eines Terminierungskriteriums Bestandteil der Inputdaten ist.
2.2-2	Zeithorizont des Simulationsmodells E1 Varianten	B Begrenzter Horizont, terminierend	A.e	Eine Simulationsstudie mit begrenztem Horizont und eindeutiger Terminierung wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, da Daten im DWH mit einer Zeitinformation gekennzeichnet sind.
2.2-2	Zeithorizont des Simulationsmodells E1 Varianten	C Begrenzter Horizont, nicht terminierend	A.e	Eine Simulationsstudie mit begrenztem Horizont und nicht unmittelbar terminierendem Simulationslaufverhalten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, wenn die Definition eines Terminierungskriteriums Bestandteil der Inputdaten ist.
2.2-2	Zeithorizont des Simulationsmodells E1 Varianten	Z Keine Einordnung	A.e	Da unabhängig vom Begrenzungshorizont und Terminierungsmodus eine Unterstützung durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle möglich ist, kann auch bei fehlender Zuordnung die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle empfohlen werden.
2.2-3	Statistisches Verhalten der Outputreihe E1 Varianten	A Stationär	A.f	Bei einer Simulationsstudie mit stationärem Verhalten der Outputreihe kann aufgrund der tendenziellen Zeitunabhängigkeit einzelner Parameterwerte der Nutzen der Aggregationsmechanismen nicht in vollem Umfang gewährleistet werden. Grundsätzlich kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle empfohlen werden.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
2.2-3	Statistisches Verhalten der Outputreihe E1 Varianten	B Nicht Stationär	A.f	Bei einer Simulationsstudie mit nicht stationärem Verhalten der Outputreihe kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden. Übergangsprozesse, strukturelle Eigenschaften der Domäne sowie zeitliche Informationen sind in DWH-Daten i. d. R. abhängig vom Domänenkontext abgebildet.
2.2-3	Statistisches Verhalten der Outputreihe E1 Varianten	Z Keine Einordnung	A.f	Wenn keine Einordnung des statistischen Verhaltens der Outputreihe möglich bzw. keine Einordnung erfolgt ist, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle grundsätzlich empfohlen werden.
2.3-1	Datenquellen E1 Varianten	A Relationale Datenbank	A.g	Bei der Verfügbarkeit von Daten in relationalen Datenbanken ist eine Aufbereitung gemäß den Regeln multidimensionaler Datenmodelle möglich, die Verwendung kann grundsätzlich empfohlen werden.
2.3-1	Datenquellen E1 Varianten	B Data Warehouse	A.g	Daten in einem Data Warehouse sind nach den Regeln multidimensionaler Datenmodelle aufbereitet, daher ist bei der Verfügbarkeit eines Data Warehouses die Verwendung dieser Daten in besonderem Maße zu empfehlen.
2.3-1	Datenquellen E1 Varianten	C Dateisystem	A.g	Die Aufbereitung von Daten, die in einem Dateisystem abgelegt sind, nach den Regeln multidimensionaler Datenmodelle ist mit hohem Aufwand verbunden. Die Verwendung ist nur eingeschränkt zu empfehlen, der Aufwand ist zu prüfen.
2.3-1	Datenquellen E1 Varianten	D Unstrukturiertes System bzw. keine der Datenquellen A-C	A.g	Wenn als Input nur Daten in unstrukturierter Form vorliegen, kann die Aufbereitung nach den Regeln multidimensionaler Datenmodelle sehr komplex und aufwendig sein. Die Verwendung von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen kann nicht empfohlen werden.
2.3-2	Schnittstellen E1 Varianten	A Standardisierte IT-technische Schnittstelle	A.h	Die Übertragung von Daten basierend auf standardisierten IT-technischen Schnittstellen unterstützt den Transfer von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen, die Verwendung kann empfohlen werden.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
2.3-2	Schnittstellen E1 Varianten	B Standardisierte Simulations- technische Schnittstelle	A.h	Die Übertragung von Daten basierend auf standardisierten Simulations- technischen Schnittstellen unterstützt den Transfer von Daten aus mul- tidimensionalen Datenmodellen, die Verwendung kann empfohlen wer- den.
2.3-2	Schnittstellen E1 Varianten	C Proprietäre Simulationswerk- zeug-Schnittstelle	A.h	Für die Übertragung von Daten basierend auf proprietären Simulations- werkzeug-Schnittstellen kann nur eine grundsätzliche Empfehlung abge- geben werden, da diese Schnittstellen im Rahmen dieses Konzeptes nicht detailliert betrachtet wurden. Im Einzelfall kann die Unterstützung des Transfers von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen sehr gut möglich sein, die Verwendung kann grundsätzlich empfohlen werden.
2.3-2	Schnittstellen E1 Varianten	D Andere als die Schnittstellen A-C	A.h	Für die Übertragung von Daten basierend auf einer nicht näher spezifi- zierten Schnittstelle kann nur eine grundsätzliche Empfehlung abgegeben werden. Im Einzelfall kann die Unterstützung des Transfers von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen sehr gut möglich sein, die Ver- wendung kann grundsätzlich empfohlen werden.
2.3-2	Schnittstellen E1 Varianten	Z Keine Einordnung	A.h	Wenn keine Einordnung zur Verfügbarkeit von Datenschnittstellen vor- genommen wurde, kann keine Empfehlung vorgenommen werden.
2.4-1	Simulations- methode E1 Varianten	A Finite Elemente Methode (FEM)	A.i	Für Simulationsstudien, die unter Verwendung der Finiten Elemente Me- thode realisiert werden, wurde die Verwendung multidimensionaler Da- tenmodelle nicht betrachtet, daher kann die Verwendung nicht empfoh- len werden.
2.4-1	Simulations- methode E1 Varianten	B Agentenbasierte Simulation	A.i	Für Simulationsstudien, die unter Verwendung agentenbasierter Simula- tion realisiert werden, wurde die Verwendung multidimensionaler Da- tenmodelle nicht betrachtet, daher kann die Verwendung nicht empfoh- len werden.
2.4-1	Simulations- methode E1 Varianten	C Monte-Carlo-Simulation Auch Monte-Carlo-Methoden	A.i	Für Simulationsstudien, die unter Verwendung von Monte-Carlo- Methoden realisiert werden, wurde die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht betrachtet, daher kann die Verwendung nicht emp- fohlen werden.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
2.4-1	Simulationsmethode E1 Varianten	D Deterministische Simulation	A.i	Bei einer Simulationsstudie, die unter Verwendung der deterministischen Simulationsmethode realisiert wird, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle empfohlen werden.
2.4-1	Simulationsmethode E1 Varianten	E Diskrete Simulation	A.i	Bei einer Simulationsstudie, die unter Verwendung der diskreten Simulationsmethode realisiert wird, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden. Die Abbildung diskreter Informationen ist in Daten aus einem DWH sehr gut nachzuvollziehen, da alle Informationen an Zeitpunkten orientiert gespeichert sind.
2.4-2	Entscheidungsregeln E1 Varianten	A Regeln zur Allokation von Instrumenten	A.j	Das Element beschreibt verschiedene Varianten von Entscheidungsregeln. Solche Regeln stehen häufig nicht als Inputdaten zur Verfügung und finden in DWH-Systemen eher selten Verwendung. Als alternative Quelle für Entscheidungsregeln kann ein vorhandenes Logistiksystem oder ERP-System dienen. Die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle spielt nur eine geringe Rolle für diese Daten. Es handelt sich hierbei um Daten die auch bei Verwendung von Inputdaten aus DWH-Systemen weiterhin aus anderen Datenquellen extrahiert werden müssen.
2.4-2	Entscheidungsregeln E1 Varianten	B Reihenfolgeregeln (FIFO, LIFO, Bearbeitung)	A.j	
2.4-2	Entscheidungsregeln E1 Varianten	C Prioritätsregeln (Sequenzialisierung paralleler Ereignisse)	A.j	
2.4-2	Entscheidungsregeln E1 Varianten	D Vorfahrtsstrategien	A.j	
2.4-2	Entscheidungsregeln E1 Varianten	E Routingstrategien	A.j	
2.4-2	Entscheidungsregeln E1 Varianten	Z Keine Einordnung	A.j	

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
4.1-1	Kenngrößenarten E1 Verdichtungsgrad	A Absolut	A.p	Wenn als Input der Simulationsstudie absolute Kenngrößen zum Einsatz kommen, können diese sowohl aus multidimensionalen Datenmodellen als auch aus anderen Datenquellen erhoben werden. Der Nutzen ist nicht auf die Verwendung entsprechend aufbereiteter Daten mit mehreren Dimensionen beschränkt. Die Verwendung von multidimensionalen Datenmodellen kann empfohlen werden. Bei Auswahl dieser Ausprägung ist die Betrachtung der benötigten Dimensionen im konkreten Fall relevant für die Einschätzung, ob Daten aus DWH-Systemen verwendet werden sollten. Die Verwendung ist grundsätzlich zu empfehlen.
4.1-1	Kenngrößenarten E1 Verdichtungsgrad	B Relativ	A.p	Wenn als Input der Simulationsstudie relative Kenngrößen bzw. Verhältniszahlen zum Einsatz kommen, ist die Verwendung entsprechend aufbereiteter Kennzahlen in multidimensionalen Datenmodellen besonders zu prüfen und deren Verwendung zu empfehlen. Relative Kennzahlen beinhalten aufgrund ihrer Aggregation und Abstraktion besondere Anforderungen, die durch Daten aus einem DWH erfüllt werden können.
4.1-1	Kenngrößenarten E1 Verdichtungsgrad	Z Keine Einordnung	A.p	Eine fehlende Einordnung für den Verdichtungsgrad der Kenngrößen ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden.
4.1-1	Kenngrößenarten E2 Bezugsrahmen	A Lokal	A.q	Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bezugsrahmen die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle emp-
4.1-1	Kenngrößenarten E2 Bezugsrahmen	B Global	A.q	

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
4.1-1	Kenngrößenarten E2 Bezugsrahmen	C Zuordnung	A.q	fohlen werden. Die Art des Bezugsrahmens dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft.
4.1-1	Kenngrößenarten E2 Bezugsrahmen	D Ablauf	A.q	
4.1-1	Kenngrößenarten E2 Bezugsrahmen	Z Keine Einordnung	A.q	Eine fehlende Einordnung für dieses Element ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden.
4.1-1	Kenngrößenarten E3 Bildungsrichtung	A Top Down	A.r	Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bildungsrichtung die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle empfohlen werden. Die Art der Bildungsrichtung dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft.
4.1-1	Kenngrößenarten E3 Bildungsrichtung	B Bottom Up	A.r	
4.1-1	Kenngrößenarten E3 Bildungsrichtung	Z Keine Einordnung	A.r	Eine fehlende Einordnung für die Bildungsrichtung der Kenngrößen ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden.

