

Bachelorarbeit

**Identifikation von Anforderungen an die  
Modellierung von Maßnahmen in  
Simulationsmodellen von  
Logistiknetzwerken des Großhandels**

Mikhail Erushev  
30.09.2019

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe

Prof. Dr. Peter Buchholz

Technische Universität Dortmund  
Fakultät für Informatik  
Lehrstuhl für praktische Informatik (LS-4)  
<http://ls4-www.cs.tu-dortmund.de>

In Kooperation mit:  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet IT in Produktion und Logistik  
<https://www.itpl.mb.tu-dortmund.de>



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Großhandel</b>	<b>4</b>
2.1 Definition und Grundlagen . . . . .	4
2.2 Logistiknetzwerken des Großhandels . . . . .	6
2.3 Maßnahmen in Logistiknetzwerken des Großhandels . . . . .	9
<b>3 Logistische Assistenzsysteme</b>	<b>11</b>
3.1 Klassifizierung von Assistenzsystemen . . . . .	11
3.2 Methoden in Logistischen Assistenzsystemen für die Untersuchung von Logistiknetzwerken . . . . .	14
3.3 Datengetriebene ereignisdiskrete Simulation . . . . .	16
<b>4 Formale Sprachen</b>	<b>18</b>
4.1 Grundlagen der formalen Sprachen . . . . .	18
4.2 Chomsky-Hierarchie von formalen Sprachen . . . . .	20
4.3 Domänenspezifische Sprachen . . . . .	23
<b>5 Identifikation von Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen in Simulationsmodellen von Logistiknetzwerken des Großhandels</b>	<b>25</b>
5.1 Ablauf der Modellierung und Umsetzung von Maßnahmen . . . . .	25
5.2 Identifikation von Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen . .	27
5.2.1 Einflussfaktoren aus der Anwendungsdomäne . . . . .	27
5.2.2 Einflussfaktoren aus der Umsetzung von Maßnahmen . . . . .	28
5.2.3 Einflussfaktoren aus der Modellierung von Maßnahmen . . . . .	29
5.2.4 Übersicht von identifizierten Einflussfaktoren . . . . .	31
5.3 Ableitung von Anforderungen anhand der identifizierten Einflussfaktoren . .	32
5.3.1 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Modellierbarkeit von möglichen Änderungen . . . . .	32

5.3.2	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Anwendbarkeit in logistischen Assistenzsystemen . . . . .	33
5.3.3	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Verwendung der anderen Maßnahmen . . . . .	33
5.3.4	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Veränderungen an Simulationsmodellen . . . . .	34
5.3.5	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für rechnergestützte Umsetzung	34
5.3.6	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Inkonsistenzen . . . . .	35
5.3.7	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für formale Modellierung . . .	35
5.3.8	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Modellierung durch Experten der Domäne . . . . .	35
5.3.9	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für eine konsistente Struktur von Maßnahmen . . . . .	37
5.3.10	Anforderungen aus dem Einflussfaktor für eine generische Modellierung	37
5.4	Zusammenfassung der Anforderungen . . . . .	38
5.4.1	Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Anforderungen . . . . .	38
5.4.2	Priorisierung von Anforderungen . . . . .	41
5.4.3	Gruppierung von priorisierten Anforderungen . . . . .	45
<b>6</b>	<b>Eignung von formalen Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen</b>	<b>47</b>
6.1	Erfüllung von Anforderungen aus der Gruppe " must have" . . . . .	47
6.2	Erfüllung von Anforderungen aus der Gruppe " should have" . . . . .	49
6.3	Erfüllung von Anforderungen aus der Gruppe " nice to have" . . . . .	50
6.4	Eignung von formalen Sprachen anhand erfüllter Anforderungen . . . . .	51
<b>7</b>	<b>Evaluation der Anforderungen</b>	<b>52</b>
7.1	Domänenspezifische Sprache von Schmitt . . . . .	52
7.2	Modellierung von Maßnahmen durch Sprache von Schmitt . . . . .	55
7.3	Bewertung der Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen . . . . .	57
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>60</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>69</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>70</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>71</b>

# 1. Einleitung

Logistik gehört zu den wichtigsten Funktionen der Wirtschaft (Rabe u.a. 2018b, S. 2876). Die Grundaufgabe der Logistik ist die Bereitstellung der richtigen Waren im richtigen Zustand zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort (Muchna u.a. 2018, S. 8). Für die Lösung dieser Aufgabe können Logistiknetzwerke (LNW) genutzt werden, die geographisch und hierarchisch geordnete Systeme von Knoten und Kanten sind, wobei Knoten durch Kanten verbunden werden (Gudehus 2005, S. 8; Bretzke 2010, S. 47). Die Knoten können beispielsweise Lager oder Produktionsstellen sein, die Kanten Waren- oder Informationsflüsse (Mattfeld und Vahrenkamp 2014, S. 5). Aufgrund der zunehmenden Globalisierung nimmt die Anzahl von Akteuren in einem solchen Netzwerk zu. Die Zunahme führt in der Folge zu einem Komplexitätseinstieg der LNW. (Pfohl 2004, S. 45; Muchna u.a. 2018, S. 120). Kontrolle und Steuerung von komplexen Netzwerken ist eine Problemstellung, die besonders Großhandelsunternehmen betrifft, da diese oft globale und hochkomplexe LNW betreiben (Pfohl 2004, S. 48; Rabe, Dross u.a. 2017, S. 109). Großhandelsunternehmen spielen eine wichtige Rolle in der deutschen Wirtschaft und arbeiten als Bindeglied zwischen den beteiligten Unternehmen (Kotler u.a. 2015, S. 12f. Samadi 2009, S. 566).

In der Logistik müssen viele Entscheidungen getroffen werden, die zum Beispiel auf Nachfrageschwankungen und Versorgungsunterbrechungen begründet sein können (Chopra und Meindl 2010, S. 163). Als Lösung von Entscheidungsproblemen sind unter anderem Maßnahmen anwendbar, die eine Folge von Handlungsanweisungen darstellen und ein System vom Istzustand in einen Sollzustand überführen (Thissen 2018, S. 46). Die hohe Komplexität und Größe der Netze macht es fast unmöglich alle Konsequenzen ohne spezielle Instrumente vorausszusehen, die nach der Anwendung von Maßnahmen auftreten können (Rabe, Schmitt, Klüter u.a. 2019, S. 32f.). Aus diesem Grund werden für die Kontrolle und die Steuerung von LNW Logistische Assistenzsysteme (LASE) verwendet (Buchholz und Clausen 2009, S. 245). LAS sind rechnerbasierte Systeme, die als Unterstützung für die Identifikation und Evaluierung von Entscheidungen genutzt werden können (Buchholz und Clausen 2009, S. 242). Diese Systeme können beispielsweise auf einer datengetriebenen ereignisdiskreten Simulation (DES, discrete event simulation) basieren und erlauben die Modellierung von Prozessen eines LNW durch das Erstellen

von Simulationsmodellen (SM) (Buchholz und Clausen 2009, S. 256). Die Modellierung von LNW in LAS kann für die Bewertung und die Auswahl von Maßnahmen, zum Beispiel der Bewertung der Veränderung von Beständen, genutzt werden (Buchholz und Clausen 2009, S. 244; Rabe, Schmitt, Klüter u. a. 2019, S. 32). Die Modellierung und der Einsatz von Maßnahmen in SM von LNW kann für die Nutzer sehr komplex sein, wodurch die Nutzung der LAS beschränkt wird (Rabe, Dross u. a. 2017, S. 113).

Ein potenzieller Lösungsansatz ist die in die LAS integrierte und konsistente Modellierung von Maßnahmen. Grundlage eines solchen Ansatzes ist eine formale Beschreibung von Maßnahmen, wobei die modellierten Maßnahmen im Kontext von SM umgesetzt werden. Die formale Beschreibung der Maßnahmen soll mächtig genug sein, um alle notwendigen Maßnahmen zu erzeugen, die im LNW angewendet werden können. Zudem besteht die Anforderung, dass die Maßnahmen für die Modellierer und Benutzer verständlich sein müssen. (Rabe, Dross u. a. 2017, S. 113) Für den Aufbau einer formalen Beschreibung von Maßnahmen sind die Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen in SM von LNW zu identifizieren.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Identifikation von Anforderungen an eine formale Beschreibung von Maßnahmen in LNW des Großhandels. Daraus resultiert die Notwendigkeit der Bestimmung von Einflussfaktoren, anhand derer die Anforderungen festgestellt werden können. Anforderungen, die anhand von Einflussfaktoren abgeleitet werden, sollen abhängig von Wechselwirkungen entsprechend verändert werden. Ein weiteres Teilziel ist, zu prüfen, ob sich anhand der festgestellten Anforderungen die Klasse der formalen Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen in SM von LNW des Großhandels eignen. Als abschließendes Teilziel sind die resultierenden Anforderungen zu evaluieren.

Zur Ermittlung der Einflussfaktoren müssen alle Schritte in der Modellierung von Maßnahmen identifiziert werden. Dazu sind die Grundlagen von LNW des Großhandels und Maßnahmen in LNW des Großhandels darzustellen. Im Anschluss sollen die Grundlagen von LAS betrachtet werden, um festzustellen welche Einflussfaktoren aus der Modellierung der Maßnahmen resultieren können. Den abschließenden Teil der Grundlagen bilden die Grundlagen zu den formalen Sprachen. Nach dem Grundlagenteil folgt die Identifikation von Einflussfaktoren und die Ableitung von Anforderungen anhand der identifizierten Faktoren. Diese Anforderungen können aufeinander Einfluss haben, weswegen die Wechselwirkungen zwischen den Anforderungen bestimmt werden müssen. Außerdem sollen die Anforderungen priorisiert werden. Anhand der festgestellten Prioritäten werden die Anforderungen nach Gruppen mit verschiedenen Prioritäten aufgeteilt. Danach wird geprüft, ob die Maßnahmen mit Hilfe formaler Sprachen modelliert werden können. Abschließend werden die resultierenden Anforderungen an die Maßnahmenmodellierung evaluiert. Die Evaluation zeigt, wie die Modellierung von

Maßnahmen anhand der resultierenden Anforderungen aussehen wird und inwiefern die modellierten Maßnahmen für die Umsetzung im Kontext von SM geeignet sind.

## 2. Großhandel

In diesem Kapitel werden die Grundlagen des Großhandels erläutert. Zuerst werden der Großhandel und Großhandelsunternehmen definiert, sowie Funktionen und Unterschiede gegenüber anderen Bereichen des Handels im Abschnitt 2.1 benannt. Danach werden in den Abschnitten 2.2 und 2.3 die LNW des Großhandels sowie Maßnahmen innerhalb dieser vorgestellt. Der Fokus bei diesen Grundlagen liegt auf LNW von Großhandelsunternehmen sowie auf Maßnahmen, die innerhalb dieser LNW vorgenommen werden können. Aus den beiden Bereichen werden in Kapitel 5 die Einflussfaktoren identifiziert.

### 2.1 Definition und Grundlagen

Der Handel besitzt viele verschiedene Betriebsformen, die in drei Bereiche eingeordnet werden können: Einzelhandel, Großhandel und Handelsvermittlung (Müller-Hagedorn u. a. 1998, S. 31). Im Jahr 2005 war der Großhandel nach den Umsatzzahlen einer der größten Bereiche in der deutschen Wirtschaft (*Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland*. August 2005, S. 396). Obwohl die Anzahl an Konkurrenten steigt, spielt der Großhandel immer noch eine wichtige Rolle (Kotler u. a. 2015, S. 566). Im Jahr 2017 waren in Deutschland fast 150.000 Unternehmen im Großhandel tätig, in denen 1.890.891 Mitarbeiter beschäftigt waren. Der Umsatz des Großhandels im Jahr 2016 betrug 1.164,57 Milliarden Euro und soll bis 2022 weiter steigen. ("Großhandel in Deutschland" 2017, S. 26, 60, 24)

Es existieren verschiedene Definitionen des Großhandels, jedoch viele Literaturquellen verweisen auf dieselbe Definition (Müller-Hagedorn u. a. 1998, S. 54; Tietz u. a. 2007, S. 30; Samadi 2009, S. 8):

*"Großhandel im funktionellen Sinnen liegt vor, wenn Marktteilnehmer Güter, die sie in der Regel nicht selbst be- oder verarbeiten, vom Hersteller oder anderen Lieferanten beschaffen und an Wiederverkäufer, Weiterverarbeiter, gewerbliche Verwender (z.B. Behörden, Bildungsstätten) oder an sonstige Institutionen (z.B. Kantinen, Vereine), soweit es sich nicht um private Haushalte handelt absetzen."* (Handelsforschung 2006, S. 37).

Ein Großhandelsunternehmen ist ein Betrieb, "deren wirtschaftliche Tätigkeit ausschließlich oder überwiegend dem Großhandel im funktionellen Sinne zuzurechnen ist" (Handelsforschung 2006, S. 38). Manchmal ist nicht eindeutig zu bestimmen, ob ein Unternehmen ein Großhandelsbetrieb ist oder nicht, da Großhandelsunternehmen viele verschiedene Tätigkeiten ausüben (Cannon u. a. 2006, S. 319). Trotzdem existieren drei wichtige Unterschiede zwischen Großhandelsunternehmen und Kleinhandelsunternehmen (Kotler u. a. 2015, S. 564):

- Werbemaßnahmen, Atmosphäre und Lage sind für Großhändler unwichtiger, weil sie mit industriellen Kunden und nicht mit Endverbrauchern handeln;
- Bei Großhandelsunternehmen treten Ausfälle von Transaktionen häufiger ein und diese Unternehmen umfassen meistens größere Handelsgebiete;
- Zuletzt sind Großhändler und Kleinhändler an unterschiedliche Gesetze und Regelungen gebunden;

Die Handelsvermittlung stellt einen wesentlichen Unterschied zwischen Groß- und Kleinhandel, weil ein Handelsvermittler kein Eigentümer von Waren ist, sondern ein Makler zwischen Verkäufer und Käufer. Er vermittelt den Ankauf und Verkauf von Waren unter fremden Namen auf fremde Rechnungen. (Müller-Hagedorn u. a. 1998, S. 29)

Großhandelsunternehmen besitzen die Möglichkeit viele Funktionen effizienter auszuüben, als der Einzelhändler. Für diese Bachelorarbeit sind die folgenden Funktionen relevant: Einkauf und Sortimentsbildung, Aufteilung großer Mengen, Lagerung, Transport. Diese Funktionen prägen die LNW des Großhandels. (Kotler u. a. 2015, S. 564; Samadi 2009, S. 12f.)

Es existieren verschiedene Betriebsformen im Großhandel, in denen sich die Großhandelsunternehmen nach verschiedenen Merkmalen unterscheiden. Kysela fasst vier Kategorien dieser Merkmale zusammen (Kysela 1994, S. 66):

- Gesamtwirtschaftliche Einordnung,
- Gesamtwirtschaftliche Funktionen,
- Unternehmensstruktur,
- Absatzpolitische Instrumentarien.

Unternehmen des Großhandels werden nach Sortiment, Absatz- und Beschaffungsbereichen, Dienstleistungs- und Logistikintensität unterschieden (Handelsforschung 2006, S. 36). Es werden zehn Betriebstypen definiert, die sich durch die nachstehenden Kriterien voneinander abheben (Handelsforschung 2006, S. 36-41). Obwohl die Betriebstypen Unterschiede in ihren Eigenschaften und Merkmalen besitzen, können diese als LNW modelliert werden (Bruncken und Jungen 2018, S. 8). Das heißt, dass die Maßnahmen für alle diese Netzwerke nach gleichem Prinzip modelliert werden können und sich anwenden lassen (Schönherr 2016, S. 55f.).

## 2.2 Logistiknetzwerken des Großhandels

Unternehmen besitzen und tauschen untereinander Rechte, Güter, Finanzströme sowie Informationen (Handelsforschung 2006, S. 5). Die dabei stattfindenden Transport- und Lagerungsprozesse, insbesondere die von Sachgütern, nennt man *logistische Prozesse*. Um diese Prozesse effizient durchzuführen, wird die operative Logistik benötigt, deren Grundaufgabe "Effizientes Bereitstellen der geforderten Mengen benötigter Objekte in der richtigen Zusammensetzung zur rechten Zeit am richtigen Ort" ist (Gudehus 2005, S. 7).

Nach Bretzke ist ein LNW (logistisches Netzwerk oder Liefernetz) *"ein geordnetes System von hierarchisch und geografisch angeordneten, im Hinblick auf ein Leistungsziel komplementären Ressourcenknoten und diese Knoten verbindenden Flüssen ("Kanten"), dem dauerhaft die Aufgabe zufällt, in einem Leistungsverbund Quellen (z. B. Produktionsstätten) bedarfsgerecht und wirtschaftlich mit Senken (Abnehmern) zu verbinden"* (Bretzke 2010, S. 47).

Transport-, Lagerungs- und Umschlagsprozesse, die in LNW stattfinden, gewährleisten die Zeit- und Raumüberbrücken von Gütern und Informationen (Pfohl 2016, S. 97). Das heißt, dass LNW zur Lösung der Grundaufgaben der Logistik beitragen (Gudehus 2005, S. 8).