4.1.2 Bewertung des domänenspezifischen Teils des Fragenkatalogs

In diesem Abschnitt der Verwendungsanweisung befindet sich in Tabelle Anhang-D-3 die Bewertung der domänenspezifischen Elemente sowie deren Eigenschaften und Ausprägungen.

Tabelle Anhang-D-3: Domänenspezifische Bewertung

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
5.1-3	Job, Auftrag E1 Objektverwendung	A Ja	B.a	Die Betrachtung von Auftragsdaten bzw. Jobdaten wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Lieferservice, der absatzorientierten Liefertreue sowie der Lieferleistung basieren auf Auftragsdaten.
5.1-3	Job, Auftrag E1 Objektverwendung	B Nein	B.a	Wenn die Betrachtung der Objektart nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.
5.1-4	Werkstück E1 Objektverwendung	A Ja	B.b	Die Betrachtung von Werkstücken wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Die Betrachtung von Werkstücken im Sinne von Artikeln, Artikelgruppen, Produktgruppen usw. ist in zahlreichen logistischen Kennzahlen aus den Bereichen der Bestandsanalyse, des Lagerumschlags, des Lieferservice sowie der Lieferleistung enthalten.
5.1-4	Werkstück E1 Objektverwendung	B Nein	B.b	Wenn die Betrachtung der Objektart nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
5.1-5	Ladehilfsmittel E1 Objektverwendung	A Ja	B.c	Die Betrachtung von Ladehilfsmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen der Lageranalyse, der Transportleistungskontrolle, des Lagerumschlags sowie der Bestandsanalyse enthalten häufig Informationen zu Ladehilfsmitteln, insbesondere, wenn der intralogistische Prozess auf spezifische Anforderungen der Ladehilfsmittel ausgerichtet werden muss.
5.1-5	Ladehilfsmittel E1 Objektverwendung	B Nein	B.c	Wenn die Betrachtung der Objektart nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.
5.1-6	Transportmittel E1 Objektverwendung	A Ja	B.d	Die Betrachtung von Transportmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Transportqualität, Transportleistung sowie der Wegeoptimierung beinhalten häufig Informationen zu Transportmitteln.
5.1-6	Transportmittel E1 Objektverwendung	B Nein	B.d	Wenn die Betrachtung der Objektart nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.
5.1-7	Leistungsempfänger E1 Objektverwendung	A Ja	B.e	Die Betrachtung von Leistungsempfängern wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, unterstützt. In der Intralogistik sind als Leistungsempfänger häufig Kunden im Bereich der Absatzorientierten Kennzahlen enthalten. Dazu gehören Leistungskennzahlen im Lieferservice, in der Liefertreue sowie in der ABC-Analyse zu Kundenbeziehungen.
5.1-7	Leistungsempfänger E1 Objektverwendung	B Nein	B.e	Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungsempfänger nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
5.1-8	Leistungserbringer E1 Objektverwendung	A Ja	B.f	Die Betrachtung von Leistungserbringern wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, unterstützt. In intralogistischen Kennzahlen werden als Leistungserbringer häufig Mitarbeiter, ggf. gruppiert zu Gruppen oder differenziert nach Kenntnissen und Fähigkeiten betrachtet. Kennzahlen aus den Bereichen des Lieferservice, der Kommissionierung und Verpackung sowie der Produktion enthalten häufig Informationen zu diesen Leistungserbringern.
5.1-8	Leistungserbringer E1 Objektverwendung	B Nein	B.f	Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungserbringer nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.
5.1-9	Prozess E1 Varianten	A Fertigung	B.g	Die Betrachtung von Fertigungsprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, sehr gut unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Bearbeitungszeiten und deren Überschreitung, Mengenoutput und der Mitarbeiterereinsatz betrachtet. Die detaillierte Analyse von Fertigungsschritten kann durch ein Data Warehouse der Intralogistik häufig nicht gewährleistet werden. Dazu werden ergänzende Informationen z. B. aus einem System zur Betriebsdatenerfassung benötigt.
5.1-9	Prozess E1 Varianten	B Montage	B.g	Die Betrachtung von Montageprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, sehr gut unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Montagezeiten und deren Überschreitung sowie der Mitarbeiterereinsatz innerhalb der Montage analysiert.
5.1-9	Prozess E1 Varianten	C Lagerung	B.g	Die Betrachtung von Lagerprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Lagerzeiten, Lagerauslastung, Lagerbewegungen, ABC- und XYZ-Analysen betrachtet.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
5.1-9	Prozess E1 Varianten	D Transport	B.g	Die Betrachtung von Transportprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Transportwegauslastung, Transportdauer, Auslastung von Transportmitteln betrachtet.
5.1-9	Prozess E1 Varianten	E Qualitätssicherung (Kontrolle)	B.g	Die Betrachtung von Qualitätsprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, sehr gut unterstützt. Im intralogistischen DWH betrachtet werden z. B. Qualitätsstatuswechsel, gesperrte Bestände, Sperrzeiten. Die detaillierte Analyse von Qualitätsaspekten kann durch ein Data Warehouse der Intralogistik häufig nicht gewährleistet werden. Dazu werden ergänzende Informationen z. B. aus einem System zur Qualitätssicherung mit erweiterten Möglichkeiten zur Betrachtung von qualitativen Messungen benötigt.
5.1-9	Prozess E1 Varianten	F Beschaffung	B.g	Die Betrachtung von Beschaffungsprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, sehr gut unterstützt. Im intralogistischen DWH betrachtet werden z. B. Wareneingangsquoten, Lieferverzögerungen, Mindermengenlieferungen.
5.1-9	Prozess E2 Phase des Lebenszyklus	A Planungsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Planungsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der Grad der Unterstützung ist abhängig von der Adaptierbarkeit der Daten im intralogistischen DWH.
5.1-9	Prozess E2 Phase des Lebenszyklus	B Realisierungsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Realisierungsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der Grad der Unterstützung ist abhängig von der Adaptierbarkeit der Daten im intralogistischen DWH.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Bewertungshinweis Bietet die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle Unterstützungspotenzial für die datengetriebenen Prozessschritte der Simulationsstudie?
5.1-9	Prozess E2 Phase des Lebenszyklus	C Betriebsphase	A.c	Eine Simulationsstudie in der Betriebsphase eines Untersuchungsobjektes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. In der Betriebsphase sind in einem intralogistischen DWH Daten in entsprechender Varianz und Granularität zu erwarten.
5.1-9	Prozess E2 Phase des Lebenszyklus	Z Keine Einordnung	A.c	Da in allen Phasen des Lebenszyklus des Untersuchungsobjektes eine Unterstützung durch multidimensionale Datenmodelle möglich ist, kann auch bei fehlender Einordnung die Verwendung grundsätzlich empfohlen werden.
5.1-10	Performance Measures E1 Kennzahlenarten	A Absolut	A.p	Eine Simulationsstudie in der absolute bzw. relative Performance Kennwerte ermittelt werden sollen, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Da dieses Element die Ergebnisse der Simulationsstudie zum Gegenstand hat, ist es von einer Empfehlung bezüglich des Dateninputs unabhängig.
5.1-10	Performance Measures E1 Kennzahlenarten	B Relativ	A.p	
5.1-10	Performance Measures E1 Kennzahlenarten	Z Keine Einordnung	A.p	Eine fehlende Einordnung beim Verdichtungsgrad kann toleriert werden.

Beispiele und Hinweise auf Kennzahlen wurden entnommen aus:

(Hrdliczka et al., 2007); (Walter, 2010); (Walter, 2011); (Liebl, 1995); (Bichler, 2007); (Külpmann, 2006).

4.1.3 Elemente des Ordnungskatalogs ohne Filterkriterium

In diesem Abschnitt der Verwendungsanweisung befinden sich Hinweise für Elemente aus den Kernperspektiven des Ordnungskatalogs, denen kein Filterkriterium zugeordnet ist. Diese dienen als Beschreibung und Anleitung für den Transfer möglicher Inputdaten aus dem Data Warehouse oder aus anderen Quellsystemen. Nicht enthalten sind Eigenschaften, die als reine Beispiele im Ordnungskatalog enthalten sind. Sie dienen dort bereits als entsprechende Hinweise. Der Hinweis gibt in dieser Tabelle Informationen dazu, in welcher Form im Data Warehouse oder ggf. in operativen Systemen das jeweilige Element (teilweise mit Beispielen aus der Inhaltsdomäne Intralogistik) zu finden ist.