Ein Logistiksystem besteht aus drei Gruppen von Komponenten: Systemen, Prozessen und Objekten. Komponenten in diesen Kategorien können in stationär, bewegt und verschachtelt eingeordnet werden. Einige Komponenten können gleichzeitig zu zwei Kategorien gehören, wie zum Beispiel die Ressourcen. Abbildung 2.1 veranschaulicht die Typologie von Logistiksystemen. Diese Typologie zeigt die einzelnen Komponenten aus denen ein LNW besteht und wie Kategorien von Komponenten miteinander interagieren. (Koch 2014, S. 9, 185)

LNW lassen sich als Netzwerke darstellen, die aus Knoten und Kanten bestehen. Anhand von Relationen (physischen, logischen, hierarchischen oder zeitlichen) stellen die Knoten, Kanten und Kantengewichte verschiedene Objekte und Angaben dar. Beispielsweise stellen bei der physischen Relation die Knoten Orte und die Kanten Verkehrswege dar sowie wird Kantengewicht durch Distanzen ausgedrückt. (Mattfeld und Vahrenkamp 2014, S. 5)

Für die Gestaltung von LNW werden unterschiedliche Typen von Relationen benötigt, um alle Funktionen und Eigenschaften von Bestandteilen der LNW aufzufassen. Mit den Knoten werden die Logistikstationen, meistens Lagerhäuser und Umschlagspunkte, dargestellt. Des Weiteren können Knoten auch andere Funktionen zugewiesen werden, wie zum Beispiel Reparaturen, Endmontagearbeiten, Umpacken usw. Die Knoten können anhand von Funktionen verschiedene Parameter besitzen, wie beispielsweise Kapazitäten, Durchlaufzeiten oder Information über gelagerte Güter. Mit den Kanten werden Distanzen, Zeitverbräuche, Lieferfrequenzen und Kosten abgebildet. (Bretzke 2010, S. 47)

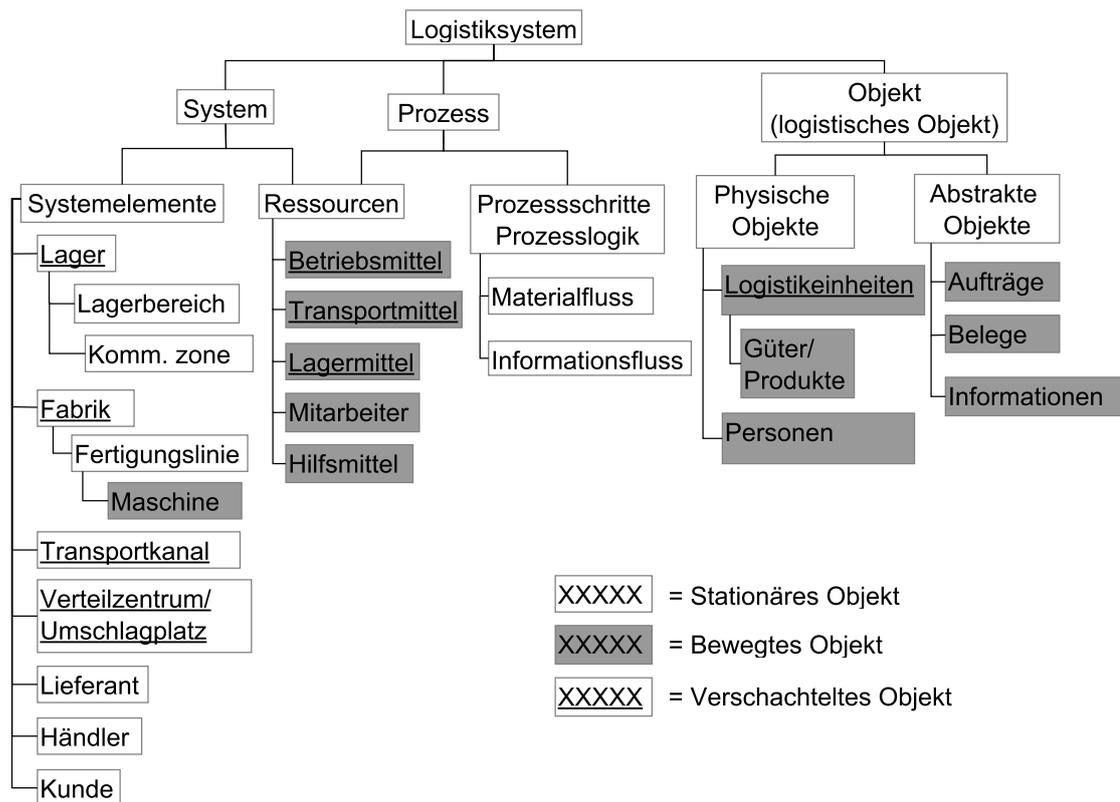


Abbildung 2.1: Typologie eines Logistiksystems

Eine der Aufgaben in der Gestaltung von LNW ist die Strukturkonfiguration, die über die Anzahl und Lage von Logistikstandorten und die Transportverbindungen zwischen diesen entscheidet (Günther u. a. 2007, S. 62). Dabei besteht die Struktur der LNW besteht aus drei wichtigen Teilen: Quellen oder Lieferstellen, Logistikstationen und Senken oder Empfangstellen. Für diese Komponenten werden entsprechend Anzahlen, Standorte und Funktionen definiert. Für Logistikstationen wird zudem die Zuordnung zwischen Liefer- und Empfangsstellen festgelegt. (Gudehus 2010, S. 17)

Nach Gudehus (Gudehus 2010, S. 17) unterscheiden sich die LNW nach der Anzahl an Zwischenstationen, die die logistischen Objekte von Lieferstelle bis Empfangsstelle durchlaufen. Eine  $N$ -stufige LNW besteht aus  $N$  Transportabschnitten, die mit  $N - 1$  Zwischenstationen verbunden sind (Gudehus 2010, S. 17). Das erste LNW in Abbildung 2.2 ist ein 1-stufiges LNW. In einem 1-stufigen LNW können Handelsvermittler tätig sein, weil sie oft als Makler arbeiten und daher keine eigenen LNW benötigen (Müller-Hagedorn u. a. 2012, S. 70). Das zweite LNW ist ein 2-stufiges LNW. Dabei ist "H" in der Abbildung 2.2 ein Hersteller, "A" ist ein Abnehmer und "G" ist ein Großhändler. Alle Knoten sind mit Kanten verbunden, die die Flüsse repräsentieren. Ein

Fluss kann ein Waren- oder Informationsfluss sein, in dem die Waren von Hersteller zum Abnehmer fließen und Information beidseitig ausgetauscht wird.

Die Abbildung 2.2 veranschaulicht, dass mehrere Verbindungen zwischen Quellen und Senken existieren können. Das führt zur Erhöhung des Aufwands für Hersteller und Abnehmer, um Kontakte zwischen beiden herzustellen. Der Großhändler arbeitet als Bindeglied zwischen Hersteller und Abnehmer und übernimmt dabei die Funktion Kontakte zwischen beiden zu vermitteln. Diese Arbeitsweise prägt LNW. Abbildung 2.2 zeigt die Grundstruktur des LNW mit und ohne Großhändler im System. (Samadi 2009, S. 12f.)

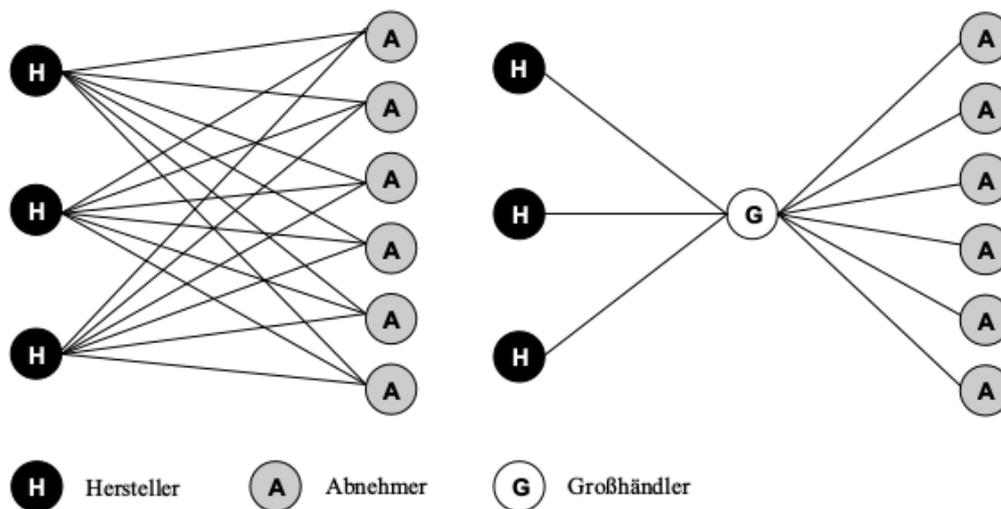


Abbildung 2.2: Grundstruktur des LNW mit und ohne Großhändler

Um die Funktion des Vermittlers zwischen Zulieferern und Abnehmern zu übernehmen, sollte der Großhändler die benötigten Funktionen effizienter und kostengünstiger erfüllen, als es die einzelnen Teilnehmer können. Das Großhandelsunternehmen kann auch einige logistische Funktionen seiner Kunden übernehmen. (Samadi 2009, S. 13f.) Dadurch steigt die Komplexität der LNW des Großhandels der Aufwand zur Verwaltung der LNW wachsen kann. Es existieren Großhändler, die international arbeiten, und hunderte Logistikstationen sowie hunderttausende Artikel besitzen können. (Rabe, Dross u. a. 2017, S. 109) Da die Komplexität dieser LNW sehr hoch ist, wird die rechnergestützte Simulation genutzt, in welcher die LNW als SM abgebildet werden (Rabe, Schmitt, Klüter u. a. 2019, S. 33).

Die Modellierung von LNW umfasst eine große Anzahl an Modellen, die verschiedene Einsatzzwecke, Arten von Informationen und Abstraktionen haben können. Weil das Verhalten dieser Systeme analytisch schwer vorausszusehen ist, liegt der Fokus der Bachelorarbeit auf SM, die helfen komplexe Systeme zu untersuchen und alle Ursache-Wirkungsbeziehungen-Beziehung zu berücksichtigen. (Furmans u. a. 2008, S. 36f.)

Die Datenbasis spielt eine entscheidende Rolle in der Qualität von Simulationsexperimenten (Tempelmeier 2018, S. 4). Die Assistenzsysteme, mit denen Logistiksysteme modelliert werden, nutzen Datenbanksysteme für die Bildung von SM der LNW (Tempelmeier 2018, S. 77).

Für die Modellierung von logistischen Systemen wird oft ein objektorientierter Ansatz gewählt (Czuchra 2010, S. 21). So werden die Komponenten als Einheiten in den Datenbanktabellen gespeichert. Zum Beispiel kann eine Fabrik aus Abbildung 2.1 als eine Einheit in der Tabelle "Fabriken" mit Attributen, wie "Adresse", "Name" oder anderen, sein. Relationale Datenbanken ermöglichen eine bessere Konsistenz der Daten und flexiblere Datenbankzugriffe (Furmans u. a. 2008, S. 805).

Die Verwaltung und Kontrolle der LNW wird bei Manager aus dem Bereich Logistik und Supply Chain Management durchgeführt (U. Wegner und K. Wegner 2017, S. 228; Khan und Yu 2019, S. 36). Um diese Aufgabe zu erfüllen, werden die logistischen Maßnahmen genutzt, die für die Lösung bestimmter Aufgaben angewendet werden (Thissen 2018, S. 46f.).

## 2.3 Maßnahmen in Logistiknetzwerken des Großhandels

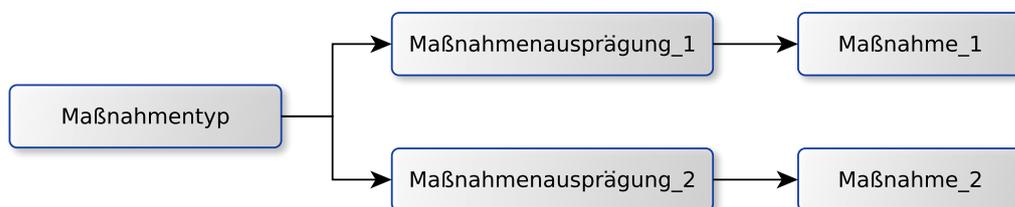
In der Logistik existieren viele Bereiche, in denen Entscheidungen getroffen werden müssen. Entscheidungen müssen beispielsweise getroffen werden, wenn Versorgungsschwankungen oder Versorgungsunterbrechungen vorliegen. (Chopra und Meindl 2010, S. 163) Es können aber auch strategische Entscheidungen sein, wie zum Beispiel der Aufbau von Markteintrittsbarrieren (Furmans u. a. 2008, S. 911). Für die Lösung des Entscheidungsproblems werden Handlungsweisen in Form von *Maßnahmen* definiert (Thissen 2018, S. 46). Unter Handlungsanweisungen versteht man eine Folge von Aktionen, die den Ist-Zustand in den Soll-Zustand überführen.

Laut der Definition von Thissen sind die Maßnahmen *"alternative Handlungsweisen, die einem Entscheider zur Lösung einer bestimmten Planungsaufgabe zur Verfügung stehen, wobei jede Handlungsoption eine individuelle Wirkung auf das gewählte Zielsystem hat. Die Menge der möglichen Handlungsoptionen wird durch den Freiheitsgrad eingeschränkt, der dem Entscheidungsträger zur Verfügung steht "* (Thissen 2018, S. 46).

Eine Maßnahme kann zum Beispiel die Erhöhung des Bestands von einem bestimmten Artikel in einem bestimmten Lager sein (Rabe, Schmitt, Klüter u. a. 2019, S. 32).

Für die Gruppierung von Maßnahmen werden die *Maßnahmentypen* genutzt, die eine Menge von Maßnahmen umfassen und sich durch eine gemeinsame Menge an Parametern konkret definieren lassen. Die Maßnahmentypen beschreiben eine gleiche Folge von Handlungsoptionen, die auf verschiedene Parameter angewendet werden kann. Die

Kombination von Parametern für einen Maßnahmentyp wird als *Maßnahmenausprägung* bezeichnet. Mit ihrer Hilfe werden die Maßnahmen von Maßnahmentypen abgeleitet (Thissen 2018, S. 47f.). Abbildung 2.3 zeigt den Zusammenhang zwischen Maßnahmentyp, Maßnahmenausprägung und Maßnahme.



**Abbildung 2.3:** Zusammenhang zwischen Maßnahmentyp, Maßnahmenausprägung und Maßnahme

Ein Beispiel für einen Maßnahmentyp kann die Erhöhung des Bestands eines bestimmten Artikels in einem Lager sein. Die Maßnahmenausprägung kann ein bestimmtes Lager sein und die resultierende Maßnahme ist die Erhöhung des Bestandes eines bestimmten Artikels in einem bestimmten Lager. Die Anzahl von resultierenden Maßnahmen aus einem Maßnahmentyp kann beliebig sein, was von der Anzahl der Maßnahmenausprägungen abhängt.

Es gibt eine Reihe von Merkmalen, anhand derer sich die Maßnahmen unterscheiden lassen. Diese Merkmale können der Planungs- und Realisierungshorizont, die Bedeutung für Unternehmen oder Handlungsfelder sein. (Thissen 2018, S. 49; Schönherr 2016, S. 55) Im Rahmen dieser Arbeit werden logistische Maßnahmen betrachtet, da diese LNW ändern können. Komponenten und der Zusammenhang von Komponenten eines LNW können durch logistische Maßnahmen modifiziert werden. Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht über mögliche logistische Maßnahmen, die in einem LNW eingesetzt werden können:

Maßnahme	Beschreibung
1	Veränderungen bestehender Strukturen. Beispielweise Erhöhung der Kapazität eines Lagers (Günthner 2007, S. 321)
2	Änderung des Bestands eines Artikels (Rabe u. a. 2018b, S. 2873)
3	Erhöhung der Frequenz des Verkehrs auf einer Transportroute (Rabe u. a. 2018b, S. 2873)
4	Verschiebung von Aufträgen in ein anderes Produktionswerk (Thissen 2018, S. 106)
5	Auf- und Abbau von Personal (Thissen 2018, S. 106)
6	Entfernen einer Transportverbindung (Schönherr 2016, S. 55)
7	Einfügen einer Transportverbindung (Schönherr 2016, S. 55)

**Tabelle 2.1:** Mögliche logistische Maßnahmen in einem LNW

# 3. Logistische Assistenzsysteme

Dieses Kapitel veranschaulicht LAS, die für die Entscheidungsunterstützung genutzt werden, und Verfahren, die in den LAS angewendet werden. Im Abschnitt 3.1 werden die Grundlagen von LAS vorgestellt. Abschnitt 3.2 beschreibt Verfahren, die in LAS angewendet werden können. Im Abschnitt 3.3 werden die Grundlagen von DES und die Anwendung von Maßnahmen in SM von LNW betrachtet.

## 3.1 Klassifizierung von Assistenzsystemen

Die hohe Komplexität von LNW führt zur Notwendigkeit der Anwendung von rechnergestützter Modellierung und Simulation für die Entscheidungsunterstützung in der Verwaltung von LNW (Rabe, Schmitt, Klüter u. a. 2019, S. 33; Kovacs u. a. 2018, S. 100). Für das Treffen von richtigen Entscheidungen wird nicht nur die Information über das LNW benötigt, sondern auch die Modellierung und Analyse von gelieferten Informationen mit der Hilfe von mathematischen Modellen und anderen Verfahren. Diese Aufgaben können die Assistenzsysteme für die Entscheidungsunterstützung lösen. (Kress 2016, S. 104)

Assistenzsysteme sind "rechnerbasierte Systeme, die den Menschen bei der Entscheidungsfindung und -durchführung unterstützen" (Buchholz und Clausen 2009, S. 242). Diese Systeme werden in verschiedenen Bereichen eingesetzt, so auch in der Domäne der Logistik (Buchholz und Clausen 2009, S. 241). LAS helfen logistische Probleme, wie zum Beispiel das "Vehicle Routing Problem" sowie seine Varianten, zu lösen (Linden u. a. 2015, S. 26). Hellingrath und Kuhn haben drei Einsatzgebiete von Assistenzsystemen in der Logistik definiert (Kuhn und Hellingrath 2002, S. 142 ff.):

- *Gestaltung*: Assistenzsysteme unterstützen die Entscheidungen auf der strategischen Ebene, in der der Planungshorizont Jahre beträgt. An modellierten LNW werden verschiedene Szenarien untersucht und anhand dieser Szenarien die Investitionsentscheidungen bewertet.
- *Taktische und operative Planung*: Es werden Bereiche von LNW bis hin zu einzelnen Prozessen betrachtet. Das Ziel dieser Betrachtung ist die Unterstützung der mittel-

und langfristigen Entscheidungen, dabei ist der Detaillierungsgrad bei der operativen Planung kleiner als bei der taktischen Planung. Es können beispielsweise folgende Aufgaben vorkommen: Distributionsplanung, Beschaffungsplanung, Verfügbarkeits- und Machbarkeitsprüfung.

- *Exekutiver Betrieb*: Das Ziel ist die Unterstützung von Entscheidungen in der operativen Arbeit. Beispielsweise sind dies Auftrags-, Transport- und Lagerabwicklung.