Tabelle Anhang-D-4: Bewertung der Elemente ohne Filterkriterium

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
1.2-2	Einordnung in der Wertschöpfungskette E1 Primäre Varianten	A Eingangs- und Ausgangslogistik	--	Daten für die Prozesse der Eingangs- und Ausgangslogistik sind in Lagerverwaltungssystemen und auf diesen basierenden Logistics Intelligence Kennzahlensystemen zu finden.
1.2-2	Einordnung in der Wertschöpfungskette E1 Primäre Varianten	B Produktion	--	Daten zum Produktionsprozess sind im ERP-System und darauf basierenden Kennzahlensystemen zu finden.
1.2-2	Einordnung in der Wertschöpfungskette E1 Primäre Varianten	C Materialwirtschaft	--	Daten zur Materialwirtschaft sind im ERP-System und im Lagerverwaltungssystem bzw. darauf basierenden Kennzahlensystemen zu finden.
1.2-2	Einordnung in der Wertschöpfungskette E1 Primäre Varianten	D Absatzwirtschaft	--	Daten zur Absatzwirtschaft sind beispielsweise im ERP-System zu finden. Der Prozess wurde im Rahmen der Konzepterstellung nicht weiter betrachtet. Daher werden keine weiteren Hinweise gegeben.
1.2-2	Einordnung in der Wertschöpfungskette E1 Primäre Varianten	E Kundenservice	--	Daten zum Kundenservice sind beispielsweise im ERP-System zu finden. Der Prozess wurde im Rahmen der Konzepterstellung nicht weiter betrachtet. Daher werden keine weiteren Hinweise gegeben.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
1.2-2	Einordnung in der Wertschöpfungskette E2 Sekundäre Varianten	A Unternehmensführung B Personalwirtschaft C Informationswirtschaft D Rechnungswesen	--	Prozesse der Wertschöpfungskette, die in diesem Konzept in den sekundären Varianten eingeordnet sind, gehören nur in Ausnahmen zu den Fragestellungen, die mit der diskreten Event-Simulation analysiert werden. Daher werden keine weiteren Hinweise gegeben.
1.2-3	Planungsebene E1 Varianten	A strategisch B taktisch C operativ	--	Die Planungsebenen strategisch, taktisch und operativ ermöglichen eine Einordnung der Fragestellung in eine der betriebswirtschaftlichen Planungsebenen. Im Ordnungskatalog ist es als beschreibendes Element enthalten, da die Einordnung anhand der Aggregation erfolgt.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E1 Exogene Varianten	A Entstehung eines Objektes im System	--	Für Objekte im Simulationsmodell werden z. B. die Zeitpunkte, mit denen sie ins Simulationssystem eintreten, benötigt. Im DWH kann es sich dabei um Anlage- oder Bearbeitungszeitpunkte an Daten handeln.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E1 Exogene Varianten	B Weggang eines Objektes aus dem System	--	Für Objekte im Simulationsmodell werden z. B. die Zeitpunkte, mit denen sie das Simulationssystem verlassen, benötigt. Im DWH kann es sich dabei um Zeitpunkte der Fertigstellung der Produktion, Lieferzeitpunkte oder Einlagerzeitpunkte handeln.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E2 Endogene Varianten	A Beginn einer Wartezeit aufgrund eines belegten Instruments	--	Wartezeiten werden in der Intralogistik häufig durch die Lagerung von Werkstücken, Ladehilfsmitteln oder Transportmitteln in Pufferlagern usw. abgebildet. Der Einlagerzeitpunkt entspricht dann dem Zeitpunkt des Beginns der Wartezeit.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E2 Endogene Varianten	B Ende einer Wartezeit aufgrund eines belegten Instruments	--	Wartezeiten werden in der Intralogistik häufig durch die Lagerung von Werkstücken, Ladehilfsmitteln oder Transportmitteln in Pufferlagern usw. abgebildet. Der Auslagerzeitpunkt entspricht dann dem Zeitpunkt des Beginns der Wartezeit.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E2 Endogene Varianten	C Instrument erhält „Status frei“	--	

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E2 Endogene Varianten	D Instrument erhält „Status belegt“	--	In der Intralogistik kann es sich dabei beispielsweise um belegte bzw. nicht belegte Maschinen, Transportmittel oder Ladehilfsmittel handeln.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E3 Aktivitätsvarianten	A Passive Phase	--	--
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E3 Aktivitätsvarianten	B Aktive Phase	--	--
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E3 Aktivitätsvarianten	C Zeitkonsumierende Aktivität	--	Zeitkonsumierende Aktivitäten sind als Werte über Prozessdauer oder Laufzeit im DWH abgebildet. Aggregiert sind diese häufig als Durchschnitt über die Zeitdimension zu finden. Dabei kann es sich in der Intralogistik beispielsweise um Werte zur Produktionsdauer, Lagerdauer, Kommissionierdauer oder Transportdauer handeln.
3.1-1	Auslöser der Zustandsänderung E3 Aktivitätsvarianten	D Zeitverzugslose Aktivität	--	Zeitverzugslose Aktivitäten bilden keine Prozessdauern ab.
3.2-1	Bewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	A Stetige Transportmittel	--	Beispiele aus der Intralogistik: Elektrohängebahn, Fahrerloses Transportsystem
3.2-1	Bewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	A Unstetige Transportmittel	--	Beispiele aus der Intralogistik: Gabelstapler
3.2-1	Bewegliches permanentes Objekt E2 Bewegungsinitiierung	A Pushprinzip	--	--

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
3.2-1	Bewegliches permanentes Objekt E2 Bewegungsinitiierung	B Pullprinzip	--	--
3.2-2	Unbewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	A Einzelstation, Bedienstation	--	Einzelstationen bzw. Bedienstationen werden in intralogistischen Data-Warehouse-Systemen im Bereich der Produktion, der Kommissionierung und Verpackung sowie der Montage abgebildet.
3.2-2	Unbewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	B Pufferplatz	--	Pufferplätze dienen in der Intralogistik dazu, Lagerflächen für Wartezeiten innerhalb des Prozessflusses zu überbrücken. In der räumlichen Struktur der Abstraktionsdimension muss geprüft werden, ob Pufferplätze durch bestimmte Eigenschaften identifiziert werden können.
3.2-2	Unbewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	C Speicher	--	Speicher stellen eine simulationsspezifische Variante eines Lagerortes dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
3.2-2	Unbewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	D Leitstelle	--	Leitstellen stellen eine simulationsspezifische Variante eines Lagerortes dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
3.2-2	Unbewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	E Knoten	--	Innerhalb des intralogistischen DWH kommen Knoten und Strecken in Form von abgebildeten Transportwegen zwischen den Lagerorten vor. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
3.2-2	Unbewegliches permanentes Objekt E1 Varianten	F Strecke	--	
3.2-3	Bewegliches temporäres Objekt E1 Varianten	A Bearbeitungsgegenstand	--	

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
3.2-3	Bewegliches temporäres Objekt E1 Varianten	B Transportgegenstand	--	Bearbeitungs- und Transportgegenstände entsprechen häufig den bereits beschriebenen Werkstücken und Ladehilfsmitteln.
3.2-3	Bewegliches temporäres Objekt E2 Bewegungsinitiierung	A Pushprinzip	--	--
3.2-3	Bewegliches temporäres Objekt E2 Bewegungsinitiierung	B Pullprinzip	--	--
3.2-4	Ereignishandler E1 Varianten	A Quelle	--	Für Objekte im Simulationsmodell werden die Orte, an denen sie ins Simulationssystem eintreten, benötigt. Im intralogistischen DWH kann es sich dabei um Startpunkte von Transportwegen, bestimmte Lagerorte wie Wareneingang oder Produktionslagerorte (bei Fertigkomponenten) handeln.
3.2-4	Ereignishandler E1 Varianten	B Senke	--	Für Objekte im Simulationsmodell werden die Orte, an denen sie das Simulationssystem verlassen, benötigt. Im intralogistischen DWH kann es sich dabei um Endpunkte von Transportwegen, bestimmte Lagerorte wie Warenausgang oder Produktionslagerorte (bei Verbrauchskomponenten) handeln.
3.2-4	Ereignishandler E1 Varianten	C Warteschlange	--	Warteschlangen stellen eine simulationsspezifische Variante eines Pufferplatzes dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
3.2-4	Ereignishandler E1 Varianten	D Ereignisverwalter	--	Ereignisverwalter stellen simulationsspezifische Variante dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
3.2-5	Objekt ohne Masse E1 Varianten	A Daten B Transaktionen	--	Objekte ohne Masse stellen in Form von Daten und Transaktionen im operativen System bzw. im DWH aufbereitet beispielsweise Auftragsdaten, Ressourceninformationen oder Planungswerte dar. Sie repräsentieren Informationen, die in der realen Welt nicht existieren. Transaktionen können in Datenbanksystemen mehrere Einzeldaten zusammenfassen.
3.3-1	Simulationsroutinen E1 In Prozess Varianten	A Ereignisroutine B Zeitführungsroutine C Steuerprogramm D Prozessroutinen (Prozessorientierte Sicht)	--	Simulationsroutinen stellen ein simulationsspezifisches Objekt dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
3.3-1	Simulationsroutinen E2 Start- und Endvarianten	A Initialisierungsroutine B Ergebnisroutinen	--	
3.3-2	Variablenarten E1 Kontinuität / Reproduzierungsgrad	A Stochastische Variablen	--	Stochastische Variablen dienen dazu, unbekannte Prozesse bzw. mangelnde Inputdaten zu handhaben. Sie enthalten einen niedrigen Kontinuitäts- bzw. Reproduzierungsgrad. Die Reduzierung dieser Variablen soll durch Verwendung von Daten aus dem DWH erreicht werden.
3.3-2	Variablenarten E1 Kontinuität / Reproduzierungsgrad	B Deterministische Variablen	--	Deterministische Variablen basieren auf reproduzierbarem Dateninput. Sie enthalten einen hohen Kontinuitäts- bzw. Reproduzierungsgrad.
3.3-2	Variablenarten E2 Ebene der Beeinflussung	A Endogene Variablen B Exogene Variablen	--	Endogene und exogene Variablen stellen ein simulationsspezifisches Element dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
3.3-2	Variablenarten E3 Varianten der ereignisorientierten Sicht	A Statistische Zähler B Ereignisliste C Simulationsuhr D Zustandsvariablen	--	Die in diesem Element aufgeführten Variablenarten stellen ein simulationsspezifisches Element dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
3.3-2	Variablenarten E4 Varianten der prozessorientierten Sicht	A Ereignisliste zukünftige Ereignisse (Future Event List) B Ereignisliste aktuelle Ereignisse (Current Event List)	--	Die in diesem Element aufgeführten Variablenarten stellen ein simulationsspezifisches Element dar. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
4.1-2	Kenngrößeneigenschaften E1 Eigenschaften	A Informationscharakter B Quantifizierbarkeit	--	Die Kenngrößeneigenschaften Informationscharakter und Quantifizierbarkeit einer Kenngröße dienen als ergänzende Informationen zur Bewertung der möglichen Kenngrößen aus einem DWH, welche als Input verwendet werden können. Ein hoher Informationscharakter beinhaltet eine positive Bewertung der in der Kenngröße enthaltenen Daten. Für eine vorhandene Quantifizierungsmetrik einer Kenngröße ist im Simulationsumfeld zu prüfen, ob diese neben den in der Kenngröße selbst enthaltenen Daten als Input verwendet werden kann.
4.2-3	Dimensionsobjekt E1 Varianten	A Bewegliches permanentes Objekt B Unbewegliches permanentes Objekt C Bewegliches temporäres Objekt D Instrument E Ereignishandler F Objekt ohne Masse	--	Die Eigenschaft dient der Übertragung von Simulationsobjekten auf Dimensionsobjekte. Die Hinweise zur Bewertung können aus den Informationen zu den entsprechenden Simulationsobjekten abgeleitet werden. Die jeweiligen Dimensionsobjekte können aus diesen abgeleitet werden und dienen als Hinweise auf relevante Dimensionen innerhalb des DWH.

Element	Name Eigenschaft	Ausprägung	Frage	Hinweis
4.2-1	Dimensionstyp E1 Varianten	A Einfach hierarchisch B Parallel hierarchisch C Nicht hierarchisch D Kategorisch	--	Die unterschiedlichen Hierarchietypen, die in Dimensionen des DWH vorkommen können, ermöglichen unterschiedliche Abstraktions- bzw. Aggregationsvarianten. Die Adaption geeigneter Daten aus dem DWH muss im Kontext der Simulationsfragestellung erfolgen.
4.2-4	Dimensionsinstrument E5 Funktionsgrad	A Eine Funktion B Mehrere Funktionen	--	Die Eigenschaft des Funktionsgrades dient als Hinweis darauf, ob bei der Verwendung von Daten zu einem Dimensionsinstrument (orientiert an einem der Beispiele aus dessen Eigenschaft E1 Varianten) neben den Daten zum Instrument auch Daten bzw. Parameter für die Verwendung von vorhandenen Funktionen benötigt werden.
4.2-4	Dimensionsinstrument E6 Verwendungsfrequenz	A Verbrauchbar, erneuerbar B Verbrauchbar, nicht erneuerbar C Nicht verbrauchbar	--	Die Eigenschaft der Verwendungsfrequenz dient als Hinweis darauf, ob bei der Verwendung von Daten zu einem Dimensionsinstrument (orientiert an einem der Beispiele aus dessen Eigenschaft E1 Varianten) neben den Daten zum Instrument auch Daten bzw. Parameter zu dessen Eigenschaft bezüglich der Verbrauchbarkeit und zur Erneuerbarkeit benötigt werden.

Beispiele aus dieser Tabelle wurden entnommen aus:

(Hrdliczka et al., 2007); (Walter, 2010); (Liebl, 1995);

Anhang E: Ergebnis der Praxisvalidierung

Die Fragen des Fragenkatalogs wurden für die Simulationsfragestellungen der verwendeten Fallstudie vollständig beantwortet. Die Antworten und die daraus resultierenden Bewertungshinweise sind in Tabelle Anhang-E-1 vollständig enthalten:

Frage	Antwort	Element-ID	Bewertungshinweis
A.a	D	(1.1-1-E1-D)	Eine Simulationsstudie, die als Modellsichtvariante das Ziel der Prognose eines Analysegegenstandes verfolgt, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Analyse im Sinne einer Prognose und Simulation benötigen häufig Daten in unterschiedlichen Granularitäten. Diese ist durch die Verwendung von Daten aus einem DWH gegeben.
A.b	E	(1.1-2-E1-E)	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientiertes diskretes Simulationsmodell mit (teilweise) stochastischen Eingabedaten realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, da entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind. Zusätzlich können die stochastischen Elemente durch die enthaltene Datenvarianz reduziert werden.
A.c	C	(1.2-1-E1-C), (5.1-9-E2-C)	Eine Simulationsstudie in der Betriebsphase eines Analysegegenstandes wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt. In der Betriebsphase sind in einem domänenspezifisch orientierten Data Warehouse Daten in entsprechender Varianz und Granularität zu erwarten.
A.d	A	(2.2-1-E1-A)	Eine Simulationsstudie, die als ereignisorientierte Sicht realisiert wird, wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt. Der ereignisorientierte Aspekt kann durch Daten aus einem DWH mit der jeweiligen domänenspezifischen Ausrichtung unterstützt werden, wenn entsprechende Ereignisse in den Daten abgebildet sind.
A.e	B	(2.2-2-E1-B)	Eine Simulationsstudie mit begrenztem Horizont und eindeutiger Terminierung wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, da Daten im DWH mit einer Zeitinformation gekennzeichnet sind.

A.f	B	(2.2-3-E1-B)	Bei einer Simulationsstudie mit nicht stationärem Verhalten der Outputreihe kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden. Übergangsprozesse, strukturelle Eigenschaften der Domäne sowie zeitliche Informationen sind in DWH-Daten i. d. R. abhängig vom Domänenkontext abgebildet.
A.g	A	(2.3-1-E1-A)	Bei der Verfügbarkeit von Daten in relationalen Datenbanken ist eine Aufbereitung gemäß den Regeln multidimensionaler Datenmodelle möglich, die Verwendung kann grundsätzlich empfohlen werden.
A.h	A	(2.3-2-E1-A)	Bei der Übertragung von Daten basierend auf standardisierten IT-technischen Schnittstellen unterstützt den Transfer von Daten aus multidimensionalen Datenmodellen, die Verwendung kann empfohlen werden.
A.i	E	(2.4-1-E1-E)	Bei einer Simulationsstudie, die unter Verwendung der diskreten Simulationsmethode realisiert wird, kann die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße empfohlen werden. Die Abbildung diskreter Informationen ist in Daten aus einem DWH sehr gut nachzuvollziehen, da alle Informationen an Zeitpunkten orientiert gespeichert sind.
A.j	Z	--	Eine fehlende Einordnung für dieses Element ist zu tolerieren, eine Empfehlung kann bei fehlender Einordnung nicht gegeben werden.
A.k	B, C	(2.1-1-E2-B:C), (2.1-2-E2-B:C), (2.1-3-E2-B:C), (4.1-1-E4-B:C), (4.2-2-E2-B:C), (4.2-3-E2-B:C), (4.2-4-E2-B:C), (5.1-3-E2-B:C), (5.1-4-E2-B:C), (5.1-5-E2-B:C), (5.1-6-E2-B:C), (5.1-7-E2-B:C), (5.1-8-E2-B:C), (5.1-10-E2-B:C)	Hinweis zu B: Die räumliche Abstraktion auf der Mesoebene beinhaltet einen mittleren Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Mesoebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle sehr gut unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Hinweis zu C: Die räumliche Abstraktion auf der Makroebene beinhaltet einen hohen Grad an Abstraktion. Die Verwendung des Abstraktionsmechanismus auf der Makroebene wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen der Makroebene ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.