Assistenzsysteme sind Schnittstellen, die die Interaktion zwischen Mensch und Maschine unterstützen. Die Maschine kann zum Beispiel ein Rechner sein und bietet eine Unterstützung für einen Menschen, der Logistik-Manager sein kann. Diese Unterstützung unterscheidet sich in der Verteilung von Aufgaben zwischen den Mensch und Maschine. Endsley hat eine Hierarchie mit 10 Automatisierungsstufen entwickelt. Diese zeigt die Aufgabeverteilung zwischen Mensch ("H") und Maschine ("C") in folgenden Bereichen: Systemüberwachung (Monitoring), Erstellung von Handlungsalternativen (Generating), Auswahl von Handlungsalternativen (Selecting) und Durchführung von Handlungsalternativen (Implementing). Diese Hierarchie wird durch Tabelle 3.1 veranschaulicht. Die Tabelle besteht aus 10 Automatisierungsstufen, in der jede Stufe über eine Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine verfügt. (Buchholz und Clausen 2009, S. 241-243)

Level of control	Monitoring	Generating	Selecting	Implementing
1. Manuel Control	H	H	H	H
2. Action Support	HC	H	H	HC
3. Batch Processing	HC	H	H	C
4. Shared Control	HC	HC	H	HC
5. Decision Support	HC	HC	H	C
6. Blended Decision Making	HC	HC	HC	C
7. Rigid system	HC	C	H	C
8. Automated Decision Making	HC	HC	C	C
9. Supervisory Control	HC	C	C	C
10. Full Automation.	C	C	C	C

**Tabelle 3.1:** Aufgabeverteilung zwischen Mensch und Maschine

Der Fokus der Bachelorarbeit liegt auf den Systemen, die die Kontrolle über die Stufen 2. bis 5. haben. Diese Systeme unterstützen die Überwachung des Systems und führen die Maßnahmen komplett oder teilweise unabhängig vom Menschen aus. Systemen mit anderen Stufen der Unterstützung erlauben nicht die rechnergestützte Umsetzung der Maßnahmen oder die Rolle von Mensch in der Generierung oder Auswahl von Maßnahmen zu klein ist. Aus diesem Grund werde die nicht betrachtet. Die Generierung der Maßnahmen wird zudem durch diese Systeme unterstützt. Es können beispielsweise

aufwändige Berechnungen ausgeführt werden (Kress 2016, S. 104). Die wichtigste Rolle in der Modellierung und Auswahl von Maßnahmen behält der Mensch.

Diese Systeme können 6 Funktionen enthalten, die für die Entscheidungsunterstützung benötigt werden (Buchholz und Clausen 2009, S. 244):

1. Vorbereitung von Information für die Entscheidungsunterstützung, zum Beispiel die Informationserzeugung und -filterung
2. Erzeugung von Handlungsalternativen
3. Bewertung von generierten Handlungsalternativen
4. Auswahl von Handlungsalternativen
5. Überwachung der Ausführung von gewählten Handlungsalternativen
6. Kontrollieren der Ausführung von Handlungsalternativen

Infolge der Komplexität der Systeme und der großen Menge von Information werden die oben genannten Funktionen sehr zeitaufwändig für den Menschen. Dadurch, dass Assistenzsysteme computerbasiert sind, wird die schnelle Durchführung der vorgestellten Funktionen ermöglicht. Es werden verschiedene Verfahren angewendet, um diese Funktionen durchzuführen. Zum Beispiel können für das Lösen von logistischen Problemen, in denen die Entitäten optimal verteilt werden sollen, Warteschlangenmodelle, stochastische Optimierung oder Simulation genutzt werden. (Kress 2016, S. 104)

Die Tabelle 3.2 veranschaulicht LAS aus Bereichen der LNW. Es werden auch die Aufgaben beschrieben, die diese LAS lösen.

Assistenzsystem	Aufgaben
Tourenplanung	Berechnung der optimalen Zuordnung von Transportaufträgen zu Transportmitteln für die Kosten- und Lieferzeitsenkung, Erhöhung der Liefertermintreue (Buchholz und Clausen 2009, S. 256-261).
Rohstoffbeschaffung	Unterstützung von Mitarbeitern in der Beschaffungsplanung und Beschaffungsabwicklung von Rohstoffen für Stahlkonzerne (Buchholz und Clausen 2009, S. 261-268).
ITPL SimHeuristic Approach	Verwaltung von großen und komplexen LNW (Dross und Rabe 2014, S. 247-253).
InKoRISK Projekt von IML Fraunhofer	Modellierung von Maßnahmen für LNW von Unternehmen. Die Maßnahmen sollen die Risiken in LNW bewältigen und niedrige Kosten verursachen. (Verkehrstechnologien für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Oktober 2012, S 24)

**Tabelle 3.2:** Beispiele von LAS und ihre Einsatzfelder

Die dargestellten Assistenzsysteme verwenden Simulation oder analytische Lösungen als Kernverfahren. Diese beiden Ansätze stellen die primären Methoden für die Analyse und Optimierung von LNW dar (Preusser u. a. 2005, S. 96). Im nächsten Kapitel werden diese zwei Typen von Verfahren genauer betrachtet.

### 3.2 Methoden in Logistischen Assistenzsystemen für die Untersuchung von Logistiknetzwerken

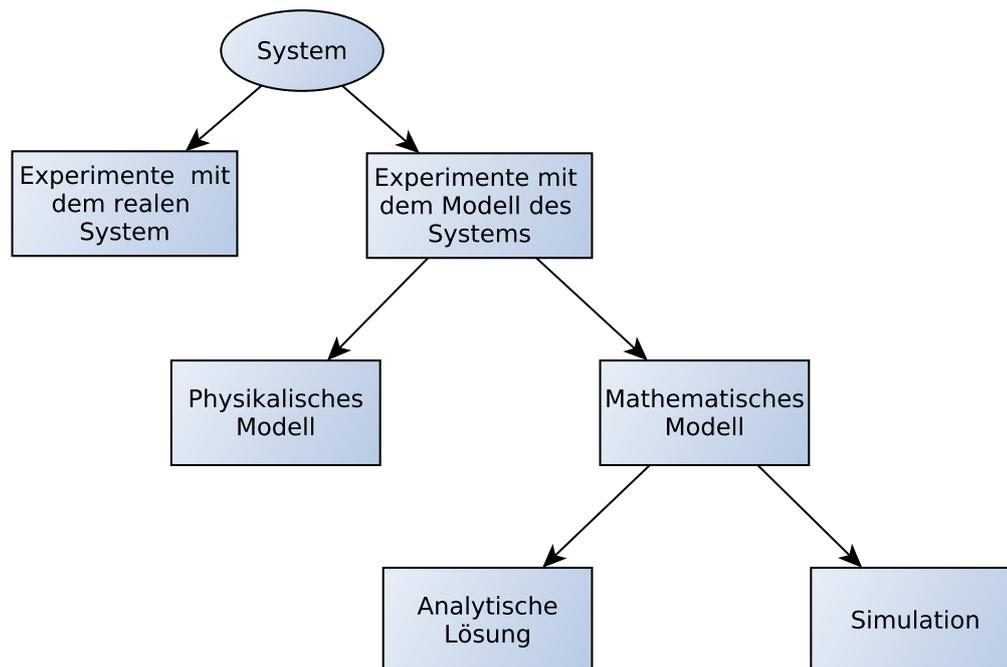
In Tabelle 3.2 wird eine Übersicht von LAS gegeben. In diesen Systemen werden verschiedene Methoden für das Lösen von Problem in LNW genutzt, diese können zum Beispiel Simulation oder analytische Methoden sein. In diesem Kapitel werden die Methoden betrachtet, die LAS für die Untersuchung von LNW nutzen.

Bevor eine Beschreibung, der bei LAS genutzten Verfahren gemacht wird, wird eine Übersicht von Grundlagen von Systemen und Modellen gegeben. Laut Hans Lucke besteht ein System aus "eine Menge von Elementen und von Relationen zwischen diesen Elementen" (Lucke 2012, S. 37). Nach dieser Definition ist ein LNW ein System, in dem die Elemente Systemelemente des LNW und die Relationen Flüsse zwischen Systemelementen sind, siehe Abbildung 2.1.

Um ein System zu beobachten, wird eine Menge von *Variablen* benötigt, die den Systemzustand umfassend und vollständig für einen bestimmten Zeitpunkt beschreiben (Law 2015, S. 3). Wenn ein Supermarkt als System betrachtet wird, dann kann die Anzahl von Kunden oder die Temperatur in Räumen oder Kühlschränken eine Menge von Variablen sein.

Die Systeme unterteilen sich in *diskrete* und *kontinuierliche*. Bei diskreten Systemen ändern sich die Variablen zu verschiedenen Zeitpunkten. Sei zum Beispiel ein betrachtetes System ein Supermarkt und die Anzahl der Kunden stellt ein System beschreibende Variable dar, dann wird diese Variable geändert, wenn Kunden den Laden betreten oder verlassen. In kontinuierlichen Systemen ändert sich der Zustand von Variablen mit der Zeit. Ein Kühlschrank kann ein kontinuierliches System sein, weil sich beispielsweise die Variable Temperatur im Kühlschrank über der Zeit verändert. Sehr wenige Systeme können rein diskret oder kontinuierlich sein, falls ein Typ dominiert, wird das System entsprechen klassifiziert. (Law 2015, S. 3)

Die Funktionalität oder Leistung eines System werden manchmal analysiert, wobei diese Analysen nur begrenzt im System durchgeführt werden können (Wenzel u. a. 2017, S. 13). Die Abbildung 3.1 gibt eine Übersicht von Wegen, wie ein System untersucht werden kann. Nicht immer ist es möglich mit dem realen System zu experimentieren, da es ein Damm oder Atomkraftwerk sein kann, bei denen die Experimente sehr gefährliche



**Abbildung 3.1:** Wege von Untersuchung eines Systems nach (Law 2015, S. 4)

Konsequenzen verursachen können (Law 2015, S. 4). Aus diesem Grund wird ein *Modell* gebaut, das ein abstraktes Abbild eines Systems ist. Die Modellbildung benutzt die Abstraktion, es nutzt vom System nur wesentliche Elemente und Wechselwirkungen (Eley 2012, S. 3 f.). Die Modelle können in *mathematische* oder *physikalische* unterteilt werden, wobei die physikalischen Modelle aus physischen Materialien gebaut sind (Law 2015, S. 4). Es können beispielsweise Modelle von Autos oder Flugzeugen sein, die im Windkanal untersucht werden. Aus dem Abschnitt 2.2 ist bekannt, dass die LNW sehr groß und hochkomplex sein können. Für das Lösen eines solchen Problems werden mathematische Modelle angewendet (Law 2015, S. 4f.). Diese Modelle werden durch mathematische, logische und symbolische Relationen dargestellt und können die realen Systeme modellieren (Banks 2005, S. 3). Die mathematischen Modelle können durch *analytische Lösungen* oder *Simulation* analysiert werden. Die analytische Lösung wird bei einfachen Systemen angewendet und kann auf mathematischen Methoden, wie zum Beispiel Differentialrechnung, Wahrscheinlichkeitstheorie, Algebraische Theorie und anderen, basieren. Bei komplexen Systemen sind die analytischen Lösungen komplex und schwierig zu implementieren. In solchen Fällen benutzt man die *Simulation* (Banks 2005, S. 3; Law 2015, S. 4f.).

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) definiert Simulation wie folgt:

"Simulation ist 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 2014, S. 3).

Die Modelle von Systemen, die zur Simulation gehören, werden als SM bezeichnet (Eley 2012, S. 4). Diese Modelle können in drei Gruppen unterteilt werden (Law 2015, S. 5; Lothar März 2011, S. 13):

- *Statische* und *dynamische* SM:
  - Statisches SM: ist eine Darstellung eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt oder eine Darstellung eines Systems, in denen Zeit keine Rolle spielt.
  - Dynamisches SM: stellt das System dar, wie es sich im Laufe der Zeit ändert.
- *Deterministische* und *stochastische* SM:
  - Deterministisches SM: enthält keine probabilistische Komponente.
  - Stochastisches SM: kann probabilistische Komponenten enthalten.
- *Kontinuierliche* und *diskrete* SM:
  - Kontinuierliche SM: stellen die kontinuierliche Systeme dar.
  - Diskrete SM: stellen die diskrete Systeme dar.

Im Bereich der Logistik, wo die LNW mit Hilfe von Simulationsansätzen und Rechnern modelliert und simuliert werden, wird fast ausschließlich die Discrete Event Simulation (Ereignisdiskrete Simulation) eingesetzt (Lothar März 2011, S. 14). Um reale LNW zu modellieren, sollen die SM auf den Daten der LNW basieren. Dafür wird die datengetriebene Simulation angewendet. (Jodin u. a. 2009, S. 1) Insgesamt ergibt sich eine datengetriebener ereignisdiskrete Simulation, was im nächsten Kapitel erläutert wird.

### 3.3 Datengetriebene ereignisdiskrete Simulation

Die ereignisdiskrete Simulation ist die Modellierung von Systemen, in denen die Variablen, die das System darstellen, nur an diskreten Zeitpunkten geändert werden (Banks 2005, S. 13). Die LNW bestehen aus mehreren Komponenten und die Änderungen am System passieren zu diskreten Zeitpunkten, darum kann die ereignisdiskrete Simulation genutzt werden (Lothar März 2011, S. 14). So werden einzelne Systemänderungen registriert, statistisch ausgewertet und die nachfolgenden Systemvorgänge anhand der Ergebnisse entsprechend modelliert (Kuhn und Rabe 1998, S. 3).

Die SM werden mit Hilfe von numerischen Methoden bearbeitet und somit die zugrunde liegenden Modelle analysiert. Es kann eine Historie des analysierten Systems erstellt werden, anhand derer die Analyse am realen System reproduziert werden kann. (Banks 2005, S. 13)

Ereignisdiskrete Simulation wird als Grundlage in vielen Simulationsprogrammen benutzt, und besonders oft im Bereich Logistik (Hedtstück 2013, S. 22; Lothar März 2011, S. 14). Für die Modellierung realer LNW werden datengetriebene Modelle benutzt, die am Rechner gespeichert werden sollen (Brockhage und Witte 1992, S. 52). Dazu können relationale Datenbanken verwendet werden, um die Struktur von LNW mit Tabellen und logischen Verknüpfungen darzustellen (Brockhage und Witte 1992, S. 52). Komponenten von Systemen, in der vorliegenden Arbeit die Komponenten von LNW, werden als *Entitäten* bezeichnet, und Charakteristiken von Komponenten als *Attribute* (Banks 2005, S. 9). Diese Entitäten können als Tabellen und Attribute als Attribute von Tabellen dargestellt werden.

In DES werden die logistischen Maßnahmen als Änderungen in Datenbanken dargestellt (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3370). Beispielsweise speichert das Simulationstool SimChain der SimPlan AG die Modelle von LNW in MySQL Datenbanken (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3371f.). So kann zum Beispiel die Maßnahme 2 aus der Tabelle 2.1 als eine SQL-Anfrage an die Datenbank dargestellt werden. Die Anfrage soll beispielsweise ein Attribut, das den Bestand eines Artikels repräsentiert, entsprechend ändern. Außerdem können durch die Anwendung der vierten Maßnahme mehrere Attribute aus verschiedenen Tabellen geändert werden. Abhängig von der verwendeten Maßnahme kann die Komplexität von Anfragen demnach steigen.

Die meisten realen System verlangen von der Simulation rechnergestützt zu sein (Law 2015, S. 6). Nach Pooch und Wall (Pooch und Wall 1993, S. 289) um einen Rechner für die Simulation verwenden zu können, werden die SM in eine für Rechner geeignete Form umgewandelt. Dafür existiert ein breites Spektrum von Programmiersprachen. Es können Programmiersprachen von Low Level Programmiersprachen, wie Assembler, bis zu speziellen simulations-orientierten Sprachen, wie GPSS (General Purpose Simulation System), genutzt werden (Pooch und Wall 1993, S. 289). Die Programmiersprachen können mit Hilfe von formalen Sprachen und Chomsky-Grammatiken beschrieben werden (Goos 1997, S. 77). Durch Eigenschaften der formalen Sprachen und Chomsky-Grammatiken werden die Eigenschaften der Programmiersprachen beeinflusst, aus diesem Grund wird im nächsten Kapitel einen Überblick über die formalen Sprachen und die Chomsky-Hierarchie gegeben.

# 4. Formale Sprachen

In erstem Teil des Kapitels werden die Grundlagen und Einsatzfelder von formalen Sprachen durchgearbeitet, danach folgt eine Übersicht von Chomsky-Grammatiken und Chomsky-Hierarchien. Anschließend erfolgt im Abschnitt 4.3 die Beschreibung von domänenspezifischen Sprachen und ihre Anwendung in der Logistik. Der Fokus liegt auf der Eignung formaler Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen für die SM von LNW.

## 4.1 Grundlagen der formalen Sprachen

Im Kapitel 3 wurde gezeigt, dass die LAS aufgrund der Komplexität von LNW die rechnergestützte Simulation nutzen sollen. Im Abschnitt 3.3 wurde erläutert, dass die rechnergestützte Simulation mittels Programmiersprachen gemacht wird. Im Folgenden wird gezeigt, welche Rolle die formalen Sprachen in den Programmiersprachen haben.

Programme von Programmiersprachen bestehen aus Menschen leserlichen Instruktionen. Diese Programme werden mit Hilfe eines *Compilers* in Maschinencode übersetzt. Der Compiler ist ein Übersetzungsprogramm, das Programme einer Quellsprache in die Programme einer Zielsprache überführt. (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 47) Programme, die mit einer Programmiersprache geschrieben werden, sollen vom Rechner eindeutig verstanden werden. Die natürlichen Sprachen sind für die Beschreibung von Programmiersprachen ungeeignet, weil sie mehrdeutig in Sinn und Struktur sind. (Hedtstück 2007, S. 9f.) Aus diesem Grund wurden die "künstlichen" (oder *formalen*) Sprachen entwickelt, die präzise sind und algorithmisch definiert werden (Breveglieri u. a. 2019, S. 5). Diese Sprachen werden für die Modellierung von Programmiersprachen angewendet (Hedtstück 2007, S. 9). So besitzt Programmiersprache Paskal eine feste Struktur der Programmen und ein konsistentes Schema für die Erzeugung von Konstrukten der Programmen (Jensen und Wirth 1974, S. 0, 16-23).

Die Programmiersprachen, wie auch natürliche Sprachen, bestehen aus drei Teilen (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 5f.):

- Pragmatik: zeigt den Einfluss der Anwendung der Sprache an Menschen oder Rechnern;
- Semantik: beschreibt die Bedeutung von Sätzen, Wörtern der Sprache;
- Syntax: beschreibt ein System für die Konstruktion von Sätzen und Wörtern einer Sprache;

Die formalen Sprachen beschäftigen sich nur mit der Syntax von Programmiersprachen. Sie beschreiben die Grammatik, Klassen und Eigenschaften von Sprachen. (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 6) Die formalen Sprachen, die als Grundlage für die Programmiersprachen dienen, sollen aussagekräftig genug sein, um alle notwendigen Sprachkonstrukte darzustellen, und knapp genug, um schnell mit dem Compiler übersetzt zu werden (Wegener 1996, S. 142). Weil die formalen Sprachen sich nur mit der Syntax der Programmiersprachen beschäftigen, wird bei dem Prozessschritt des Compilers nur die Syntaktische Analyse betrachtet.

Jede formale Sprache besitzt ein *Alphabet*. Ein Alphabet ist "eine endliche nichtleere Menge  $\Sigma$ ". Ein Element des Alphabets wird als *Symbol* (*Buchstabe*, *Zeichen*) benannt. (Hromkovic 2011, S. 33) Eine Kette aus Symbolen ist ein *Wort*, wobei das Wort kann auch leer sein kann, dies wird dann mit  $\varepsilon$  gekennzeichnet. Jedes Wort  $w$  besitzt eine *Länge*, die mit  $|w|$  definiert wird. (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 20)  $V^*$  bezeichnet die Menge aller Wörter über  $V$  (Hedtstück 2007, S. 19). Mit  $V^+$  wird die Menge von nichtleeren Wörtern bezeichnet, so  $V^+ = V^* \setminus \varepsilon$  (Hedtstück 2012, S. 6).

Zwei Wörter  $u$  und  $v$  können mit der *Konkatenation*  $\cdot$  verkettet werden, so wird bei  $u \cdot v$   $v$  hinter  $u$  geschrieben. Mit  $x^n$  wird eine n-malige *Wiederholung* von Wort  $x$  bezeichnet. (Hedtstück 2007, S. 7)

Der Vorteil von formaler Sprache ist, dass sie formal definiert werden kann. Das erfolgt über *Grammatik*, die eine Sprache mit Hilfe von *Regeln erzeugt*. Grammatik beschreibt eine Menge von Umformungsregeln, die immer mit einem *Startsymbol*, einer *Variable S* anfängt. Variablen werden mit Variablen oder *Terminalsymbolen* ersetzt, wobei ein Terminalsymbol ein Zeichen aus dem Alphabet  $\Sigma$  ist. (Priese und Erk 2018, S. 53f.)

Jede *Regel* besteht aus einer linken Seite (*Prämisse*) und einer rechten Seite (*Konklusion*), wobei jede Seite eine Menge von Variablen oder Terminalsymbolen ist. Die Seiten sind mit  $\rightarrow$  getrennt, und eine Regel bedeutet, dass die linke Seite durch die rechte Seite ersetzt werden kann. Die linke Seite einer Regel kann mehrere rechten Seiten haben, die durch  $|$  getrennt sind. (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 11) Beispielhaft kann eine solche Regel wie folgt aussehen:  $X \rightarrow Y | b$ , wo  $b \in \Sigma$  und  $X, Y$  sind Variablen, bedeutet, dass Variable  $X$  durch Variable  $Y$  oder Zeichen  $b$  ersetzt werden kann.

Formal lässt sich eine Grammatik  $G = (V, T, R, S)$  folgendes definieren (Priese und Erk 2018, S. 54):

- $V$  ist eine endliche Menge von Variablen.
- $T$  ist eine endliche Menge von Terminalsymbolen, wo  $V \cap T = \emptyset$ .
- $R$  ist eine endliche Menge von Regeln, wo jede Regel ein Element  $(P, Q)$  mit folgender Form ist:  $((V \cup T)^* V (V \cup T)^*) \times (V \cup T)^*$ . Eine Regel  $(P, Q) \in R$  kann in folgender Form geschrieben werden:  $P \xrightarrow[G]{} Q$  oder nur  $P \rightarrow Q$ .
- $S$  ist ein Startsymbol, wo  $S \in V$ .

Alle Wörter einer formalen Sprache, die durch eine Grammatik erzeugt werden (Priese und Erk 2018, S. 54):

- Bestehen aus Terminalsymbolen;
- Können aus Variable  $S$  durch die Anwendung von Regeln aus der Grammatik erzeugt werden;

Im folgenden Kapitel folgt die Beschreibung von Klassen der Grammatik.

## 4.2 Chomsky-Hierarchie von formalen Sprachen

Grammatiken sind die Mechanismen für die Generierung von Wörtern einer Sprache. Weil die Grammatiken von formalen Sprachen gut strukturiert werden können, werden die Grammatiken für die Generierung von Programmiersprachen angewendet. (Böckenhauer und Hromkovic 2013, S. 175) Verschiedene Klassen der Grammatik erzeugen verschiedene Sprachtypen mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden (Priese und Erk 2018, S. 56). Die Eigenschaften von verschiedenen Sprachtypen beeinflussen, ob diese Sprachtypen für Programmiersprachen angewendet werden können (Sestoft 2017, S. 54). Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die Grammatiktypen, Konstruktion von Grammatiken und Eigenschaften von erzeugten Sprachen.

Sprachwissenschaftler Noam Chomsky hat in 1956 die Grammatiken von formalen Sprachen in 4 Klassen (Typen) eingeteilt. So wird eine Hierarchie von Sprachklassen (Chomsky-Hierarchie) gebildet. (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 36f.) Die Tabelle 4.1 beinhaltet 4 Grammatiktypen und mit diesen Grammatiken erzeugten Sprachklassen (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 37; Priese und Erk 2018, S. 57). Weiterhin werden die Grammatiktypen der Chomsky-Hierarchie durchgearbeitet und die Eigenschaften von erzeugten Sprachen erklärt.

Grammatiktyp	Sprachklasse	Eine Sprache aus dieser Sprachklasse heißt
0	$\mathcal{L}_0$	unbeschränkt, rekursiv aufzählbar oder vom Typ 0
1	$\mathcal{L}_1$	kontextsensitiv oder vom Typ 1
2	$\mathcal{L}_2$	kontextfreie oder vom Typ 2
3	$\mathcal{L}_3$	regulär oder vom Typ 3

**Tabelle 4.1:** Grammatiktypen und erzeugten Sprachklassen

### Chomsky-0 Grammatiken und rekursiv aufzählbare Sprachen

Die Regeln in der Chomsky-0 Grammatik besitzen keine Einschränkungen und haben die Form:  $\alpha \rightarrow \beta$ , wo  $\alpha, \beta \in (\Sigma \cup V)^+$  (Breveglieri u. a. 2019, S. 106). Aus Grammatiken vom Typ 0 werden die rekursiv aufzählbaren Sprachen generiert (Breveglieri u. a. 2019, S. 120).

Die Klasse der Chomsky-0 Grammatik ist sehr groß (Wegener 2005, S. 133). Durch Typ-0 Grammatik generierte Sprachen umfassen alle Sprachen, die durch Grammatiken erstellt werden können (Hromkovic 2014, S. 333). Programme, die mit rekursiv aufzählbaren Sprachen geschrieben werden, können sehr schwer in Maschinencode überführt werden (Sestoft 2017, S. 54). Damit werden die Chomsky-0 Grammatiken nicht für den Aufbau von Programmiersprachen verwendet (Wegener 1996, S. 127).

### Chomsky-1 Grammatiken und kontextsensitive Sprachen

Die Chomsky-1 Grammatiken sind spezielle Chomsky-0 Grammatiken (Wegener 1996, S. 129). Als Erweiterung zur Typ-0 Grammatik kann die Regel  $S \rightarrow \varepsilon$  nur dann vorkommen, wenn  $S$  in keiner Regel in der Konklusion vorkommt (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 37). Die Regeln haben das folgende Format:  $\alpha \rightarrow \beta$  mit  $\alpha, \beta \in (\Sigma \cup V)^+$  and  $|\alpha| \leq |\beta|$ . Die Grammatik von Typ 1 erzeugt die Klasse von kontextsensitiven Sprachen. (Breveglieri u. a. 2019, S. 106)

Die kontextsensitiven Sprachen unterscheiden sich von rekursiv aufzählbaren Sprachen darin, dass das Terminalwort nicht kürzer, als die Wörter in der Ableitung sein kann. Dieser Unterschied macht den Verbrauch von Speicherplatz im Vergleich zu rekursiv aufzählbaren Sprachen vorhersehbar. (Hromkovic 2014, S. 299; Breveglieri u. a. 2019, S. 120) Trotzdem ist die Klasse von kontextsensitiven Sprachen zu allgemein, um die Grundlage für Programmiersprachen zu sein (Wegener 1996, S. 130). Die Übersetzung mit kontextsensitiven Sprachen geschriebener Programme in Maschinencode kann unvorhersehbar viel Zeit in Anspruch nehmen (Sestoft 2017, S. 54).

### Chomsky-2 Grammatiken und kontextfreie Sprachen

Die Chomsky-2 (oder auch kontextfreie) Grammatik hat die Form:  $\alpha \rightarrow x$ , wo  $x \in (\Sigma \cup V)^*$  und  $\alpha \in V$ . Mit ihrer Hilfe wird die Klasse von kontextfreien Sprachen erzeugt. (Goos 1997, S. 94f.) Im Vergleich zu kontextsensitiver Grammatik kann in kontextfreier Grammatik die Prämisse, unabhängig von ihren Nachbarn, Variablen und Symbolen, durch die Konklusion ersetzt werden (Hromkovic 2014, S. 298). Kontextfreie Grammatiken können mit Hilfe der BNF (Backus-Naur-Form) und der EBNF (Erweiterte Backus-Naur-Form) repräsentiert werden. So werden die Grammatiken kompakt und können auch von Rechnern gelesen werden. (Hedtstück 2007, S. 38f.)

Die kontextfreien Grammatiken sind für die Beschreibung von Programmiersprachen geeignet. Einerseits sind sie ausdrucksstark genug, um die modernen Programmiersprachen mit notwendigen Konstruktionen zu beschreiben. Andererseits können sie effizient genug für die Syntax Analyse von Programmen genutzt werden. (Wegener 1996, S. 142) Earley hat ein Verfahren entwickelt, das die Syntax Analyse von kontextfreien Grammatiken in  $O(n^3)$  Zeit ermöglicht (Sestoft 2017, S. 54). Es bedeutet das die Syntax Analyse in die Polynomialzeit erfolgt (Hromkovic 2014, S. 181). Aus diesem Grund werden die kontextfreien Grammatiken für den Aufbau Programmiersprachen genutzt (Böckenhauer und Hromkovic 2013, S. 244).

### Chomsky-3 Grammatiken und reguläre Sprachen

Der Hauptunterschied zwischen Grammatiken von Typ 2 und Typ 3 ist, dass die Chomsky-3 Grammatiken nur eine Variable in der Konklusion haben können (Hromkovic 2011, S. 361f.). Die Chomsky-3 Grammatik kann abhängig von der Position der Variable rechtslinear oder linkslinear sein. Rechtslineare Grammatik hat die Form:  $\alpha \rightarrow u\beta$  (linkslineare  $\alpha \rightarrow \beta u$ ), wo  $\alpha \in V$ ,  $u \in \Sigma^*$  und  $\beta \in (V \cup \varepsilon)$ . (Breviglieri u. a. 2019, S. 106) Die Chomsky-3 Grammatiken erzeugen die Klasse von regulären Sprachen, die eine echte Teilmenge von kontextfreien Sprachen ist (Wagenknecht und Hielscher 2014, S. 37; Böckenhauer und Hromkovic 2013, S. 195).

In Programmiersprachen werden arithmetische Ausdrücke genutzt, die auch Klammern benutzen können (Wegener 1996, S. 135). Mit regulären Sprachen kann die Syntaktische Analyse, die Überprüfung ob ein Programm korrekt ist, nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist die Klasse von regulären Sprachen nicht ausdrucksstark genug, um eine Grundlage für Programmiersprachen zu sein. (Böckenhauer und Hromkovic 2013, S. 177)

### 4.3 Domänenspezifische Sprachen

Generell können die Programmiersprachen nach universell einsetzbaren Programmiersprachen (General Purpose Language, GPL) und domänenspezifische Sprachen (Domain-Specific Language, DSL) unterteilt werden (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3372). Die GPL Sprachen, wie C, C++ oder Java, besitzen sehr breite Funktionalität, können Methoden und Funktionen nutzen, oder auch die SQL Anfragen aufrufen, um Änderungen in Datenbanken vorzunehmen (Abts 2016, S. 53ff. Louis 2018, S. 109ff. Schicker 2017, S. 186). Die Programmen dieser Sprachen können nach semantische Korrektheit überprüft werden, obwohl manchmal die Analyse viel Zeit nehmen kann (Wilhelm u. a. 2012, S. 7ff., S. 167f., 224). So kann die Überprüfung von Attributen oder Blöcken Polynomialzeit benötigen (Wilhelm u. a. 2012, S. 224). Diese GPL Sprachen können alle Programme modellieren, die mit Turingmaschinen berechnet werden können (Völter 2013, S. 27f.). Programme, die sich mit einer Turingmaschine berechnen lassen, können algorithmisch, mit einem Rechner gelöst werden (Hromkovic 2011, S. 132). Aus diesem Grund können die GPL Sprachen in vielen Domänen angewendet werden (Kosar u. a. 2018, S. 2735). Für spezifische Domänen, zum Beispiel die Logistik oder die Versicherungsbranche, können die domänenspezifischen Sprachen angewendet werden (Völter 2013, S. 162).

Die domänenspezifischen Sprachen sind die Programmiersprachen, die begrenzte Ausdrucksstärke besitzen und sich in bestimmten Domänen anwenden lassen (Fowler und Parsons 2011, S. 27). Die bekanntesten DSL Sprachen sind beispielsweise SQL oder HTML (Völter 2013, S. 31). SQL ist die an formalen Sprachen basierende Datenbanksprache für die Verwaltung und die Kontrolle der Datenbanken (Schicker 2017, S. 4). Mit SQL werden die Programme modelliert, die automatisiert in die Änderungen der Datenbanken übersetzt werden (Schicker 2017, S. 240). Vorteil von SQL ist, dass die sehr gute Optimierung besitzt und die Anfrage sehr schnell ausgeführt werden (Schicker 2017, S. 239). Aus SQL wurden verschiedene Dialekten erstellt, die breiter Funktionalität besitzen. So können durch "Transact-SQL" "CASE"-Konstrukte genutzt werden, die wie "IF-ELSE" angewendet werden können (Henderson 2002, S. 23). Tabelle 4.2 zeigt die Unterschiede zwischen GPL und DSL Sprachen, sie beschreibt die Eigenschaften von Sprachen in verschiedenen Bereichen (Völter 2013, S. 31).

Die DSL Sprachen können auch im Vergleich zu GPL Sprachen besser von Experten in bestimmten Domänen verstanden werden. Ein Nutzer von DSL Sprachen, zum Beispiel ein Logistik-Manager, kann geschriebene Programme besser verstehen und kann den Programmierern besser erklären, wie die Sprache geändert oder erweitert werden soll. (Fowler und Parsons 2011, S. 34)

	GPL Sprachen	DSL Sprachen
Domäne	groß und komplex	kleiner und besser definiert
Größe von Sprache	groß	klein
Lebensdauer	Jahre oder Dekaden	Monate oder Jahre
Erstellt von	Guru oder Committee	einigen Ingenieuren oder Experten in dieser Domäne
Inkompatible Änderungen	fast unmöglich	machbar

**Tabelle 4.2:** Unterschiede zwischen GPL und DSL Sprachen

Die domänenspezifischen Sprachen können auch für die Modellierung von Maßnahmen in SM von LNW verwendet werden (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3379). Schmitt hat eine Grammatik für die Modellierung von Maßnahmen in LNW für die Anwendung in SM gebaut (Schmitt 2019). Aus Grammatik entstehende Sprache für die Modellierung von Maßnahmen besitzt unterschiedliche Konstrukten, wie beispielsweise "CallAnweisung", die andere Maßnahmen aufrufen kann (Schmitt 2019). Die modellierten Maßnahmen werden in SQL-Anweisungen übersetzt, um entsprechende Änderungen in SM von LNW zu erzeugen (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3379; Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3370).

# 5. Identifikation von Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen in Simulationsmodellen von Logistiknetzwerken des Großhandels

Das Ziel dieses Kapitels ist die Identifikation von Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen in SM von LNW des Großhandels. Dafür werden die Grundlagen, die in Kapitel 2, 3 und 4 erläutert werden, in Abschnitt 5.1 zusammengefasst und analysiert. Nach der Analyse soll in Abschnitt 5.2 herausgefunden werden, welche Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen existieren. Anhand der Einflussfaktoren werden die Anforderungen im Abschnitt 5.3 identifiziert und in Abschnitt 5.4 zusammengefasst.

## 5.1 Ablauf der Modellierung und Umsetzung von Maßnahmen

In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass durch LNW wichtige Aufgaben der Logistik gelöst werden, wie zum Beispiel die Bereitstellung der richtigen Waren im richtigen Zustand zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort. Im Bereich der Verwaltung und Kontrolle des LNW sollen verschiedene Entscheidungen getroffen werden, von strategischen, wie dem Netzwerkaufbau, bis operativen, wie der Beschleunigung von Warenlieferung. Alle diese Entscheidungen werden mit Hilfe von Maßnahmen ausgeführt. Anhand des Großhandelsunternehmens, das in Abschnitt 2.1 als Beispiel gezeigt wird, wird deutlich, dass LNW von Großhandelsunternehmen sehr groß und hochkomplex sein können. Aus diesem Grund werden rechnergestützte LAS verwendet.

Im Kapitel 3 werden die Grundlagen der rechnergestützten Assistenzsysteme veranschaulicht, die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine sind. Für diese Bachelorarbeit sind die Assistenzsysteme interessant, die eine Entscheidungsunterstützung im Bereich der Verwaltung und Kontrolle des LNW bieten.

Abhängig von der Stufe der Verteilung von Aufgaben zwischen Mensch und Maschine wird der Experte der Domäne verschiedene Unterstützungen vom Assistenzsystem bekommen. Eine der Aufgaben ist die Modellierung der Maßnahmen, die vom Experten der Domäne erledigt wird. Die Ausführung von modellierten Maßnahmen in SM von LNW wird durch den Rechner realisiert. Um eine Maßnahme zu modellieren, soll der Experte der Domäne bestimmen, welche Änderungen im LNW vorgenommen und welche Komponenten vom LNW entsprechend geändert werden sollen. In Abbildung 2.1 wird eine Übersicht von Komponenten gegeben, aus denen ein LNW bestehen kann. Diese Komponenten werden durch logistische Maßnahmen modifiziert. Als Beispiel soll mit einer Maßnahme ein Artikel von Lager 1 zu Lager 2 transportiert werden. Es sollen Komponenten, wie beispielsweise Lager 1, Lager 2 und Bestellungen abgewandelt werden, um den Ablauf der Maßnahme darzustellen.

Abschnitt 3.3 zeigt, dass die Modellierung und die Umsetzung von Maßnahmen in LAS im Kontext einer rechnergestützten DES gemacht wird. Aus diesem Grund werden die LNW in Form von relationalen Datenbanken in einem Rechner modelliert werden (Abschnitt 2.2). Entitäten, wie zum Beispiel Lager, Fabrik oder Lieferant können als Tabellen dargestellt werden, in denen mit Attributen die Charakteristiken der Entitäten dargestellt werden. Die Waren- oder Informationsflüsse zwischen Entitäten können auch mit Hilfe von Tabellen repräsentiert werden, in denen Eigenschaften dieser Flüsse durch Attribute von Tabellen gezeigt werden. Mit den Datenbankrelationen wird der Zusammenhang zwischen den Komponenten abgebildet. Für die Änderung von LNW soll die Datenbasis, also die Einträge in der Datenbank, entsprechend geändert werden. Aus diesem Grund kann die Maßnahme als eine Anfrage an die Datenbank dargestellt werden.