A.l	A, C	(2.1-2-E3-A, C), (2.1-3-E3-A, C), (4.1-1-E5-A, C), (4.2-2-E3-A, C), (4.2-3-E3-A, C), (4.2-4-E3-A, C), (5.1-3-E3-A, C), (5.1-4-E3-A, C), (5.1-5-E3-A, C), (5.1-6-E3-A, C), (5.1-7-E3-A, C), (5.1-8-E3-A, C), (5.1-10-E3-A, C)	<p>Hinweis zu A: Die zeitliche Aggregation auf kurzfristige Zeiteinheiten beinhaltet nur einen geringen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in kurzfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle unterstützt, die Verwendung wird grundsätzlich empfohlen. Der Erhebung und Aufbereitungsaufwand ist aufgrund der geringen Aggregationsebene zu prüfen.</p> <p>Hinweis zu C: Die zeitliche Aggregation auf langfristige Zeiteinheiten beinhaltet einen hohen Grad an Aggregation. Die Verwendung des Mechanismus der zeitlichen Aggregation in langfristigen Zeiteinheiten wird durch die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße unterstützt, die Verwendung wird empfohlen. Aufgrund der besonderen Eignung von multidimensionalen Daten für Fragestellungen mit langfristigem Zeithorizont ist auch ein evtl. notwendiger Aufbereitungsaufwand zu rechtfertigen.</p>
A.m	A, B, C	(2.1-1-E1-A:C)	<p>Hinweis zu A: Strukturdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle nicht prädestiniert. Topologiedaten, Layoutinformationen usw. sind für die Abstraktion und Aggregation nur in geringem Umfang geeignet. Für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle bei anderen technischen Daten ist die Verwendung als neutral anzusehen.</p> <p>Hinweis zu B: Fertigungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden.</p> <p>Hinweis zu C: Materialflussdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Elementgruppen innerhalb des Systems zu bilden und die auf diese Gruppen bezogenen Datenmengen in der korrekten Abstraktion und Aggregation zu verwenden.</p>

A.n	A, B, C	(2.1-2-E1-A:C)	<p>Hinweis zu A: Arbeitszeitorganisationsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.</p> <p>Hinweis zu B: Ressourcenzuordnungsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.</p> <p>Hinweis zu C: Ablauforganisationsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in weiten Teilen geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, Geltungsbereiche und Geltungszeiträume abzubilden.</p>
A.o	A	(2.1-3-E1-A)	Auftragsdaten sind als Datengruppe für die Verwendung multidimensionaler Datenmodelle in besonderem Maße geeignet. Die Möglichkeiten der Abstraktion und Aggregation bieten die Chance, große Datenmengen sinnvoll und effektiv im Simulationsmodell zu verwenden.
A.p	A	(4.1-1-E1-A)	Wenn als Input der Simulationsstudie absolute Kenngrößen zum Einsatz kommen, können diese sowohl aus multidimensionalen Datenmodellen kommen als auch aus anderen Datenquellen erhoben werden. Der Nutzen ist nicht auf die Verwendung entsprechend aufbereiteter Daten beschränkt. Die Verwendung von multidimensionalen Datenmodellen kann empfohlen werden. Diese Ausprägung beinhaltet jedoch keine besonderen Anforderungen an die Art der zu verwendenden Daten.
A.q	A, B, D	(4.1-1-E1-A:B, D)	Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bezugsrahmen die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle empfohlen werden. Die Art des Bezugsrahmens dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft.
A.r	A	(4.1-1-E3-A)	Wenn als Input der Simulationsstudie Kenngrößen zur Verfügung stehen, kann unabhängig von deren Bildungsrichtung die Verwendung der diesen Kenngrößen zugrunde liegenden multidimensionalen Datenmodelle empfohlen werden. Die Art der Bildungsrichtung dient als Hinweis und beschreibende Eigenschaft.

B.a	A	(5.1-3-E1-A)	Die Betrachtung von Auftragsdaten bzw. Jobdaten wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen der Intralogistik Systemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Lieferservice, der absatzorientierten Liefertreue sowie der Lieferleistung basieren auf Auftragsdaten.
B.b	A	(5.1-4-E1-A)	Die Betrachtung von Werkstücken wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Die Betrachtung von Werkstücken im Sinne von Artikeln, Artikelgruppen, Produktgruppen usw. ist in zahlreichen logistischen Kennzahlen aus den Bereichen der Bestandsanalyse, des Lagerumschlags, des Lieferservice sowie der Lieferleistung enthalten.
B.c	A	(5.1-5-E1-A)	Die Betrachtung von Ladehilfsmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen der Lageranalyse, der Transportleistungskontrolle, des Lagerumschlags sowie der Bestandsanalyse enthalten häufig Informationen zu Ladehilfsmitteln, insbesondere, wenn der intralogistische Prozess auf spezifische Anforderungen der Ladehilfsmittel ausgerichtet werden muss.
B.d	A	(5.1-6-E1-A)	Die Betrachtung von Transportmitteln wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Systemen der Intralogistik bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Logistische Kennzahlen aus den Bereichen des Transportqualität, Transportleistung sowie der Wegeoptimierung beinhalten häufig Informationen zu Transportmitteln.
B.e	B	(5.1-7-E1-B)	Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungsempfänger nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.
B.f	--	--	Wenn die Betrachtung der Objektart Leistungserbringer nicht relevant ist, wird keine Bewertung vorgenommen.

B.g	C, D	(5.1-9-E1-C:D)	<p>Hinweis zu C: Die Betrachtung von Lagerprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Lagerzeiten, Lagerauslastung, Lagerbewegungen, ABC- und XYZ-Analysen betrachtet.</p> <p>Hinweis zu D: Die Betrachtung von Transportprozessen wird durch multidimensionale Datenmodelle, die sich aus operativen Intralogistiksystemen bedienen, in besonderem Maße unterstützt. Im intralogistischen DWH werden z. B. Transportwegauslastung, Transportdauer, Auslastung von Transportmitteln betrachtet.</p>
-----	------	----------------	--

Tabelle Anhang-E-1: Antworten aus der Praxisvalidierung

Hinzu kommen die in der Verwendungsanweisung in Tabelle 4 enthaltenen Hinweise zu den Elementen ohne Filterkriterien.

Literaturverzeichnis

- (Adelsberger und Bick, 2003) Adelsberger, Heimo; Bick, Markus: *Simulation*. VAWI-Vorlesungsskript WS 2003/2004. Universität Duisburg-Essen, 2003
- (Albrecht et al., 2009) Albrecht, J.; Bauer, A.; Behme, W.; Blaschka, M.; Findeisen, D.; Frietsch, H.; Furtado, P.; Görlich, O.; Günzel, H.; Harren, A.; Jossen, C.; Jürgens, M.; Koncilia, C.; Lehner, W.; Markl, V.; Pieringer, R.; Priebe, T.; Quix, C.; Ramsak, F.; Sapia, C.; Scholz, A.; Staudt, M.; Stock, S.; Teschke, M.; Vaduva, A.; Vetterli, T.: *Entwicklung von Data Warehouse Systemen*. In: Bauer, Andreas; Günzel, Holger (Hrsg.): *Data Warehouse Systeme*. dpunkt.verlag, 2009, S. 171-371
- (Andresen, 2003) Andresen, Andreas: *Komponentenbasierte Softwareentwicklung*. Carl Hanser Verlag, 2003.
- (Apel und Behme, 2010) Apel, Detlef; Behme, Wolfgang: *Datenintegration – Ein Prozess zur Verbesserung der Datenqualität*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. Springer Verlag, 4. Auflage 2010. S. 115-130
- (Arnold, 2006) Arnold, Dieter (Hrsg.): *Intralogistik*. Springer-Verlag, 2006.
- (Arnold und Furmans, 2007) Arnold, Dieter; Furmans, Kai: *Materialfluss in Logistiksystemen*. Springer-Verlag, 2007.
- (Aßmann, 2011) Aßmann, U.: *Aspektorientierte Entwurfsmethoden*. Technische Universität Dresden, Institut für Software- und Multimediatechnik. Version 11-0.2, 2011.
- (Aßmann, 2013) Aßmann, U.: *Aspektorientierte Entwurfsmethoden*. Technische Universität Dresden, Institut für Software- und Multimediatechnik. Version 13-0.3, 2013.
- (Baars und Lasi, 2010) Baars, Henning; Lasi, Heiner: *Innovative Business-Intelligence-Anwendungen in Logistik und Produktion*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. Springer Verlag, 4. Auflage 2010. S. 417-437
- (Bange et al., 2009) Bange, C.; Bauer, A.; Behme, W.; Dittmar, C.; Düsing, R.; Frietsch, H.; Gatzui, S.; Görlich, O.; Günzel, H.; Heidsieck, C.; Herden, O.; Hinrichs, H.; Hümmer, W.; Jossen, C.; Priebe, T.; Quix, C.; Sapia, C.; Schinzer, H.; Stock, S.; Tako, J.; Tomsich, P.; Totok, A.; Vaduva, A.; Vavouras, A.; Völlinger, H.; Zeh, T.: *Architektur von Data Warehouse Systemen*. In: Bauer, Andreas; Günzel, Holger (Hrsg.): *Data Warehouse Systeme*. dpunkt.verlag, 2009, S. 1-169
- (Banks, 1998) Banks, Jerry: *Principles of Simulation*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 3-30.
- (Bauer und Günzel, 2009) Bauer, Andreas; Günzel, Holger: *Data Warehouse Systeme*. 3. Auflage. dpunkt.verlag, 2009

-
- (Bauer und Günzel, 2013) Bauer, Andreas; Günzel, Holger: *Data Warehouse Systeme*. 4. Auflage. dpunkt.verlag, 2013
- (Becker et al., 1995) Becker, Jörg; Rosemann, Michael; Schütte, Reinhard: *Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung*. Wirtschaftsinformatik 37, S. 435-445, 1995.
- (Becker et al., 1997) Becker, Jörg; Rosemann, Michael; Schütte, Reinhard (Hrsg.): *Entwicklungsstand und Entwicklungsperspektiven der Referenzmodellierung*. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik Nr. 52, 1997.
- (Becker, 2010) Becker, Jörg: *Prozess der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik*. In: Österle, Hubert; Winter, Robert; Brenner, Walter (Hrsg.): *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Ein Plädoyer für Rigor und Relevanz*. infowerk ag, 2010. S. 13-17
- (Bergmann, 2013) Bergmann, Sören: *Automatische Generierung adaptiver Modelle zur Simulation von Produktionssystemen*. TU Ilmenau, 2013. URL: http://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/media/wi1/externe_Dokumente/Automatische_Generierung_adaptiver_Modelle_zur_Simulation_von_Produktionssystemen.pdf, Download vom 27.09.2014.
- (Bernhard et al., 2007) Bernhard, Jochen; Dragan Miroslaw: *Bewertung der Informationsgüte in der Informationsgewinnung für die modellgestützte Analyse großer Netze der Logistik*. Technical Report 07006 – Sonderforschungsbereich 559 “Modellierung großer Netze in der Logistik“. ISSN 1612-1376. Universität Dortmund.
- (Bichler, 2007) Bichler, Klaus: *100 Logistikkennzahlen*. Cometis publishing, 2007.
- (Biethahn et al., 2004) Biethahn, Jörg; Mucksch, Harry; Ruf, Walter: *Ganzheitliches Informationsmanagement*. 6. Auflage, Oldenbourg Verlag, 2004.
- (Böhm-Kasper et al., 2009) Böhm-Kasper, Oliver; Schuchart, Claudia; Weishaupt, Horst: *Quantitative Methoden in der Erziehungswissenschaft*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2009.
- (Bogon et al., 2012) Bogon, Tjorben; Timm, Ingo; Lattner, Dimitrios; Wenzel, Sigrid; Jessen, Ulrich; Spieckermann, Sven: *Towards assisted input and output data analysis in manufacturing simulation: The EDASIM approach*. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference. 2012
- (Bracht und Ostermann, 1999) Bracht, U.; Ostermann, A.: *Neue Potentiale der Simulation: Ein spezifischer Ansatz zur gesamtheitlichen Werksimulation*. TU Clausthal. 2012. URL: http://www.imab.tu-clausthal.de/fileadmin/homes/mf_imab/dateien/veroeffentlichungen/66.pdf. Download vom 25.08.2012
-