Aus Kapitel 3 ist bekannt, dass LAS für die Bewertung von Maßnahmen genutzt werden. Diese Bewertung wird durch die Simulation gemacht, wo LNW als SM in DES dargestellt werden. Daraus ergibt sich, dass der Anwendungsbereich von Maßnahmen durch LNW in DES begrenzt wird.

Für die Modellierung von Maßnahmen ist es nicht wichtig für SM des LNW von welchem Unternehmenstyp die Maßnahme erstellt wird. Unternehmen können Großhändler, Einzelhändler oder Handelsvermittler sein. Trotzdem bestehen LNW aus den gleichen Komponenten. Die Unterschiede sind nur in der Struktur der LNW, also wie und welche Komponente benutzt werden (vgl. Kapitel 2). Für alle diese LNW können die relationalen Datenbanken als Datenbasis von datengetriebenen SM angewendet und durch Maßnahme manipuliert werden.

In Kapitel 4 werden Grundlagen des Kompilierens und die Übersetzung von Programmen aus Quellsprachen in Zielsprachen erläutert. Die Maßnahmen werden aus der Sprache zur Modellierung, zum Beispiel anhand der Grammatik nach Schmitt, in die Sprache zur Änderung von Datenbanken übersetzt, beispielsweise in SQL. Wenn der Experte der

Domäne die Sprache für Datenbanken als Modellierungssprache von Maßnahmen nutzt, dann wird das Kompilieren nicht erforderlich.

Wenn der Prozess der Modellierung und Umsetzung von Maßnahmen zusammengefasst wird, ergibt sich, dass logistische Maßnahmen für die SM von LNW mit Hilfe von LAS im Bereich der LNW modelliert werden. Danach werden die modellierten Maßnahmen gegebenenfalls in die Sprache zur Änderung der Datenbank, in der die Datenbasis des LNW liegt, übersetzt und ausgeführt.

## **5.2 Identifikation von Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen**

Im Abschnitt 5.1 wird der Prozess zur Modellierung und Umsetzung logistischer Maßnahmen zusammengefasst und analysiert. Obwohl das Ziel dieses Kapitels die Identifikation von Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen ist, soll die Umsetzung von Maßnahmen ebenfalls berücksichtigt werden. Dies ist notwendig, weil die Umsetzung von Maßnahmen und der resultierende Effekt Ziel des gesamten Prozesses zur Modellierung und Umsetzung von Maßnahmen ist. Die Umsetzung besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil ist der Bereich, für den die Maßnahme angewendet wird, also die Anwendungsdomäne. Der Zweite ist, wie diese Maßnahme in den Anwendungsdomänen ausgeführt wird. Durch den ersten Teil wird der Zweite geprägt und beide Teile beeinflussen den Bereich der Modellierung von Maßnahmen. Trotzdem spielt die Modellierung eine wichtige Rolle, weil sie entscheidend für die Gebrauchseigenschaften des ganzen Prozesses in einer realen Situation ist. Als Beispiel kann eine Maßnahme angewendet werden, aber die Modellierung der Maßnahme benötigt viel Zeit und Ressourcen. Daraus kommt die Frage vor, ob die Anwendung von Maßnahmen für realen Situationen eingesetzt werden kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass drei Einflussbereiche auf die Modellierung von Maßnahmen existieren. Zuerst kommt die Anwendungsdomäne von Maßnahmen, die Bereiche für welche Maßnahmen modelliert und umgesetzt werden. Danach folgt die Umsetzung von Maßnahmen, die praktische Realisierung für den Einsatz der Maßnahmen. Abschließend folgt die Modellierung von Maßnahmen selbst. In Unterabschnitten 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3 folgt die Beschreibung der entsprechenden Bereiche und die Identifikation von Einflussfaktoren aus diesen Bereichen.

### **5.2.1 Einflussfaktoren aus der Anwendungsdomäne**

Die Maßnahmen werden für die Verwaltung und Veränderung von LNW des Großhandels modelliert. Der Unternehmenstyp hat keinen Einfluss auf die Modellierung und

Umsetzung von Maßnahmen in LNW (vgl. Abschnitt 5.1), darum werden LNW von allen Unternehmenstypen als Anwendungsdomäne betrachtet. Wichtig ist das LNW durch SM der DES in LAS dargestellt werden. Aus diesem Grund wird die Anwendungsdomäne durch LNW begrenzt, die durch SM von DES in LAS gebildet werden. Weiter werden die Kriterien herausgearbeitet, die aus den Anwendungsdomänen auf die Modellierung von Maßnahmen auftreten.

In Abschnitt 2.3 wird die Definition von Maßnahmen gegeben, aus der folgt, dass eine Maßnahme eine Folge von Handlungsanweisungen ist, die von einem Istzustand zu einem Sollzustand führt. In Bezug auf die Anwendungsdomänen soll eine Maßnahme ein SM von LNW entsprechend ändern, um das SM vom Istzustand zum Sollzustand zu beführen. Um einen Übergang vom Istzustand zum Sollzustand für ein LNW auszuführen, sollen Änderungen von Komponenten, aus denen ein LNW besteht, realisiert werden. Für die vollständige Abdeckung der Verwaltung des LNW, sollen durch Maßnahmen alle notwendigen logistischen Änderungen des LNW modellierbar sein. Daraus resultiert ein erster Einflussfaktor auf die Modellierung von Maßnahmen:

- **Einflussfaktor 1:** *Alle logistischen Änderungen an einem Logistiknetzwerk sollen durch Maßnahmen modellierbar sein.*

Die Anwendungsdomäne ist durch die SM begrenzt, die durch DES in LAS gebildet werden. Wobei die SM der DES die konkrete Methode für die Abbildung von LNW und LAS der Bereich, in dem die Modellierung und Umsetzung stattfinden, sind. Darauf aufbauend lässt sich zweiten Einflussfaktor formulieren:

- **Einflussfaktor 2:** *Die modellierten Maßnahmen sollen im Kontext eines LAS angewendet werden können.*

Die Erfüllung von beiden Einflussfaktoren ermöglicht die Anwendung von Maßnahmen durch LAS in SM von LNW, die die Anwendungsdomäne von Maßnahmen sind.

### 5.2.2 Einflussfaktoren aus der Umsetzung von Maßnahmen

Aus Unterabschnitt 5.2.1 ist bekannt, dass LNW mit Hilfe von SM in LAS repräsentiert werden. Um die Maßnahmen in den SM von LNW einzusetzen, sollen dafür geeignete Methoden angewendet werden. Aus den Grundlagen in Kapitel 2 und Kapitel 3 sind DES, relationale Datenbanken und LAS bekannt. Abschnitt 5.1 hat der Zwischenarbeit diese Methoden zusammengefasst. Zusammenfassend ist schlusszufolgern, dass die Umsetzung von Maßnahmen durch Änderung der Datenbasis eines LNW durchgeführt wird. Es bedeutet, dass Maßnahmen als Änderungen von SM der LNW angesehen werden. Daraus resultiert der Einflussfaktor 3:

- **Einflussfaktor 3:** *Maßnahmen repräsentieren Veränderungen an Simulationsmodellen von Logistiknetzwerken.*

Logistische Maßnahmen müssen die SM von LNW modifizieren, um geplante Änderungen vorzunehmen. Aus Grundlagenteil ist bekannt, dass die Simulation rechnergestützt sein soll. Dies bedeutet, dass Maßnahmen auch am Rechner eingesetzt werden. Hieraus ergibt sich Einflussfaktor 4:

- **Einflussfaktor 4:** *Die Umsetzung von Maßnahmen soll rechnergestützt erfolgen können.*

Bei der Umsetzung von Maßnahmen ist nicht nur die Einsetzbarkeit von Maßnahmen, sondern auch die Korrektheit von vorgenommenen Änderungen wichtig. Unter der Korrektheit der Umsetzung der Maßnahme wird die Erfüllung von geplanten Zwecken und die Überführung von LNW in einen gültigen Zustand verstanden. So sollen durch die Umsetzung von Maßnahme  $X$ , die eine Transportverbindung entfernt, auch alle Transportvorgänge, die die entfernte Transportverbindung enthalten, geändert oder gelöscht werden. Das resultierende LNW soll keine Inkonsistenzen enthalten, die mit der Umsetzung von Maßnahme  $X$  verbunden sind. Die Erfüllung von geplanten Zwecken wird durch Einflussfaktor 1 abgedeckt und die Überführung von LNW in einen gültigen Zustand wird durch Einflussfaktor 5 berücksichtigt:

- **Einflussfaktor 5:** *Durch die Umsetzung von Maßnahmen dürfen keine Inkonsistenzen im Simulationsmodell des Logistiknetzwerks entstehen.*

Mit Berücksichtigung von Einflussfaktoren aus der Anwendungsdomäne und Umsetzung von Maßnahmen können alle logistischen Maßnahmen, die für die Änderung eines LNW benötigt werden, modelliert und umgesetzt werden.

### 5.2.3 Einflussfaktoren aus der Modellierung von Maßnahmen

Der dritte Bereich ist die Modellierung von Maßnahmen selbst. Die Modellierung kann mit Hilfe von verschiedenen Methoden erfolgen. Zum Beispiel sind aus Abschnitt 4.3 domänenspezifische Sprachen oder SQL bekannt. Entscheidend ist, dass nach oder ohne Übersetzung von modellierten Maßnahmen Änderungen in der Datenbasis durchgeführt werden können.

In Abschnitt 2.3 werden die Grundlagen von Maßnahmen dargestellt, in der Tabelle 2.1 werden einige Beispiel-Maßnahmen beschrieben. Die Beschreibung von Maßnahmen erfolgt mit Hilfe von menschlichen Sprachen, die für die Anwendung in Rechnern nicht geeignet sind (vgl. Kapitel 4). In der Folge sollen Maßnahmen formal beschrieben werden. Dazu können textuelle formale Sprachen (vgl. Kapitel 4) oder auch graphische

Modellierung genutzt werden (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3372). Wichtig ist, dass Maßnahmen nach bestimmten festen Regeln konstruiert werden, so können die für die weitere Bearbeitung durch Rechner genutzt werden können. Das Konzept von formaler Beschreibung wird in Programmiersprachen benutzt, so werden die geschriebenen Programmen für Rechnern einsetzbar gemacht (vgl. Kapitel 4). Daraus entsteht die Notwendigkeit für die formale Modellierung von Maßnahmen, was sich in Einflussfaktor 6 ergibt:

- **Einflussfaktor 6:** *Die Modellierung von Maßnahmen soll formal erfolgen.*

Die Erstellung von Maßnahmen wird im Rahmen von LAS für die Verwaltung von LNW ausgeführt. Die Steuerung und die Kontrolle von LNW wird an erster Stelle vom Personal gemacht, das für diese Aufgabe zuständig ist. Manager aus Logistik und Supply Chain Management sind mit dieser Aufgabe beschäftigt (vgl. Abschnitt 2.2). Aus diesem Grund soll die Modellierung von Maßnahmen an diese Experten angepasst werden. Zum Beispiel können Begriffe aus Logistik und Supply Chain Management verwendet werden. So kann Einflussfaktor 7 wie folgt gefasst werden:

- **Einflussfaktor 7:** *Die Modellierung von Maßnahmen soll durch Experten der Domänen erfolgen.*

Modellierte Maßnahmen werden von Fachleuten aus der Anwendungsdomäne ausgewählt. Für die Auswahl soll der Experte der Domäne verstehen, wie die Maßnahme konstruiert wird und welche Änderungen durch diese Maßnahme gemacht werden. Für die bessere Analyse von Maßnahmen sind nicht nur Bezeichnungen von Sprachkonstrukten wichtig, sondern auch eine klare und konsistente Struktur der Maßnahme, von Bedeutung. Diese Struktur soll zeigen, wo und welche Teile der Maßnahme beschrieben werden und wie diese Teile zusammenhängen. Als Beispiel kann die Programmiersprache Pascal genannt werden, die eine feste Struktur von Bestandteilen des Programms hat (vgl. Abschnitt 4.1). So können Programmen besser verstanden und analysiert werden. Hiervon kann Einflussfaktor 8 abgeleitet werden:

- **Einflussfaktor 8:** *Maßnahmen sollen eine konsistente Struktur haben.*

Aus Abschnitt 2.3 sind die Grundlagen von Maßnahmen, Maßnahmentypen und Maßnahmenausprägungen bekannt. Maßnahmentypen sind generische Darstellung von Maßnahmen und ähnliche Maßnahmen werden durch Maßnahmentypen gruppiert. Durch eine Maßnahmenausprägung wird der Maßnahmentyp spezifiziert und in eine Maßnahme abgeleitet. Diese Vorgehensweise soll in der Modellierung von Maßnahmen berücksichtigt werden, um die Anwendung von ähnlichen Maßnahmen zu erleichtern. Bei dieser Sichtweise entsteht der Einflussfaktor 9:

- **Einflussfaktor 9:** *Ähnliche Maßnahmen lassen sich generisch modellieren.*

Die Maßnahmen werden nicht nur die Änderungen an einem LNW repräsentieren, sondern können auch aus anderen Maßnahmen bestehen. So kann die Maßnahme, die eine Transportverbindung entfernt, auch Maßnahmen für das Entfernen von Transportvorgängen, die diese Transportverbindung haben, enthalten. Dieses Prinzip ist ähnlich zu dem Prinzip von Funktionen und Methoden in Programmiersprachen, wie in Java, C++ (vgl. Abschnitt 4.3). Nach diesem Prinzip können komplexe Änderungen von LNW durch Maßnahmen einfacher abgebildet werden, was für große und komplexe LNW von Bedeutung ist. Daraus ergibt sich, dass Maßnahmen fähig sein sollen, Teil der anderen Maßnahmen zu sein, was in Einflussfaktor 10 erfasst wird:

- **Einflussfaktor 10:** *Eine Maßnahme kann Teil einer anderen Maßnahme sein.*

Durch abgeleitete Einflussfaktoren wird der Bereich der Modellierung der Maßnahmen abgedeckt.

#### 5.2.4 Übersicht von identifizierten Einflussfaktoren

Die Tabelle 5.1 gibt eine Übersicht von Einflussfaktoren, die in Abschnitt 5.2 abgeleitet werden. In der Tabelle werden Beschreibungen und Abkürzungen der Einflussfaktoren angegeben. Die Abkürzungen werden in weiteren Kapiteln anstatt Nummern von Einflussfaktoren genutzt.

Einflussfaktor	Abkürzung des Einflussfaktor	Beschreibung
1	Einflussfaktor für Modellierbarkeit von möglichen Änderungen	Alle logistischen Änderungen an einem Logistiknetzwerk sollen durch Maßnahmen modellierbar sein.
2	Einflussfaktor für Anwendbarkeit in logistischen Assistenzsystemen	Die modellierten Maßnahmen sollen im Kontext eines LAS angewendet werden können.
3	Einflussfaktor für Veränderungen an Simulationsmodellen	Maßnahmen repräsentieren Veränderungen an Simulationsmodellen von Logistiknetzwerken.
4	Einflussfaktor für rechnergestützte Umsetzung	Die Umsetzung von Maßnahmen soll rechnergestützt erfolgen können.
5	Einflussfaktor für Inkonsistenzen	Durch die Umsetzung von Maßnahmen dürfen keine Inkonsistenzen im Simulationsmodell des Logistiknetzwerks entstehen.

Einflussfaktor	Abkürzung des Einflussfaktor	Beschreibung
6	Einflussfaktor für formale Modellierung	Die Modellierung von Maßnahmen soll formal erfolgen.
7	Einflussfaktor für Modellierung durch Experten der Domäne	Die Modellierung von Maßnahmen soll durch Experten der Domänen erfolgen.
8	Einflussfaktor für eine konsistente Struktur von Maßnahmen	Maßnahmen sollen eine konsistente Struktur haben.
9	Einflussfaktor für eine generische Modellierung	Ähnliche Maßnahmen lassen sich generisch modellieren.
10	Einflussfaktor für Verwendung der anderen Maßnahmen	Eine Maßnahme kann Teil einer anderen Maßnahme sein.

**Tabelle 5.1:** Übersicht von identifizierten Einflussfaktoren

### 5.3 Ableitung von Anforderungen anhand der identifizierten Einflussfaktoren

Die Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen werden in Abschnitt 5.2 bestimmt. Die Einflussfaktoren sind Kriterien, die aus verschiedenen Bereichen die Modellierung beeinflussen. In diesem Kapitel werden Anforderungen (konkrete Charakteristiken) abgeleitet, die die Modellierung von Maßnahmen besitzen soll, um den Einflussfaktoren zu entsprechen.

#### 5.3.1 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Modellierbarkeit von möglichen Änderungen

Ein Einflussfaktor für die Modellierbarkeit von möglichen Änderungen sagt, dass durch Maßnahmen alle möglichen Änderungen des LNW, das durch ein datengetriebenes ereignisdiskretes SM dargestellt wird, modellierbar sein sollen. Dafür wird eine ausdrucksvolle Grammatik benötigt, die alle erforderlichen Regeln und Konstrukten für die Modellierung von Maßnahmen an LNW besitzt. Zudem werden die LNW durch datengetriebene ereignisdiskrete SM dargestellt. Diese Bedingung kann als eine Anforderung an die Modellierung von Maßnahmen formuliert werden:

- **Anforderung 1:** Die Modellierung soll ausreichend sein, um alle logistischen Maßnahmen in Logistiknetzwerken zu modellieren.

Mit ausdrucksstarker Modellierung, die alle logistischen Maßnahmen modellieren kann, können alle notwendigen Änderungen in SM von LNW vorgenommen werden.

### 5.3.2 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Anwendbarkeit in logistischen Assistenzsystemen

Der Einflussfaktor für die Anwendbarkeit in LAS verlangt von modellierten Maßnahmen, dass sie im Kontext eines LAS anwendbar sein sollen. Dafür müssen zwei Bedingungen erfüllt werden. Erstens sollen die modellierten Maßnahmen fähig sein die Änderungen in SM der LNW vorzunehmen. Das wird durch Kombination von Einflussfaktor 1, der die Modellierung von allen notwendigen logistischen Maßnahmen für LNW verlangt, und den Einflussfaktoren aus dem Bereich der Umsetzung von Maßnahmen, der die Umsetzung von modellierten Maßnahmen abdeckt, erfüllt. Zweitens soll die Modellierung von Maßnahmen an LAS angepasst werden. Dies wird durch die Einflussfaktoren aus dem Bereich der Modellierung der Maßnahmen gemacht. Daraus folgt, dass Anforderungen, die aus dem Einflussfaktor für Anwendbarkeit in LAS entstehen, durch Anforderungen aus anderen Einflussfaktoren erfüllt werden. Darum werden aus diesem Einflussfaktor keine Anforderungen abgeleitet.

### 5.3.3 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Verwendung der anderen Maßnahmen

Aus dem Einflussfaktor für Verwendung der anderen Maßnahmen folgt, dass eine Maßnahme Teil einer anderen Maßnahme sein kann. Daraus ergibt sich, dass die Modellierung von Maßnahmen die Nutzung von anderen Maßnahmen ermöglichen soll. Diese Möglichkeit kann zum Beispiel durch Aufruf von Funktionen in Programmiersprachen, wie Java oder C++ oder durch "CallAnweisung" in der Grammatik von Schmitt implementiert werden (vgl. Abschnitt 4.3). So werden die Maßnahmen durch Anwendung der anderen Maßnahmen, die als Module betrachtet werden, modular aufgebaut. Mit dieser Absicht kann Anforderung 2 wie folgt ausgedrückt werden:

- **Anforderung 2:** Die Modellierung von Maßnahmen soll modular erfolgen.

Falls die Modellierung von Maßnahmen modular erfolgen wird, dann kann eine Maßnahme Teil einer anderen Maßnahmen sein, was der Einflussfaktor für Verwendung der anderen Maßnahmen erfüllt.

### 5.3.4 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Veränderungen an Simulationsmodellen

Aus dem Einflussfaktor für die Veränderungen von SM folgt, dass durch Maßnahmen die Veränderungen an SM von LNW repräsentiert werden. Es bedeutet, dass durch die Umsetzung von Maßnahmen die Änderungen in SM der LNW vorgenommen werden. Die LNW werden (vgl. Abschnitt 2.2) durch relationale Datenbanken gebaut. Aus diesem Grund, um Änderungen in LNW durch die Umsetzung von Maßnahmen vorzunehmen, soll die Datenbasis von SM abgeändert werden. Daraus folgt, dass bei der Umsetzung von modellierten Maßnahmen die Datenbasis von SM geändert werden soll. So kann die nächste Anforderung an die Modellierung von Maßnahmen formuliert werden:

- **Anforderung 3:** Die Umsetzung von modellierten Maßnahmen erfolgt durch die Änderungen an der Datenbasis einer datengetriebenen ereignisdiskreten Simulation.

Wenn Maßnahmen durch die Modellierung erstellt werden, die bei der Umsetzung geplante Veränderungen in der Datenbasis von SM vornehmen, dann wird der Einflussfaktor für Veränderungen an Simulationsmodellen realisiert.

### 5.3.5 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für rechnergestützte Umsetzung

In Abschnitt 5.2 wird der Einflussfaktor für rechnergestützte Umsetzung abgeleitet, aus dem sich nachvollziehen lässt, dass die Umsetzung von Maßnahmen mit dem Rechner erfolgen soll. Es bedeutet, dass die Maßnahmen automatisiert umgesetzt werden können. Dafür sollen die modellierten Maßnahmen kompilierbar sein. So kann Anforderung 4 in Worte gefasst werden:

- **Anforderung 4:** Modellierte Maßnahmen sollen automatisiert umsetzbar sein.

Aus Kapitel 4 ist auch bekannt, dass Sprachen, die mit verschiedenen Grammatiken erstellt worden ist, abhängig von der Chomsky-Hierarchie unterschiedliche Zeiten für das Kompilieren benötigen. Für die Modellierung von Maßnahmen ist es notwendig, dass die Umsetzung von konstruierten Maßnahmen in absehbarer Zeit gemacht wird. So soll die Zeit des Kompilierens maximal in Polynomialzeit erfolgen (vgl. Abschnitt 4.2). Wenn das Kompilieren beispielsweise  $2b^n$  Zeit braucht, wo  $b \in \mathbb{Q}$ ,  $b > 1$  und  $n$  Größe von Maßnahme ist, dann kann der Übersetzungsprozess für große Maßnahmen zu viel Zeit in Anspruch nehmen, um für den praktischen Einsatz anwendbar zu sein. Aus diesem Grund entsteht Anforderung 5:

- **Anforderung 5:** Die Umsetzung von Maßnahmen soll maximal Polynomialzeit benötigen.

Wenn bei der Modellierung von Maßnahmen die Anforderungen 4 und 5 eingehalten werden, dann kann die Umsetzung von Maßnahmen durch Rechner erfolgen. So wird der oben genannter Einflussfaktor für rechnergestützte Umsetzung befolgt.

### 5.3.6 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Inkonsistenzen

Laut dem Einflussfaktor für Inkonsistenzen sollen durch die Umsetzung von Maßnahmen keine Inkonsistenzen im SM des LNW entstehen. Dafür soll die Modellierung von Maßnahmen das Ergebnis der Umsetzung der Maßnahme berücksichtigen. Dies kann beispielsweise mithilfe von Überprüfung der Semantik der Maßnahme gemacht werden (vgl. Kapitel 4). Es bedeutet, dass die Modellierung von Maßnahmen den resultierenden Effekt der Umsetzung der Maßnahmen beachten soll. Hieraus kann die nächste Anforderung abgeleitet werden:

- **Anforderung 6:** Fehler in der Modellierung einer Maßnahme sollen möglichst automatisch identifiziert werden.

Mit der Realisierung dieser Anforderung werden durch Maßnahmen geänderte LNW keine Inkonsistenzen enthalten, falls die Überprüfung in der Modellierung eingebaut wurde. So kann der Einflussfaktor für Inkonsistenzen beachtet werden.

### 5.3.7 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für formale Modellierung

Aus dem Einflussfaktor für formale Beschreibung folgt, dass die Modellierung von Maßnahmen formal erfolgen soll. Für die formale Beschreibung können verschiedene Methoden angewendet werden, durch die die modellierten Maßnahmen nach bestimmten Regeln oder Konstrukten gebaut werden. So können diese Methoden als formale Methoden bezeichnet werden. Es bedeutet, dass die Modellierung von Maßnahmen mit Hilfe von formalen Methoden gemacht werden soll, was in Anforderung 7 resultiert:

- **Anforderung 7:** Die Modellierung von Maßnahmen soll durch eine formale Methode durchgeführt werden.

Wenn die Modellierung von Maßnahmen durch formale Methoden gemacht wird, dann wird die Modellierung von Maßnahmen formal erfolgen.

### 5.3.8 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für Modellierung durch Experten der Domäne

Aus dem Abschnitt 5.2 abgeleiteten Einflussfaktor für die Modellierung durch Experten der Domäne ist deutlich, dass die Modellierung von Maßnahmen für Experten aus

Anwendungsdomänen verständlich und bequem sein soll. Die Anwendungsdomänen sind die SM von LNW, in denen die Manager aus Logistik und Supply Chain Management beteiligt sind (vgl. Abschnitt 5.2). Aus diesem Grund ist offensichtlich, dass die Modellierung von Maßnahmen verständlich für diese Experten sein soll. Daraus folgt Anforderung 8:

- **Anforderung 8:** Die Modellierung von Maßnahmen soll für Experten der Domäne des Supply Chain Management verständlich sein.

Die Modellierung soll nicht nur verständlich, sondern auch bequem in der Verwendung sein. Für die Bequemlichkeit soll die Modellierung nur notwendige Konstrukte und Schritte enthalten, also soll die Modellierung möglichst einfach sein. So kann die Anforderung 9 erfasst werden:

- **Anforderung 9:** Die Modellierung von Maßnahmen soll möglichst einfach erfolgen.

Dennoch ist möglichst einfache Modellierung keine Garantie für die Bequemlichkeit in der Benutzung, weil durch die Ungenauigkeit der Modellierung große Hindernisse in der Verwendung und im Verständnis entstehen können. Infolgedessen soll die Modellierung von Maßnahmen nachvollziehbar sein. Daraus entsteht Anforderung 10:

- **Anforderung 10:** Die Modellierung von Maßnahmen soll zur Bequemlichkeit der Benutzung für den Anwender möglichst nachvollziehbar und verständlich sein.

Größe und Komplexität von LNW (vgl. Kapitel 2) resultieren im Bedarf von Modellierung von großen und komplexen Maßnahmen. Zum Beispiel soll der Ausschluß eines Lagers aus LNW nicht nur die Löschung aus der Tabelle der Lager sein, sondern auch die Löschung aller Transportverbindungen, die dieses Lager beinhalten. Solche Maßnahmen können sehr groß und komplex auszuarbeiten sein, wenn in der Modellierung nicht spezielle Konstrukte vorgesehen werden. Ein solches Konstrukt ist beispielsweise die "FOR-Scheife", die eine mehrmalige Verwendung von gleichen Konstrukten ermöglicht, oder "IF-ELSE". Aus diesem Grund soll die Modellierung für die Erstellung von großen und komplexen Maßnahmen vorbereitet werden. Hieraus kann die Anforderung 11 wie folgt ausgedrückt werden:

- **Anforderung 11:** Die Modellierung von Maßnahmen soll praktisch für die Erstellung von großen und komplexen Maßnahmen sein.

Mit der Erfüllung der Anforderungen 8, 9, 10 und 11 wird die Modellierung von Maßnahmen verständlich und bequem für Experten aus den Anwendungsdomänen. So wird der Einflussfaktor für angepasste Modellierung erfüllt.

### 5.3.9 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für eine konsistente Struktur von Maßnahmen

Der Einflussfaktor für eine konsistente Struktur von Maßnahmen zeigt das Bedürfnis nach der Anwendung von Modellierung, die die Generierung solcher Maßnahmen erlaubt. Dafür soll diese Modellierung die Reihenfolge von Teilen und Konstrukten der Maßnahme berücksichtigen. Daraus kann Anforderung 12 formuliert werden:

- **Anforderung 12:** Die Modellierung von Maßnahmen soll die Reihenfolge von Teilen und Konstrukten der Maßnahmen berücksichtigen.

Eine feste Struktur besteht nicht nur aus einer festen Reihenfolge, sondern auch aus dem ähnlichen Aufbau von gleichen Konstrukten von Maßnahmen. So sollen alle Konstrukte nach gleichem Schema gebaut werden. Als Beispiel kann den Aufbau des "FOR" – *Statement* in der Programmiersprache Pascal genannt werden (vgl. Abschnitt 4.1). Dies bedeutet, dass alle Teile der Maßnahme nach einem bestimmten Schema gebaut werden sollen. Hieraus resultiert Anforderung 13:

- **Anforderung 13:** Die Modellierung von Maßnahmen soll ein festes Schema verwenden.

Mit einer festgelegten Generierung von Konstrukten der Maßnahmen und Einordnung dieser Konstrukte in eine definierte Reihenfolge können Maßnahmen mit einer konsistenten Struktur erstellt werden, was dem Einflussfaktor für eine konsistente Struktur von Maßnahmen entspricht.

### 5.3.10 Anforderungen aus dem Einflussfaktor für eine generische Modellierung

Aus dem Einflussfaktor für eine generische Modellierung folgt, dass sich ähnliche Maßnahmen generisch modellieren lassen. Laut den Grundlagen von Maßnahmen, Maßnahmentypen und Maßnahmenausprägungen aus Abschnitt 2.3 ist bekannt, dass ähnliche Maßnahmen durch Maßnahmentypen zusammengefasst werden. Dann werden durch die Einsetzung von Maßnahmenausprägungen in Maßnahmentypen die Maßnahmen abgeleitet. Dadurch sollen die Maßnahmentypen generisch sein. Daraus folgt der Einflussfaktor 14:

- **Anforderung 14:** Ähnliche Maßnahmen sollen durch generische Maßnahmentypen abgebildet werden.

Danach werden die Maßnahmentypen durch Einsetzen von Maßnahmenausprägungen spezifiziert und in die Maßnahmen abgeleitet. Hierdurch ergibt sich, dass

Maßnahmentypen durch Eingabeparameter konfiguriert werden sollen und als Ergebnis sollen die Maßnahmen resultieren. Anforderung 15 wird wie folgt formuliert:

- **Anforderung 15:** Durch die Konfiguration der Maßnahmentypen mit Eingabeparametern werden die Maßnahmen abgeleitet.

Wenn Anforderung 14 und 15 erfüllt werden, dann können ähnliche Maßnahmen generisch modelliert werden. Dies erfüllt den Einflussfaktor für generische Modellierung.

## 5.4 Zusammenfassung der Anforderungen

In Abschnitt 5.3 werden 15 Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen abgeleitet. Aufbauend auf diese Anforderungen können die Maßnahmen erzeugt werden, die die geplanten Änderungen in SM von LNW vornehmen können. Zu beachten ist hierbei, dass die Anforderungen einander beeinflussen können und daraus Konflikten in der Modellierung entstehen können. Aus diesem Grund werden zuerst die widersprüchlichen Wechselwirkungen zwischen Anforderungen identifiziert werden. Anforderungen, die in Konflikt zueinander stehen, werden in Paare aufgeteilt und priorisiert. Es soll entschieden werden, welche von beiden Anforderungen wichtiger ist. Abschließend werden die Anforderungen nach Gruppen mit verschiedenen Prioritäten sortiert und mit einer Repräsentation von konfliktären Wechselwirkungen zwischen Anforderungen vorgestellt.

### 5.4.1 Identifikation von Wechselwirkungen zwischen Anforderungen

Der erste Schritt ist die Identifikation von Wechselwirkungen, die zwischen Anforderungen stattfinden und zu Konflikten führen. Dafür wird Tabelle 5.2 erstellt, die die widersprüchlichen Wechselwirkungen zusammenfasst. Sie repräsentiert eine Matrix, die an der linken Seite und im oberen Teil die Anforderungen aufzählt. Wenn zwei Anforderungen einander beeinflussen und durch diese Zusammenwirkung ein Widerspruch entsteht, dann wird entsprechende Zelle mit einem Hacken markiert. Konflikte zwischen Anforderungen werden anschließend erklärt und analysiert.

Aus der Tabelle 5.2 ergibt sich, dass Konflikte zwischen Anforderungen symmetrisch sind. Das bedeutet, dass wenn ein Konflikt zwischen Anforderung  $x$  und  $y$  vorkommt, dieser Konflikt gleich dem Konflikt zwischen Anforderungen  $y$  und  $x$  ist. Aus diesem Grund werden Konflikte zwischen schon analysierten Paaren nicht noch einmal betrachtet.

Laut Anforderung 1 soll die Modellierung ausreichend sein, um alle logistischen Maßnahmen in LNW zu modellieren. Dies bedeutet, dass die Modellierung groß sein kann, um ausdrucksstark genug zu sein. Diese Forderung kollidiert offensichtlich mit

Anford.	Anford.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1					✓	✓		✓		✓			✓	✓		
2																
3																
4		✓							✓		✓					
5		✓					✓		✓		✓					
6						✓										
7		✓							✓		✓					
8					✓	✓		✓					✓			
9		✓											✓			
10					✓	✓		✓								
11									✓	✓						
12		✓														
13		✓														
14																
15																

**Tabelle 5.2:** Wechselwirkungen zwischen Anforderungen

Anforderung 9, anhand derer die Modellierung möglichst einfach sein soll. Aus Kapitel 4 ist bekannt, dass die Modellierung von Maßnahmen durch die Umsetzbarkeit von Maßnahmen durch Rechner beschränkt wird, was die Ausdrucksstärke der Modellierung verringert. Daraus entsteht ein Konflikt mit Anforderung 4. Nach dem gleichen Prinzip werden die Anforderungen 1 und 5 gegenübergestellt, weil die Umsetzung, die maximal in Polynomialzeit erfolgen soll, die Modellierung noch stärker beschränkt, was die Ausdrucksstärke der Modellierung verringert. Nach Anforderung 7 soll die Modellierung von Maßnahmen durch formale Methode durchgeführt werden. Das hat zur Folge, dass die Modellierung in der Auswahl von Methoden beschränkt wird, was die Ausdrucksstärke der Modellierung eingrenzen kann. So sind die Anforderungen 1 und 7 gegenläufig.

Die ausreichende Ausdrucksstärke der Modellierung, die durch Anforderung 1 beansprucht wird, kann durch eine feste Reihenfolge von Teilen und Konstrukten der Maßnahmen reduziert werden. Mit einer festen Reihenfolge wird die Flexibilität der Syntax der Modellierung von Maßnahmen verringert, wodurch die Ausdrucksstärke der Modellierung auch sinken kann. Aus diesem Grund entsteht ein symmetrischer Konflikt zwischen Anforderungen 1 und 12. Die Forderung nach fester Struktur für die Erstellung von Maßnahmen hat denselben Effekt auf die Modellierung von Maßnahmen, wie die Anforderung 12. Daraus resultiert ein Konflikt zwischen Anforderungen 1 und 13.

Anforderung 4 sagt, dass die Umsetzung der modellierten Maßnahmen automatisiert erfolgen soll. Aus Abschnitt 4.2 aufbauend ist bekannt, dass dafür sollen die Maßnahmen durch Rechner verarbeitet werden sollen, was die Modellierung von Maßnahmen

beschränken wird. Daraus folgt, dass die Sprache der Modellierung enger als menschliche Sprachen wird. Dadurch werden die Maßnahmen, die Experten aus Logistik oder Supply Chain Management in Worte fassen, durch der Anforderung 4 weniger verständlich. Hierdurch ergibt sich ein Konflikt mit Anforderung 8. Durch die die Beschränkung der Modellierung der Maßnahmen kann die Modellierung auch weniger nachvollziehbar und verständlich werden. So werden Anforderungen 4 und 10 miteinander kollidieren.

Aus der Sicht von Anforderung 5 soll die Umsetzung der Maßnahmen maximal in Polynomialzeit durchgeführt werden. Deswegen soll die Modellierung von Maßnahmen begrenzt werden, dadurch werden die erzeugenden Maßnahmen weniger verständlich als menschliche Sprachen. Aus diesem Grund entsteht offensichtlich ein Konflikt von Anforderung 8, die die Verständlichkeit der Modellierung für Experten aus Logistik und Supply Chain Management verlangt, und Anforderung 10, die die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der Modellierung erfordert (vgl. Kapitel 4). Zudem kann Anforderung 5 in Konfrontation mit Anforderung 6 stehen, weil die Überprüfung des resultierenden Effekts der Umsetzung von Maßnahmen viel Zeit in Anspruch nehmen kann (vgl. Abschnitt 4.3).

Anforderung 7 verlangt, dass die Modellierung der Maßnahmen durch formale Methoden beschrieben wird. Als Ergebnis kann gefordert werden, dass bestimmte Regeln für die Modellierung genutzt werden sollen. Daraus können in der Modellierung von Maßnahmen weniger Konstrukte verwendet werden. Infolgedessen kann es weniger verständlich für Experten aus der Anwendungsdomäne sein und weniger nachvollziehbar oder verständlich sein. Also entsteht ein Konflikt mit Anforderungen 8 und 10.

Aus Anforderung 8 resultiert die Verständlichkeit der Modellierung für Experten aus Logistik und Supply Chain Management. Das bedeutet, dass die Modellierung keine Konstrukte, die für Experten dieser Domäne unklar oder unverständlich sind, besitzen soll. Konstrukte, wie zum Beispiel "IF-ELSE-Bedingungen" oder "FOR-Schleifen", werden von Managern der LNW nicht oft benutzt. Dadurch ergibt sich ein Mangel in der Modellierung von großen und komplexen Maßnahmen (vgl. Abschnitt 5.3), was mit Anforderung 11 zusammenstößt.