-
- (Breuer und Breuer, 2014) Breuer, Wolfgang; Breuer, Claudia: *Fristigkeit*. Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Fristigkeit, URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/1588/fristigkeit-v7.html>. Abruf vom 29.12.2014.
- (Brocke und Buddendick, 2004) Brocke, Jan vom; Buddendick, Christian: *Konstruktionstechniken für die Referenzmodellierung – Systematisierung, Sprachgestaltung und Werkzeugunterstützung*. In: Becker, Jörg; Delfmann, Patrick (Hrsg.): *Referenzmodellierung. Grundlagen, Techniken und domänenbezogene Anwendung*. Physica Verlag, 2004. S. 19-50
- (Chamoni und Gluchowski, 2010) Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter: *Analytische Informationssysteme – Einordnung und Überblick*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. 4. Auflage, Springer Verlag, 2010. S. 3-16
- (Confessore et al., 2007) Confessore, G.; De Luca, P.; Liotta, G.; Pacifici, A.: *Group technology and material flows: layout design via optimisation and simulation*. In: Engelhardt-Nowitzki, C.; Nowitzki, O.; Krenn, B. (Hrsg.): *Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation*. Deutscher Universitäts-Verlag. 2007. S. 97-111
- (Corsten et al., 2005) Corsten, Hans; Corsten, Hilde; Sartor, Carsten: *Operations Research*. Vahlen Verlag, 2005.
- (Diedrich, 2012) Diedrich, Andreas: *Wissenschaftliche Grundlagen zu Theorien und Modellen*. Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Wirtschaft, 2012.
- (Dinkelbach, 1969) Dinkelbach, Werner: *Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung*. Springer Verlag, 1969.
- (Dobszay, 2009) Dobszay, Levente J.: *Ingenieurmäßiges Vorgehen und Qualitäts-Zertifikate*. URL: <http://www.dobszay.ch/2009-10-09/ingenieurmaessiges-vorgehen-und-qualitaets-zertifikate/> Abruf vom 30.05.2014
- (Domschke und Drexl, 2011) Domschke, Wolfgang; Drexl, Andreas: *Einführung in Operations Research*. 8. Auflage. Springer Verlag, 2011.
- (Duden, 2002) *Duden Fremdwörterbuch*. Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2002.
- (EFZN, 2013) Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN): *Projekt BESIC: Container mit überschüssigem Ökostrom transportieren*. 2013. URL: http://www.efzn.de/presse/nachrichtendetails/tt_news/243/?cHash=d6756061b549c6b1f28ed25271cc76f7. Abruf vom 15.01.2015
- (Ernst und Huss, 2011) Ernst, Markus; Huss, Sorin: *Rechnertechnologie I*. Vorlesungsskript TU Darmstadt, Fachbereich Informatik. 2011
URL: http://www.iss.tu-darmstadt.de/student_area/mhs/2012/vorlesung/1.pdf, Download vom 28.02.2013
-

-
- (Fehler, 2010) Fehler, Manuel: *Kalibrierung Agenten-basierter Simulationen*. Dissertation der Julius–Maximilians–Universität Würzburg, 2010. URL: <http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2011/6476/pdf/DissManuelFehler.pdf>. Abruf vom 23.07.2012
- (Ferstl, 1979) Ferstl, Otto K.: *Konstruktion und Analyse von Simulationsmodellen*. Anton Hain Verlag, 1979.
- (Ferstl und Sinz, 2001) Ferstl, Otto K.; Sinz, Elmar J.: *Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. Band 1*. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenbourg Verlag, 2001.
- (Gal, 1973) Gal, Thomas: *Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse und parametrische Programmierung*. Walter de Gruyter Verlag, 1973.
- (Gansor et al., 2010) Gansor, Tom; Totok, Andreas; Stock, Steffen; Baars, Henning: *Von der Strategie zum Business Intelligence Competency Center*. Hanser Verlag, 2010.
- (Gehra, 2005) Gehra, Bernhard: *Früherkennung mit Business-Intelligence-Technologien, Anwendung und Wirtschaftlichkeit der Nutzung operativer Datenbestände*. Deutscher Universitäts-Verlag, 2005.
- (Greiffenberg, 2012) Greiffenberg, Steffen: *Methoden als Theorien der Wirtschaftsinformatik*. TU Dresden. URL: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_wirtschaftswissenschaften/wi/sysent/publikationen/artikel_buchbeitraege/downloads/methoden_als_theorien.pdf, Download vom 16.07.2012
- (Goll, 2011) Goll, Joachim: *Methoden und Architekturen der Softwaretechnik*. Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- (Grundmeier, 2015) Grundmeier, Nico: *Interview zur Validierung des Konzeptes*. Universität Oldenburg, 11.02. und 14.02.2015.
- (Hansen, 1998) Hansen, Hans Robert: *Wirtschaftsinformatik I*. 7. Auflage, Nachdruck. Lucius & Lucius Verlag. 1998.
- (Hars, 1993) Hars, A.: *Referenzmodelle - Gestaltung und Nutzung von Bibliotheken für semantische Datenmodelle*. Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 1993
- (Heinen, 1991) Heinen, Edmund: *Industriebetriebslehre. Entscheidungen im Industriebetrieb*. 9. vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Gabler Verlag. 1991.
- (Helmholtz, 1887) Helmholtz, Heinrich von: *Zählen und Messen - erkenntnistheoretisch betrachtet. Philosophische Aufsätze*. Leipzig, 1887, S. 17-52. Zitiert von: Cieminski, Gregor: *Logistische Kennzahlen in der Produktion*. Universität Hannover, 2004. URL: <http://www.awf.de/download/Kennzahlen-Produktionslogistik-IFA.pdf>. Download vom 29.10.2010
-

-
- (Herget, 1997) Herget, Josef: *Informationsmanagement*. In: Buder, Marianne; Rehfeld, Werner; Seeger, Thomas; Strauch, Dietmar (Hrsg.): *Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation*. Band 2. 4. völlig neu gefasste Ausgabe. K. G. Saur Verlag, 1997. S. 781-794.
- (Hollstein et al., 2012) Hollstein, Philip; Lachenmaier Jens; Lasi, Heiner; Kemper, Hans-Georg: *Handlungsfelder der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik im Kontext der Digitalen Fabrik*. Multi-konferenz Wirtschaftsinformatik 2012, Braunschweig.
- (Holthuis, 1997) Holthuis, Jan: *Multidimensionale Datenstrukturen*. In: Mucksch, Harry, Behme, Wolfgang (Hrsg.): *Das Data-Warehouse-Konzept*. Gabler Verlag, 1997, S. 137-186.
- (Hotz, 2007) Hotz, Ingo: *Simulationsbasierte Frühwarnsysteme zur Unterstützung der operativen Produktionssteuerung und -planung in der Automobilindustrie*. Dissertation. Universität Magdeburg. 2007.
- (Hrdliczka et al., 2007) Hrdliczka, Veronika; Jakobi, Horst; Schumacher, Rolf; Wenzel, Sigrid: *Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik*. ASIM Arbeitsgemeinschaft Simulation. Gesellschaft für Informatik, Fachgruppe Simulation in Produktion und Logistik. 2007. URL: <http://www.uwepret.de/fabrikplanung/doku/asim-leitfaden.pdf> Download vom 14.07.2014
- (Hummeltenberg, 2010) Hummeltenberg, Wilhelm: *Vom Content Management zum Enterprise Decision Management – eine Chronologie der Business Intelligence Systeme*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. Springer Verlag, 4. Auflage 2010. S. 17-36
- (Inmon, 1996) Inmon, W. H.: *Building the Data Warehouse*. Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- (itl, 2012) itl Institut für technische Literatur (Hrsg.): *Doku-Norm ISO/IEC 82079 Die Weltnorm für die Technische Dokumentation*. München, 2012.
Internetseite:
http://www.itl.eu/fileadmin/content/pdf/Veroeffentlichungen/itl_Kundenmagazin_Ausgabe_11_12-12.pdf. Abruf vom 04.10.2014
- (Kallus, 2010) Kallus, Wolfgang K.: *Erstellung von Fragebögen*. UTB, Wien, 2010.
- (Kämpf et al., 2000) Kämpf, Rainer; Götz, Christian; Wichelhaus, Florian: *Kennzahlen und Kennzahlssysteme in der Logistik*. EBZ Beratungszentrum.
Internetseite: <http://www.ebz-beratungszentrum.de/logistikseiten/artikel/kennzahlen.html>. Abruf vom 12.07.2012
- (Kemper et al., 2006) Kemper, Hans-Georg; Mehanna, Walid; Unger, Carsten: *Business Intelligence*. Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2006.
-