Aus Anforderung 9 folgt, dass die Modellierung von Maßnahmen möglichst einfach erfolgen soll. Dies bedeutet, dass je weniger Konstrukte in der Modellierung verwendet werden, desto einfacher wird sie. Eine geringe Anzahl von Konstrukten erzeugt einen Konflikt mit Anforderung 9 und 11, die die Funktionalität der Modellierung zur Erstellung von großen und komplexen Maßnahmen unterstützen sollen.

Wie aus der Abbildung 5.1 zu entnehmen ist, können die widersprüchlichen Anforderungen in der Form eines Graphen dargestellt werden, wo Knoten die Anforderung abbilden und Kanten Konflikten zwischen Anforderungen repräsentieren. So zeigt die Kante von Knoten

1 zu Knoten 4, dass Anforderung 1 mit Anforderung 4 in Konflikt steht. Weil alle Konflikte symmetrisch sind, werden zwei Kanten zwischen den selben zwei Knoten kombiniert.

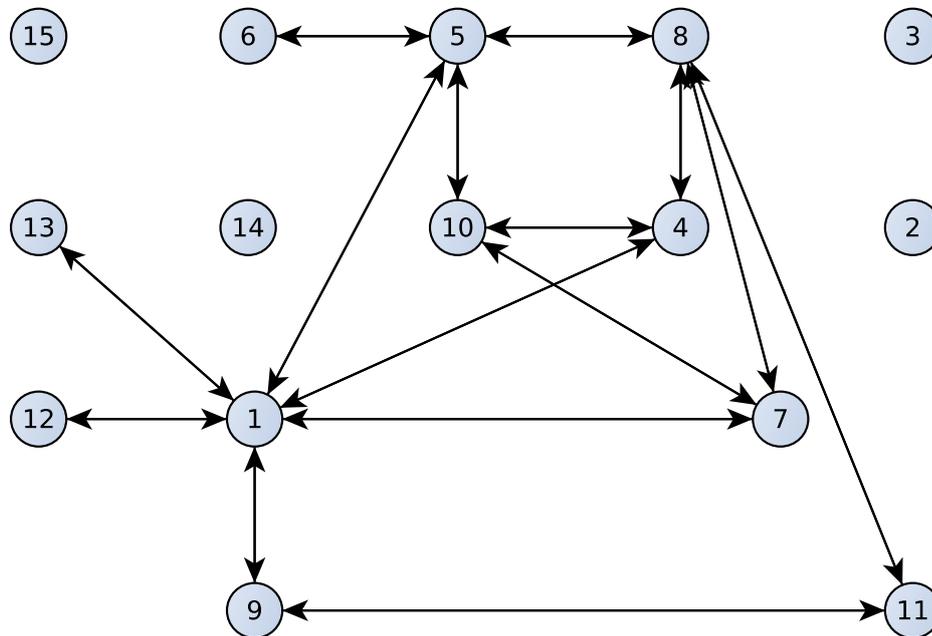


Abbildung 5.1: Konfliktäre Wechselwirkungen zwischen Anforderungen

#### 5.4.2 Priorisierung von Anforderungen

Aus Abbildung 5.1, in der der Graph von konfliktären Anforderungen dargestellt ist, können die Anforderungen nach Paaren geteilt werden. Ein Paar besteht aus zwei Anforderungen, die miteinander in Konflikt stehen. Weil die Konflikte symmetrisch sind, werden die Paare nicht zweimal analysiert. Das bedeutet, dass aus dem Konflikt von Anforderungen 1 und 4 nur ein Paar gebildet wird. Resultierende Paare werden durchnummeriert und in Tabelle 5.3 vorgestellt.

Im nächsten Schritt werden die Anforderungen innerhalb der Paare priorisiert. Während der Erstellung der Prioritäten, ist herauszufinden, welche von beiden Anforderungen wichtiger für den Prozess ist. Dabei wird unter Prozess die Modellierung der Maßnahmen an LNW, die als SM in Rahmen von LAS dargestellt werden, verstanden. Um die Relation "Anforderung x ist wichtiger, als Anforderung y" kürzer abzubilden, wird das Symbol  $\succ$  und die Funktion  $Anf()$  angewendet. Die Funktion  $Anf(x)$  gibt die Anforderung x zurück und mit dem Symbol  $\succ$  kann gezeigt werden, dass die Anforderung x wichtiger, als Anforderung y ist ( $Anf(x) \succ Anf(y)$ ). Die Relation  $\succ$  kann auf mehrere Elemente angewendet werden. So bedeutet  $Anf(x) \succ Anf(y) \succ Anf(z)$ , dass

Nummer des Paares	erste Anforderung	zweite Anforderung
14	Anforderung 1	Anforderung 4
15	Anforderung 1	Anforderung 5
17	Anforderung 1	Anforderung 7
19	Anforderung 1	Anforderung 9
112	Anforderung 1	Anforderung 12
113	Anforderung 1	Anforderung 13
48	Anforderung 4	Anforderung 8
410	Anforderung 4	Anforderung 10
56	Anforderung 5	Anforderung 6
58	Anforderung 5	Anforderung 8
510	Anforderung 5	Anforderung 10
78	Anforderung 7	Anforderung 8
710	Anforderung 7	Anforderung 10
811	Anforderung 8	Anforderung 11
911	Anforderung 9	Anforderung 11

**Tabelle 5.3:** Paaren von Anforderungen

Anforderung  $x$  wichtiger als Anforderung  $y$  ist, wobei Anforderung  $y$  wichtiger als Anforderung  $z$  ist. Dies bedeutet, dass Anforderung  $x$  wichtiger als Anforderung  $z$  ist.

Paar 14 wird als Erstes betrachtet. Anforderung 4 spielt eine größere Rolle, weil im Fall dass, Maßnahmen nicht automatisiert umsetzbar sind, werden die Änderung von SM nicht für Rechner angewendet werden können. Das hat zur Folge, dass der ganze Prozess fehlschlägt. Dies ist im Vergleich zu fehlenden Maßnahmen, die nicht modelliert werden können, inakzeptabel. Ähnliches ergibt sich aus dem Konflikt im Paar 48, wo Anforderungen 4 und 8 konfrontiert sind. Besser ist, wenn die Syntax der Modellierung weniger verständlich für Experten aus Logistik und Supply Chain Management ist, als wenn der ganze Prozess fehlschlägt. Aus diesem Grund entstehen folgende Prioritäten:  $Anf(4) \succ Anf(1)$  und  $Anf(4) \succ Anf(8)$ .

Anforderung 1 und 5 werden im Paar 15 verglichen. Wenn die Umsetzung von Maßnahmen nicht in Polynomialzeit erfolgt, dann kann die Anwendung von Maßnahmen lange Zeit erfordern. Gleichzeitig werden viele Maßnahmen nicht sehr groß, um Komponenten von LNW zu ändern (vgl. Abschnitt 2.2). Folglich werden viele Maßnahmen auch ohne Einschränkung von Polynomialzeit schnell genug kompiliert. Deswegen ist Anforderung 5 nicht so wichtig, wie ein ausreichendes Spektrum von Maßnahmen, das aus Anforderung 1 resultiert. Zudem ist ausdrucksstarke Modellierung auch wichtiger, als kompakte Modellierung aus Bequemlichkeitsgründen. Weil Probleme mit Anforderung 9 mit Investitionen in Instrumente zur Modellierung oder durch Ausbildung von Fachpersonal beseitigt werden können, was bei Anforderung 1 nicht der Fall ist. So entstehen folgende Prioritäten:  $Anf(1) \succ Anf(5)$  und  $Anf(1) \succ Anf(9)$ .

Konfrontationen von Anforderungen in den Paaren 112 und 113 haben ähnliche Gründe. Mit den Anforderungen 12 und 13 werden feste Rahmen für die Modellierung von Maßnahmen gesetzt. Diese Rahmen werden für eine bessere Anwendbarkeit der Modellierung und Nachvollziehbarkeit von Maßnahmen gemacht. Diese Eigenschaften haben Einfluss auf den Prozess der Modellierung der Maßnahmen. Zugleich kann die Ausdrucksstärke der Modellierung durch diese Anforderungen verringert werden, wodurch der ganze Prozess für ein kleineres Spektrum von Problemen angewendet werden kann. Obwohl die Eigenschaften der Modellierung wesentlich sind, ist die Anwendbarkeit des ganzen Prozesses wichtiger. Aus diesem Grund können folgende Prioritäten erzeugt werden:  $Anf(1) \succ Anf(12)$  und  $Anf(1) \succ Anf(13)$ .

Der Konflikt im Paar 17 basiert auf einer möglichen Verringerung der Ausdrucksstärke der Modellierung von Maßnahmen, durch die Anwendung von formalen Methoden für die Modellierung. Die Anwendung von formalen Methoden für die Modellierung ist eine wichtige Voraussetzung für die Erfüllung von Anforderung 4, die wichtiger als Anforderung 1 ist. Es bedeutet, dass Anforderung 7 wichtiger als Anforderung 1 ist. Daraus folgt die Priorität  $Anf(7) \succ Anf(1)$ .

Paar 410 hat einen Konflikt, weil um eine Maßnahme automatisiert umzusetzen, müssen für die Modellierung von Maßnahmen besondere Regeln gelten, die die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der modellierten Maßnahmen verringern werden (vgl. Kapitel 4). Die automatisierte Umsetzbarkeit der Modellierung von Maßnahmen ist wichtiger, weil es wesentlich für den ganzen Prozess ist, was mit Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit von Modellierung nicht der Fall ist. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass  $Anf(4) \succ Anf(10)$ .

Paar 56 umfasst ein Konflikt zwischen Anforderungen 5 und 6. Für die Erfüllung von Anforderung 6 soll die Maßnahme vor der Umsetzung analysiert werden. Dafür wird semantischer Analyse benötigt, die abhängig von den Zielen verschiedene Zeitgrenzen hat (vgl. Kapitel 4). Ohne semantische Analyse können durch die Umsetzung von Maßnahmen verschiedenen Fehler auftreten, was zur Störung des ganzen Prozesses führen kann. Aus diesem Grund ist die Anforderung 6 wichtiger als polynomielle Grenzen der Umsetzung von Maßnahmen,  $Anf(6) \succ Anf(5)$ .

Anforderungen 5, 8 und Anforderungen 5, 10 stehen aus ähnlichem Grund in Konflikt zueinander, weil bestimmte Regeln für die Modellierung von Maßnahmen benötigt werden, um die modellierten Maßnahmen automatisiert umsetzbar zu machen. Daraus können die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der Modellierung und die Verständlichkeit der Modellierung für Experten aus Logistik und Supply Chain Management verringert werden, was zur Verletzung von Anforderungen 8 und 10 führt. Im Paar 15 wurde gezeigt, dass Polynomialzeit bei der Umsetzung von Maßnahmen für die meisten Maßnahmen nicht relevant ist. Darum sind Anforderungen 8 und 10 wichtiger, als Anforderung 5:  $Anf(8) \succ Anf(5)$  und  $Anf(10) \succ Anf(5)$ .

Paaren 78 und 710 haben ähnliche Gründe für ihre Konflikte. Die Ursache ist, dass die Modellierung durch formale Methoden erfolge soll. Mit der Anwendung von formalen Methoden werden bestimmte Regeln angewendet, die Verständlichkeit von Maßnahmen für Experten aus Logistik und Supply Chain Management reduzieren. Gleiches wird mit der Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit von Maßnahmen passieren. Trotzdem ist die Anforderung 7 eine Bedingung für die Anwendung von Rechner, was ein Teil des ganzen Prozesses ist. Das hat zur Folge, dass Anforderung 7 die wichtigste ist, also  $Anf(7) \succ Anf(8)$  und  $Anf(7) \succ Anf(10)$ .

Mit dem Paar 811 wird der Konflikt zwischen Anforderungen 8 und 11 zusammengefasst. Die Erstellung von großen und komplexen Maßnahmen ist signifikanter als verständliche Modellierung, weil ohne spezielle Konstrukte die Modellierung von Maßnahmen sperrig und unbequem wird. Darum ist Anforderung 11 wichtiger als Anforderung 8. Ein ähnlicher Fall findet sich in Paar 911, wo kompakte Modellierung nicht helfen wird, wenn keine speziellen Konstrukte für die Konstruktion von komplexen Maßnahmen vorgesehen werden. Die Modellierung von Maßnahmen ohne Anforderung 11 wird eine komplexe Aufgabe. Daraus resultieren folgende Prioritäten:  $Anf(11) \succ Anf(8)$  und  $Anf(11) \succ Anf(9)$ .

Nachdem alle Paare von Anforderungen betrachtet worden sind, können die resultierenden Prioritäten in einem Graph zusammengefasst werden. Abbildung 5.2 ist ein Graph, der die Prioritäten zwischen die Anforderungen repräsentiert. Mit den Knoten werden die Anforderungen dargestellt, mit Kanten die Relation  $\succ$  zwischen Anforderungen. So eine Kante von Knoten 10 nach Knoten 5 bedeutet, dass Anforderung 10 wichtiger als Anforderung 5 ist.

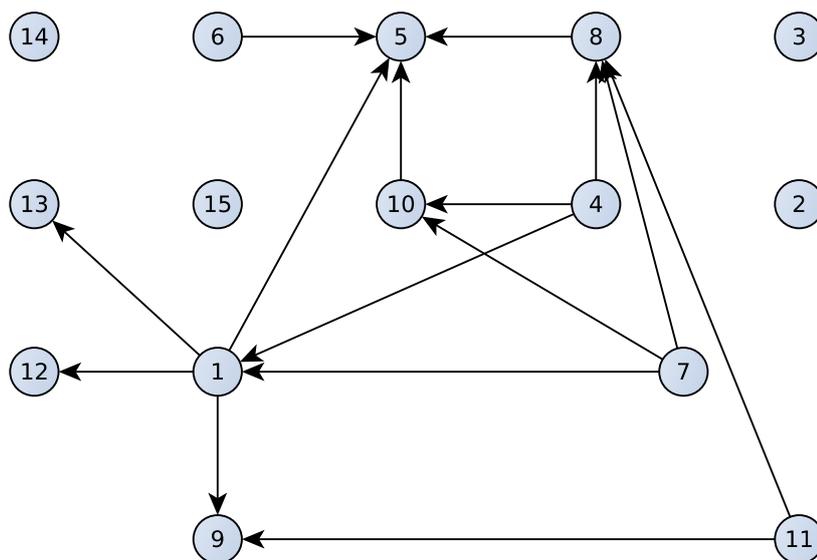


Abbildung 5.2: Prioritäten von Anforderungen

### 5.4.3 Gruppierung von priorisierten Anforderungen

Nachdem alle Anforderungen im Unterabschnitt 5.4.2 priorisiert wurden, können die Anforderungen anhand der Prioritäten gruppiert werden. Aus der Abbildung 5.2 lässt sich nachvollziehen, dass drei Stufen von Prioritäten für Anforderungen existieren. Für Anforderungen aus der ersten Stufe gibt es keine Anforderungen, die wichtiger sind. Für die zweite Stufe gilt, dass sie weniger wichtig als Anforderungen der ersten Stufe sind. Für die dritte, dass sie weniger wichtig als die erste und zweite Stufe sind. Als Beispiel wird die Relation  $Anf(11) \succ Anf(8) \succ Anf(5)$  genommen, wo  $Anf(11)$  Anforderung erster,  $Anf(8)$  zweiter und  $Anf(5)$  dritter Stufe ist. Daraus folgt, dass drei Gruppen von Anforderungen erstellt werden, die der Stufe der Priorität von Anforderungen entsprechen. Die Anforderungen aus der ersten Gruppe sollen an erste Stelle in der Modellierung von Maßnahmen realisiert werden. Die Anforderungen aus der zweiten Gruppe werden umgesetzt, aber ohne Konfrontation mit Anforderungen aus der ersten Gruppe. Nach ähnlichem Prinzip werden die Anforderungen aus der dritten Gruppe eingesetzt.

Um die Prioritäten von Gruppen in folgenden Kapiteln eindeutig zu verstehen, werden den Gruppen Namen gegeben:

- Gruppe 1 - Gruppe "must have";
- Gruppe 2 - Gruppe "should have";
- Gruppe 3 - Gruppe "nice to have";

In Tabelle 5.4 werden alle Anforderungen noch einmal zusammengefasst. Die Anforderungen werden nach Gruppen, zu denen diese Anforderungen gehören, zusammengeführt. Zudem wird in der Tabelle auch eine Beschreibung der Anforderungen gegeben. Die Informationen aus dieser Tabelle zusammen mit Abbildung 5.1 werden in Kapitel 6 benutzt.

Anforderung	Gruppe	Beschreibung
2	"must have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll modular erfolgen.
3	"must have"	Die Umsetzung von modellierten Maßnahmen erfolgt durch die Änderungen an der Datenbasis einer datengetriebenen ereignisdiskreten Simulation.
4	"must have"	Modellierte Maßnahmen sollen automatisiert umsetzbar sein.
6	"must have"	Fehler in der Modellierung einer Maßnahme sollen möglichst automatisch identifiziert werden.

Anforderung	Gruppe	Beschreibung
7	"must have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll durch eine formale Methode durchgeführt werden.
11	"must have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll praktisch für die Erstellung von großen und komplexen Maßnahmen sein.
14	"must have"	Ähnliche Maßnahmen sollen durch generische Maßnahmentypen abgebildet werden.
15	"must have"	Durch die Konfiguration den Maßnahmentypen mit Eingabeparametern werden die Maßnahmen abgeleitet.
1	"should have"	Die Modellierung soll ausreichend sein, um alle logistischen Maßnahmen in Logistiknetzwerken zu modellieren.
8	"should have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll für Experten der Domäne des Supply Chain Management verständlich sein.
10	"should have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll zur Bequemlichkeit der Benutzung für den Anwender möglichst nachvollziehbar und verständlich sein.
5	"nice to have"	Die Umsetzung von Maßnahmen soll maximal Polynomialzeit benötigen.
9	"nice to have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll möglichst einfach erfolgen.
12	"nice to have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll die Reihenfolge von Teilen und Konstrukten der Maßnahmen berücksichtigen.
13	"nice to have"	Die Modellierung von Maßnahmen soll ein festes Schema verwenden.

Tabelle 5.4: Gruppierte Anforderungen

# 6. Eignung von formalen Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen

In Kapitel 6 soll untersucht werden, ob formale Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen geeignet sind. Dafür wird kontrolliert, ob die Anforderungen aus der Tabelle 5.4, trotz konfliktärer Wechselwirkungen (vgl. Abbildung 5.1) in der Modellierung von Maßnahmen mittels formaler Sprachen, erfüllt werden können. Abschließend wird in Abschnitt 6.4 geprüft, ob genügend Anforderungen eingehalten werden, um die formalen Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen anzuwenden.