-
- (Kemper und Finger, 2010) Kemper, Hans-Georg; Finger, Ralf: *Transformation operativer Daten*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. Springer Verlag, 4. Auflage 2010. S. 159-174
- (Kiran, 1998) Kiran, Ali S.: *Simulation and Scheduling*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 677-717
- (Kistner und Steven, 2001) Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion: *Produktionsplanung*. 3. Auflage. Physica-Verlag, 2001
- (Klein und Scholl, 2011) Klein, Robert; Scholl, Armin: *Planung und Entscheidung*. Vahlen Verlag, 2. Auflage, 2011.
- (Klinger und Wenzel, 2000) Klinger, Angela; Wenzel, Sigrid: *Referenzmodelle – Begriffsbestimmung und Klassifikation*. In: Wenzel, Sigrid (Hrsg.): *Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik*. Society for Computer Simulation Verlag, 2000. S. 13-29
- (Knauer, 2002) Knauer, Stephan: *Neue heuristische Methoden zur Optimierung des Fertigungsablaufs*. Logos Verlag, 2002.
- (Knothe, 2000) Knothe, Thomas: *Referenzmodell Auftragsdurchlauf für Dienstleistung und Verwaltung*. In: Wenzel, Sigrid (Hrsg.): *Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik*. Society for Computer Simulation Verlag, 2000. S. 99-118
- (Knorz, 1997) Knorz, Gerhard: *Datenbank-Entwurfsmethoden*. In: Buder, Marianne; Rehfeld, Werner; Seeger, Thomas; Strauch, Dietmar (Hrsg.): *Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation*. Band 2. 4. völlig neu gefasste Ausgabe. K. G. Saur Verlag, 1997. S. 664-687.
- (Košturiak und Gregor, 1995) Košturiak, Ján; Gregor, Milan. *Simulation von Produktionssystemen*. Springer Verlag, 1995.
- (Koxholt, 1967) Koxholt, Rolf: *Die Simulation - ein Hilfsmittel der Unternehmensforschung*. Oldenbourg Verlag, 1967.
- (Krcmar, 2005) Krcmar, Helmut: *Informationsmanagement*. 4. Auflage. Springer Verlag, 2005.
- (Krystek, 1990) Krystek, U.: *Controlling und Frühaufklärung, Stand und Entwicklungstendenzen von Systemen der Frühaufklärung*. In: Controlling, Nr. 2, 1990, S. 68-75
- (Kühn, 2006) Kühn, Wolfgang: *Digitale Fabrik. Fabriksimulation für Produktionsplaner*. Hanser Verlag, 2006.
- (Küll und Stähly, 1999) Küll, Roland; Stähly, Paul: *Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten*. In: Biethahn, Jörg; Hummeltenberg, Wilhelm; Schmidt, Bernd; Stähly, Paul; Witte, Thomas: *Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe*. Physica Verlag, 1999, S. 1-21.
- (Külpmann, 2006) Külpmann, Bernd: *Kennzahlen im Betrieb. Wichtige Werte im Wettbewerb*. Cornelsen Verlag Berlin, 2006
-

-
- (Kuhn und Rabe, 1998) Kuhn, Axel; Rabe, Markus (Hrsg.): *Simulation in Produktion und Logistik, Fallbeispielsammlung*. Springer Verlag Berlin, 1998
- (Kurbel, 2005) Kurbel, Karl: *Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management*. Oldenbourg, 2005.
- (Land Hessen, 2011) Pressemitteilungen des Landes Hessen zum *Projekt AssistSim*. URL: <http://simplan.de/de/presse/pressemeldungen/134-kategorie-meldungen/373-assistsim-042011.html> und http://www.innovationsfoerderung-hessen.de/dynasite.cfm?dssid=373&dsmid=16223#dstitle_88922, Abruf vom 30.12.2014
- (Leser und Naumann, 2007) Leser, Ulf; Naumann, Felix: *Informationsintegration*. dpunkt.verlag, 2007
- (Liebl, 1995) Liebl, Franz: *Simulation*. Oldenbourg Verlag, 1995.
- (Manecke, 1997) Manecke, Hans-Jürgen: *Klassifikation*. In: Buder, Marianne; Rehfeld, Werner; Seeger, Thomas; Strauch, Dietmar (Hrsg.): *Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation*. Band 1. 4. völlig neu gefasste Ausgabe. K. G. Saur Verlag, 1997. S. 141-159.
- (Manivannan, 1998) Manivannan, Mani S.: *Simulation of Logistics and Transportation Systems*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 571-604
- (Markert, 1997) Markert, Dirk: *Ein neuer Ansatz zur Problematik der Datenbeschaffung, Integration und Modellbildung bei der Simulation von Materialflußsystemen*. Dissertation an der Universität Essen. 1997.
- (Marx Gómez et al., 2006) Marx Gómez, Jorge; Rautenstrauch, Claus; Cissek, Peter; Grahlher, Björn: *Einführung in das SAP Business Information Warehouse*. Springer Verlag, 2006.
- (Mayer et al., 2012) Mayer, Gottfried; Spieckermann, Sven; Wenzel, Sigrid: *Steigerung der Produktivität in Simulationsstudien mit Assistenzwerkzeugen*. ZWF, Jahrgang 107, 2012.
- (McMenamin und Palmer, 1988) McMenamin, Stephen; Palmer, John: *Strukturierte Systemanalyse*. Carl Hanser Verlag, 1988.
- (Müller-Fonfara, 1995) Müller-Fonfara, Robert: *Mathematik*. Weltbild Verlag, 1995.
- (Musselman, 1998) Musselman, K.: *Guidelines for Success*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 721-743
- (Österle et al., 2010) Österle, Hubert; Winter, Robert; Brenner, Walter (Hrsg.): *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Ein Plädoyer für Rigor und Relevanz*. infowerk ag, 2010. http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1175&context=hubert_oesterle. Abruf vom 18.05.2014
- (Page, 1991) Page, Bernd: *Diskrete Simulation: Eine Einführung mit Modula-2*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991.
-

-
- (Pritsker, 1998) Pritsker, A.: *Principles of Simulation Modeling*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 31-51
- (Rabe et al., 2008) Rabe, Markus; Spieckermann, Sven; Wenzel, Sigrid: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik*. Springer Verlag, 2008.
- (Rammig, 1984) Rammig, Franz-Josef: *Simulation digitaler Systeme auf verschiedenen Abstraktionsebenen*. Erschienen in: Fachgespräche auf der 14. GI-Jahrestagung. Universität Paderborn. 1984. S. 28-36
- (Reichmann, 2011) Reichmann, Thomas: *Controlling mit Kennzahlen*. Vahlen, 2011.
- (Rohrer, 1998) Rohrer, M.: *Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 519-545
- (Sabbour et al., 2012) Sabbour, S.; Lasi, H.; Tessin, P. von: *Business Intelligence and Strategic Decision Simulation*. International Journal of Social and Human Sciences, 2012. URL: <http://www.waset.org/journals/ijshs/v6/v6-18.pdf>, Download vom 15.07.2012
- (Sattler et al., 2012) Sattler, Kai-Uwe; Saake, Gunter; Köppen, Veit: *Data-Warehouse-Technologien. Teil III Multidimensionales Datenmodell*. 2012. URL: http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/iti_db/lehre/dw/dwt1213/03-MDDM.pdf. Download vom 28.10.2012
- (Schimpf et al., 2001) Schimpf, C.; Ullfors, C. Peters, F.: *Lexikon Computer und Informationstechnik*. Bassermann Verlag, 2001.
- (Schmeling, 2013) Schmeling, Roland: *IEC 82079-1:2012 Entstehung und Inhalte der Norm*. Winterthur, 2013. URL: http://www.schmeling-consultants.de/nc/publikationen/?fd=tecom_Vortrag_Schmeling_IEC_82079-1_-_2013-11-11.pdf. Download vom 31.05.2014
- (Schmidt, 2012) Schmidt, Silvia: *IEC 82079-1 Erstellen von Anleitungen - Gliederung, Inhalt und Darstellung*. 13. Bremer Normentag. Internetseite: <http://inmas.de/wp/wp-content/uploads/2013/03/IEC-82079-1.pdf>. Abruf vom 04.10.2014
- (Schmidt-2, 2012) Schmidt, Thorsten: *Simulation von Logistik- und Materialflusssystemen*. TU Dresden. URL: http://www.inf.tu-dresden.de/content/institutes/iai/ms/lehre/webdateien_simulation/eng7_TLA.pdf. Download vom 23.07.2012
- (Schulte, 2013) Schulte, Christof: *Logistik*. Vahlen, 2013.
- (Seebauer und ten Hompel, 2005) Seebauer, Petra; ten Hompel, Michael: *Software in der Logistik – Schwerpunkt RFID*. Huss-Verlag, 2005.
- (Selke, 2004) Selke, Carsten: *Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung*. Utz Verlag, 2004.
-

-
- (Siedersleben, 2003) Siedersleben, Johannes: *Quasar: Die sd&m Standardarchitektur. Teil 1*. München, 2003.
URL: https://www.fbi.h-da.de/fileadmin/personal/b.humm/Publikationen/Siedersleben_-_Quasar_1_sd_m_Brosch_re_.pdf. Download vom 21.02.2015
- (Sinz und Ende, 2010) Sinz, Elmar J.; Ende, Achim Ulbirsch-vom: *Architektur von Data-Warehouse-Systemen*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. Springer Verlag, 4. Auflage 2010. S. 175-196
- (Spieckermann und Voss, 1998) Spieckermann, Sven; Voß, Stefan: *Simulation. Diskrete ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik*. TU Braunschweig. 1998. URL: http://iwi.econ.uni-hamburg.de/IWIWeb/uploads/skript_sim107532888.pdf. Download vom 27.03.2011
- (Suhl und Mellouli, 2006) Suhl, Leena; Mellouli, Taïeb: *Optimierungssysteme*. Springer-Verlag, 2006.
- (Stock und Stock, 2008) Stock, Wolfgang G.; Stock Mechtild: *Wissensrepräsentation*. Oldenbourg Verlag, 2008.
- (Syska, 1990) Syska, Andreas: *Kennzahlen für die Logistik*. Springer-Verlag, 1990.
- (VDI, 2010) Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): *Richtlinie 3633. Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Grundlagen*. Blatt 1 Entwurf. Beuth Verlag, 2010.
- (VDMA, 2010) Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau: Internetseite. Zugriff: <http://www.forum-intralogistik.org/de/ueberuns/definitionintralogistik/>. Abruf vom 22.08.2010
- (Vincent, 1998) Vincent, Stephen: *Input Data Analysis*. In: Banks, Jerry et. al. (Hrsg.): *Handbook of Simulation*. John Wiley Inc., 1998, S. 55-91
- (Voss, 2012) Voss, Verena: *Wiederverwendbare Simulationsmodelle für die domänen- und disziplinübergreifende Produktentwicklung*. Dissertation. Universität Stuttgart. 2012.
URL: d-nb.info/1030266719/34, Download vom 03.01.2015
- (Walter, 2010) Walter, Monika: *TEAM ProStore® Logistics Intelligence. Kennzahlenübersicht*. Version 1.0. 2010.
- (Walter, 2011) Walter, Monika: *Standardisierte Kennzahlensysteme in der Intralogistik – Nutzen und Optimierungspotenzial erkennen*. In: Praxishandbuch Logistik, September 2011.
- (Weber und Winkelmann, 1985) Weber, Max; Winkelmann, Johannes: *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*. Mohr Verlag, 1985.
- (Weber, 1991) Weber, Jürgen: *Logistik-Controlling*. Carl Ernst Poeschel Verlag, 1991.
-

- (Wenzel et al., 2001) Wenzel, Sigrid; Becker, Claudia; Jodin, Dirk: *Methoden der Informationsgewinnung zur Bestimmung des Eingangsdatenraums für Simulationsmodelle in der Logistik*. In: Panreck, Klaus; Dörrscheidt, Frank (Hrsg.): *15. Symposium Simulationstechnik ASIM 2001*, Gruner Druck, 2001. S. 417-422
- (Wenzel, 2012) Wenzel, Sigrid: Pressemitteilungen zum *Projekt EDASim*. URL: <http://forschung.uni-kassel.de/converis/project/11698>; jsessionid= 454c7d18d7da7023531130eb563d und <http://www.simplan.de/de/forschung/304-edasim.html>, Abruf vom 30.12.2014
- (Winkels, 2001) Winkels, Heinz-Michael: *Supply Chain Management*. www1.logistik.fh-dortmund.de/Public/SupplyChainMgmt.pdf vom 29.12.2014
- (Witte, 1973) Witte, Thomas: *Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme*. Gabler Verlag, 1973.
- (Witte et al., 1994) Witte, Thomas; Claus, Thorsten; Helling, Klaus: *Simulation von Produktionssystemen mit SLAM*. Addison-Wesley, 1994.
- (Witte, 1999) Witte, Thomas: *Datenbankgetriebene objektorientierte Simulation*. In: Biethahn, Jörg; Hummeltenberg, Wilhelm; Schmidt, Bernd; Stähly, Paul; Witte, Thomas: *Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe*. Physica Verlag, 1999, S. 22-49.
- (Winter, 2010) Winter, Robert: *Analytische Informationssysteme aus Managementsicht: Unternehmensweite Informationslogistik und analytische Prozessunterstützung*. In: Chamoni, Peter; Gluchowski, Peter (Hrsg.): *Analytische Informationssysteme*. Springer Verlag, 4. Auflage 2010. S. 87-114
- (Wolf und Dietze, 2005) Wolf, Oliver; Dietze, Günter: *Flexibel in die Zukunft*. In: ten Hompel, Michael (Hrsg.): *Software in der Logistik – Schwerpunkt RFID*. Hussverlag, 2005, S. 62-68.
- (Zell, 1992) Zell, Michael: *Simulationsgestützte Fertigungssteuerung*. Oldenbourg Verlag, 1992.
- (Zeppenfeld, 2004) Zeppenfeld, Klaus: *Objektorientierte Programmiersprachen*. Spektrum Verlag, 2004.

Lebenslauf

Name: Monika Walter, M. Sc.

Adresse: Seydlitzstr. 7, 33104 Paderborn

geboren am; 15.06.1967 in Büren, Westf.

Familienstand: ledig, keine Kinder

Staatsangehörigkeit: Deutsche

Schulbildung: 08.73 - 07.77 Grundschule Fürstenberg
08.77 - 07.83 Realschule Fürstenberg
08.83 - 01.86 Kaufm. Berufsschule Salzkotten
08.96 - 06.99 Abendgymnasium der Stadt Lippstadt,
Außenstelle Paderborn
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Berufsausbildung: 08.83 - 01.86 Ausbildung zur Industriekauffrau bei der
Fa. Heinr. Spahn GmbH + Co. KG, Büren

Studium: 10.00 – 03.04 Berufsbegleitendes Studium der
Wirtschaftsinformatik an der
Fachhochschule der Wirtschaft in Gütersloh
Abschluss: Diplom-Wirtschaftsinformatikerin
10.05 – 06.08 Berufsbegleitendes Aufbaustudium zum
Master of Science im Studiengang VAWI
an der Universität Duisburg-Essen
Abschluss: Master of Science
05.11 – 06.15 Externe Doktorandin an der
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Berufliche Tätigkeit:	01.86 - 04.86	kaufmännische Sachbearbeiterin bei der Fa. Heinr. Spahn, Büren
	05.86 - 01.87	Fortbildung für kaufmännische Angestellte in Datenverarbeitung und Marketing von 11.86 - 01.87 Praktikum in der EDV-Abteilung der Fa. Heinr. Spahn, Büren
	02.87 - 12.97	Anwendungsprogrammiererin bei der Fa. Heinr. Spahn, Büren
	01.98 – 02.01	Anwendungsprogrammiererin, Teilprojektleiterin bei der Fa. Giktec GmbH, Paderborn
	03.01 – 03.13	Anwendungsprogrammiererin, Projektleiterin ERP und Logistik bei der Fa. TEAM GmbH, Paderborn-Schloss-Neuhaus
	Seit 04.13	IT-Leiterin bei der Fa. heroal Johann Henkenjohann GmbH + Co. KG, Verl

Veröffentlichungen

Oklitz, S.; Parlow, H.; Walter, M.: *Qualitätsmanagement in der Systementwicklung*. In: Nieland, S. (Hrsg.): *Ausgewählte Themen zum Software-Engineering*, Shaker-Verlag, 2002

Walter, M.: *Methoden und Konzepte zur Verbesserung von Qualität und Qualitätsmanagement in den frühen Phasen des Softwareentwicklungsprozesses*. Nieland, S.; Oertmann, W. (Hrsg.), Shaker-Verlag 2004

Pawlowski, J.; Walter, M.: *Quality for Global Knowledge Intensive Organizations: A step-by-step Guide*. In: Ehlers, U.; Schneckenberg, D. (Eds.): *Changing Cultures in Higher Education*, Springer-Verlag 2010

Walter, M.: *Standardisierte Kennzahlensysteme in der Intralogistik – Nutzen und Optimierungspotenzial erkennen*. In: Pradel, Uwe-Heiner; Süssenguth, Wolfram; Piontek, Jochem; Schwolgin, Armin (Hrsg.): *Praxishandbuch Logistik*, September 2011. Wolters Kluwer Verlag, Deutscher Wirtschaftsdienst. Abschnitt 9.5.8

Walter, M.: *Standardisierte Kennzahlensysteme in der Intralogistik – Nutzen und Optimierungspotenzial erkennen*. In: Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): *Jahrbuch Logistik 2012*. free beratung GmbH, Korschbroich. S. 194-197

Walter, M.: *Optimierung von Simulationsstudien durch Integration von Data-Warehouse-Technologien*. In: Pradel, Uwe-Heiner; Süssenguth, Wolfram; Piontek, Jochem; Schwolgin, Armin (Hrsg.): *Praxishandbuch Logistik*, November 2014. Wolters Kluwer Verlag, Deutscher Wirtschaftsdienst. Abschnitt 7.6.12

Walter, M.; Hahn, A.: *Unterstützung von datengetriebenen Prozessschritten in Simulationsstudien durch Verwendung multidimensionaler Datenmodelle*. In: Ritter, Norbert; Henrich, Andreas; Lehner, Wolfgang; Thor, Andreas; Friedrich, Steffen; Wingerath, Wolfram (Hrsg.): *Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2015)*. Workshopband, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik e. V. (GI), Bonn, 2015. S. 243-252

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt durch meine Unterschrift, dass ich die Dissertation „Ein Konzept zur Identifikation von Unterstützungspotenzial für Simulationsstudien bei Verwendung multidimensionaler Datenmodelle“ selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und alle Stellen, die ich wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe, mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe. Die Arbeit hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum

Unterschrift