Anhand der Tabelle 5.4, in der die identifizierten Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen zusammengefasst werden, wird geprüft, ob diese Anforderungen mittels formalen Sprachen erfüllt werden können. Die Anforderungen werden in der Reihenfolge der Signifikanz ihrer Prioritäten abgearbeitet. Während der Untersuchung der Gruppen "should have" und "nice to have" werden konfliktäre Wechselwirkungen zwischen Anforderungen (vgl. Abbildung 5.1) beachtet, um Anforderungen mit höherer Priorität nicht zu gefährden.

## 6.1 Erfüllung von Anforderungen aus der Gruppe "must have"

Zuerst wird Anforderung 2 betrachtet, die sagt, dass bei der Modellierung von Maßnahmen die Benutzung von anderen Maßnahmen ermöglicht werden soll, so wird die Modellierung modular. Die Benutzung von anderen Maßnahmen ist ähnlich zu Konzept von Funktionen und Methoden in Programmiersprachen, wie beispielsweise Java oder C++ (vgl. Abschnitt 3.3). Nach gleichem Prinzip können innerhalb einer Maßnahme andere Maßnahmen aufgerufen werden, zum Beispiel die "CallAnweisung" in der Grammatik von Schmitt (vgl. Abschnitt 4.3). Programmiersprachen, wie Java oder C++,

werden mit Hilfe von formalen Sprachen erstellt (vgl. Kapitel 4). Dies bedeutet, dass die Modellierung durch formale Sprachen modular gemacht werden kann.

Aus Abschnitt 5.1 ist bekannt, dass Maßnahmen als Anfragen an Datenbanken angesehen werden können, wobei durch Datenbanken die Datenbasis von SM dargestellt wird (vgl. Abschnitt 2.2). Für die Änderungen an Datenbanken werden beispielsweise SQL angewendet (vgl. Abschnitt 4.3). Diese Programmiersprachen basieren auf formale Sprachen. Dies bedeutet, dass die Maßnahmen als, durch formale Sprachen erstellte Anfragen an Datenbanken, dargestellt werden können. Dabei bilden diese Datenbanken die Datenbasis der SM der LNW. Folglich wird die Umsetzung der Maßnahmen durch die Änderungen an der Datenbasis einer datengetriebenen ereignisdiskreten Simulation durchgeführt. So kann die Anforderung 3 erfüllt werden.

Weil die Maßnahmen als Anfragen an die Datenbasis der SM dargestellt werden können, können Maßnahmen auch mit SQL modelliert werden (vgl. Abschnitt 5.1). SQL ist eine Sprache, die auf formaler Sprache basiert und für die Verwaltung von Datenbanken vorgesehen ist (vgl. Kapitel 4),. Das bedeutet, dass die Modellierung von Maßnahmen durch formale Methoden gemacht werden kann, was Anforderung 7 bestätigt. Anfragen, die mit SQL erstellt werden, werden automatisiert durch Rechner umgesetzt, woraus folgt, dass modellierte Maßnahmen automatisch umsetzbar sind (vgl. Abschnitt 4.3). Aus diesem Grund kann die Anforderung 4 eingehalten werden.

SQL besitzen eine sehr gute Optimierung, weswegen Anfragen auch in großen Datenbanken sehr schnell ausgeführt werden. Jedoch brauchen komplexe Maßnahmen Konstrukte, wie "IF-ELSE", "WHILE"-Schleifen und andere. Für die Erstellung von solchen komplexen Maßnahmen existieren zwei Alternativen. Die erste Alternative ist die Benutzung von verschiedenen SQL Dialekten. Als Beispiel besitzt der "Transact-SQL" Dialekt "CASE"-Konstrukte, die wie "IF-ELSE" eingesetzt werden können. Die zweite Alternative ist die Benutzung von Programmiersprachen, die mit Datenbanken arbeiten können und alle Konstrukte der komplexen Maßnahmen umsetzen können. Dies können beispielsweise C++, C oder Java sein. Danach werden Programme der unterschiedlichen Programmiersprachen SQL-Anfragen generieren und so Maßnahmen als SQL-Anfragen darstellen. Das bedeutet, dass die Modellierung von Maßnahmen für die Erstellung von komplexen Maßnahmen durch formale Sprachen geeignet ist und bequem sein kann, was Anforderung 11 erfüllt. (vgl. Abschnitt 4.3)

Aus Anforderung 6 folgt, dass Fehler in der Modellierung von Maßnahmen möglichst automatisch identifiziert werden soll. Dafür wird die Überprüfung der Semantik von Maßnahmen benötigt, die mit semantischer Analyse durchgeführt werden kann (vgl. Kapitel 4). Die Semantische Analyse hat verschiedene Aufgaben und wird in vielen Programmiersprachen eingesetzt, zum Beispiel in Java oder in C (vgl. Abschnitt 4.3). Aus Kapitel 4 ist bekannt, dass Programmiersprachen mit Hilfe von formalen Sprachen

erstellt werden. Aus diesem Grund kann auch die Überprüfung von Maßnahmen bei der Modellierung mit Hilfe von formalen Sprachen gemacht werden. So kann die Anforderung 6 durch formale Sprachen erfüllt werden.

Laut Anforderung 15 sollen der Maßnahmentyp durch Eingabeparameter konfigurierbar sein. Wenn der Maßnahmentyp durch Programmiersprachen, wie C++, C oder Java, erstellt werden (vgl. Abschnitt 6.1), können die erzeugenden SQL-Anfragen von Maßnahmen durch Variablen konfiguriert werden. Dabei werden Variablen zum Beispiel über eine Konsole eingegeben. So kann die Anforderungen 15 durch formale Sprachen erfüllt werden. Nach dem gleichen Prinzip können ähnliche Maßnahmen in Maßnahmentypen zusammengefasst werden. Die Funktionalität der Maßnahmen wird innerhalb des Maßnahmentyps implementiert und durch Maßnahmenausprägungen werden die spezifiziert und die Maßnahmen werden abgeleitet. Nach diesem Prinzip arbeiten die Funktionen in Programmiersprachen, wie C++, C oder Java (vgl. Abschnitt 6.1). So werden ähnliche Maßnahmen durch generische Maßnahmentypen abgebildet und Anforderung 14 wird realisiert.

## 6.2 Erfüllung von Anforderungen aus der Gruppe "should have"

Damit die Modellierung von Maßnahmen ausdrucksstark ist, sollen alle logistischen Maßnahmen für LNW modellierbar sein. In anderen Worten, durch die Modellierung sollen Maßnahmen erstellt werden, die alle Änderungen an Komponenten eines LNW vornehmen können. Weil die LNW durch relationale Datenbanken dargestellt werden können, können die Maßnahmen, in der Form von SQL-Anfragen, alle erforderlichen Änderungen von Komponenten des LNW vornehmen (vgl. Abschnitt 5.1). So kann die Modellierung von Maßnahmen ausdrucksstark genug sein, um alle logistischen Maßnahmen zu modellieren. Gleichzeitig wird die Modellierung nicht mit den Anforderungen 4 und 7 in Konflikt stehen, weil die SQL eine kompilierbare Programmiersprache ist, also durch formale Methoden gebaut wird (vgl. Abschnitt 6.1). Aus diesem Grund kann die Anforderung 1 ohne Konflikte mit Anforderungen aus Gruppen mit höherer Priorität durch formale Sprachen erfüllt werden (vgl. Abbildung 5.1).

Anforderung 8 sagt, dass die Modellierung verständlich für Experten aus Logistik und Supply Chain Management sein soll. Wenn für die Modellierung von Maßnahmen SQL oder höhere Programmiersprachen eingesetzt werden, dann kann die Modellierung für diese Experten unverständlich sein. Am besten passen domänenspezifische Sprachen auf die Rolle der Modellierung (vgl. Abschnitt 3.3). Jedoch sollen diese Sprachen mit den Anforderungen aus der Gruppe "must have" übereinstimmen. Ein Beispiel für die

Modellierung kann die Grammatik von Schmitt sein, die für die Modellierung von Maßnahmen in LNW des Großhandels, für eine Anwendung in SM, dient (vgl. Kapitel 4). Die modellierten Maßnahmen werden in SQL-Anfragen übersetzt, mit Hilfe derer Änderungen in SM von LNW vorgenommen werden (vgl. Abschnitt 4.3). Nach dem gleichen Prinzip kann die Anforderung 10 erfüllt werden, die die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit der Modellierung von Maßnahmen verlangt. Dafür sollen verständliche Konstrukte, die klare Zwecke in der Modellierung haben, eingesetzt werden. So kann Ungenauigkeit in der Modellierung von Maßnahmen vermieden werden. Dies kann mit Hilfe der oben genannten Grammatik realisiert werden. Daher können die Anforderung 8 und 10 unter Berücksichtigung der Anforderungen aus der Gruppe "must have" durch formale Sprachen erfüllt werden.

### 6.3 Erfüllung von Anforderungen aus der Gruppe "nice to have"

Nach Anforderung 5 sollen die modellierten Maßnahmen in maximal Polynomialzeit umgesetzt werden. Aus Abschnitt 6.2 ist bekannt, dass Maßnahmen mit Hilfe von Programmiersprachen erzeugt werden können. Die Programmiersprachen basieren auf kontextfreier Grammatik, die in Polynomialzeit kompiliert werden kann (vgl. Abschnitt 4.2). Abhängig von den Aufgaben der semantischen Analyse ändert sich die Zeit für das Kompilieren. Für Aufgaben, wie die Überprüfung von Attributen oder Blöcken, wird maximal Polynomialzeit benötigt (vgl. Abschnitt 4.3). Wenn keine Analyse beansprucht wird, die mehr Zeitaufwand benötigt, dann können, die durch formale Sprachen modellierten Maßnahmen in Polynomialzeit kompiliert werden, was Anforderung 5 entspricht. Andernfalls soll die Anforderung 6 berücksichtigt werden, weil die wichtiger ist.

Anforderung 9 verlangt von der Modellierung möglichst einfach zur Bequemlichkeit der Benutzung zu sein. Dafür sind Programmiersprachen, wie Java, C oder C++, nicht geeignet. Weil diese Programmiersprachen GPL Sprachen, sehr groß und in einer zu großen Vielfalt von Domänen einsetzbar sind (vgl. Abschnitt 4.3). Aus diesem Grund werden domänenspezifische Sprachen, wie zum Beispiel die Grammatik von Schmitt, wieder gefragt (vgl. Abschnitt 4.3). Mit domänenspezifischen Sprachen, die für die Modellierung von Maßnahmen in LNW vorgesehen werden, kann die Anforderung 9 mit Berücksichtigung der anderen Gruppen von Anforderungen erfüllt werden.

Die Reihenfolge der Teile und Konstrukten der Maßnahmen wird durch Regeln in der Grammatik der Sprache festgelegt. Auch mit den Regeln der Grammatik der Sprache wird die Generierung von Konstrukten der Maßnahmen definiert (vgl. Abschnitt 4.1). Als Beispiel wird in Unterabschnitt 5.2.3 die Programmiersprache Pascal gegeben, die diese

Anforderungen erfüllt. Also können durch die Definition von Regeln für die Modellierung von Maßnahmen die Anforderungen 12 und 13 berücksichtigt werden. Dafür sollen wieder DSL Sprachen genutzt werden, die für bestimmte Domänen schnell erstellt werden können (vgl. Abschnitt 4.3). Die Ausdrucksstärke der Modellierung wird dabei nicht verringert, weil die Programmiersprachen, wie C, C++ oder Java, auch durch Regeln modelliert werden (vgl. Kapitel 4).

## **6.4 Eignung von formalen Sprachen anhand erfüllter Anforderungen**

In Abschnitten 6.1, 6.2 und 6.3 wird analysiert, welche Anforderungen erfüllt werden können. Aus der Analyse ergibt sich, dass alle Anforderungen durch Anwendung verschiedener Methoden erfüllt werden können. Alle diese Methoden basieren auf formalen Sprachen, daraus folgt, dass alle Anforderungen durch formale Sprachen eingehalten werden können. Einige Anforderungen aus den Gruppen "should have" und "nice to have" sollen während der Implementierung die Anforderungen aus Gruppen mit höherer Priorität berücksichtigen. Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass formale Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen in SM von LNW geeignet sind.

# 7. Evaluation der Anforderungen

In Kapitel 5 werden Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen abgeleitet. In Kapitel 6 wird gezeigt, dass formale Sprachen Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen erfüllen können. In diesem Kapitel werden die abgeleiteten Anforderungen evaluiert. Im ersten Teil des Kapitels wird DSL Sprache vorgestellt, die im zweiten Teil für die Modellierung von einigen Maßnahmen aus Tabelle 2.1 angewendet wird. Im dritten Teil wird geprüft, wie die Anforderungen durch die DSL Sprache erfüllt werden, und die Ergebnisse der Modellierung bewertet. So werden die Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen bewertet.

## 7.1 Domänenspezifische Sprache von Schmitt

Für die Modellierung von Maßnahmen wird die Grammatik von Schmitt verwendet (Schmitt 2019). Diese Grammatik erzeugt eine DSL Sprache, die für die Modellierung von Maßnahmen für SM von LNW entwickelt worden ist. Durch die Modellierung wird der Prozess zur Durchführung von Änderungen, die aus Maßnahmen resultieren, für den Benutzer vereinfacht (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3375). Durch die DSL Sprache modellierte Maßnahmen werden verständlicher für den Nutzer, als Maßnahmen, die beispielsweise mit SQL-Code geschrieben sind (Rabe u. a. 2018a, S. 2863). Durch Umsetzung von modellierten Maßnahmen wird die Datenbasis von SM der LNW geändert (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3377). So werden alle Maßnahmen als Änderungen in SM der LNW angesehen (Rabe, Schmitt und Dross 2017, S. 3370).

Die Grammatik von Schmitt besteht aus einer Menge von Regeln, mit Hilfe derer die Maßnahmen für SM von LNW modelliert werden können. Die Regeln werden durch EBNF (Erweiterte Backus-Naur-Form) beschrieben. Durch die Grammatik werden die Maßnahmentypen erzeugt, die durch Eingabeparameter parametrisiert werden können. In modellierten Maßnahmentypen wird verschiedene Information gespeichert. Weiter werden Teile und Konstrukte des Maßnahmentyps beschrieben, die im Abschnitt 7.2 für die Modellierung von Maßnahmen genutzt werden.

In den Attributen der Maßnahmentypen *ACTIONTYPE* und *DESCRIPTION* werden jeweils Name und Beschreibung der Maßnahmentypen eingetragen. Durch *INPUT* werden

Variablen deklariert, die in *STATEMENTS* genutzt werden können, und durch die der Maßnahmentyp konfiguriert werden kann. Bei der Deklaration können die Default-Werte an Variable übergeben werden. In *STATEMENTS* wird der Code des Maßnahmentyps gegeben, der bei der Umsetzung des Maßnahmentyps ausgeführt wird. Durch *#* werden Kommentare eingefügt, das heißt, dass nachfolgende Zeichen innerhalb der Zeile beim Kompilieren nicht betrachtet werden.

Durch die Modellierung können Variablen erzeugt werden, die nach der Deklaration in *INPUT* oder in *STATEMENTS* innerhalb von *STATEMENTS* genutzt werden können. In Variablen können die Werte, die dem Typ der Variablen entsprechen, gespeichert werden. Hier werden drei Typen von Variablen aufgezeigt:

- **MODIFIER**: zeigt, wie die Werte von Entitäten geändert werden sollen;
- **FILTER**: wird in der Filterung von Entitäten genutzt;
- **LISTE**: funktioniert, wie ein Array in Pascal und speichert eine Menge von Werten;

Alle diese Variablen können in *INPUT* nach dem folgenden Prinzip deklariert oder initialisiert werden. Der folgende Code zeigt die Initialisierung von einer Variable des Typ "MODIFIER", Name "myModifier" und Wert -1:

```
1 INPUT
2     myModifier TYPE MODIFIER = - 1
```

**Code 7.1:** Initialisierung einer Variable in *INPUT*

*STATEMENTS* besteht aus Anweisungen, die während der Umsetzung von Maßnahmentypen verschiedene Aufgaben erfüllen. Die folgende Liste gibt eine Übersicht von Anweisungen, die in Abschnitt 7.2 benutzt werden, und Funktionalitäten, die diese Anweisungen besitzen:

- **Deklaration** wird für die Deklaration der neuer Variable angewendet. Folgender Code zeigt die Anwendung der Deklaration von Anweisungen. Es wird eine Variable vom Typ "FILTER" mit Namen "myFilter" deklariert.

```
1 myFilter TYPE FILTER
```

**Code 7.2:** Beispiel zur Anwendung der *Deklaration*

- **Zuweisung** wird für die Änderung von Werten der Variable benutzt. Im folgenden Code wird die Variable "myFilter" vom Typ "FILTER" auf einen Wert gesetzt.

```
1 myFilter = (skus.StockNumber > 10)
```

**Code 7.3:** Beispiel zur Anwendung der *Zuweisung*

- **ChangeAnweisung** ändert die Werte von Entitäten der Tabelle. Sie besitzt die Möglichkeit zur Filterung von Entitäten und kann mittels *GET* die Werte von Attributen der geänderten Entitäten in Variablen speichern. Im folgenden Code werden Entitäten durch "myFilter" aus Code 7.3 gefiltert und anschließend durch "myModifier" aus Code 7.1 geändert. So wird die "StockNumber" der Entitäten aus der Tabelle "skus", die "StockNumber" größer 10 haben, auf 1 reduziert. Die "SkuID" Werte der geänderten Entitäten werden in der initialisierten Variablen "changedSkus" vom Typ "LISTE" gespeichert:

```

1 IN TABLE skus
2 CHANGE StockNumber = myModifier
3 WITH FILTER myFilter
4 GET changedSkus TYPE LISTE = SkuID

```

**Code 7.4:** Beispiel zur Anwendung der *ChangeAnweisung*

- **RemoveAnweisung** wird für das Entfernung von Entitäten angewendet. Ähnlich zur *ChangeAnweisung* können *FILTER* und *GET* benutzt werden. In Code 7.5 werden die Entitäten aus der Tabelle "skus" entfernt, die die Bedingungen von "myFilter" aus Code 7.3 erfüllen. Die "SkuID" von gelöschten Entitäten werden in die initialisierte "removedSkus" Variable vom Typ *LISTE* geschrieben:

```

1 IN TABLE skus
2 REMOVE
3 WITH FILTER myFilter
4 GET removedSkus TYPE LISTE = SkuID

```

**Code 7.5:** Beispiel zur Anwendung der *RemoveAnweisung*

- **CallAnweisung** ruft andere Maßnahmentypen auf. Durch *WITH* können die Werte an *INPUT* des aufrufenden Maßnahmentyp überwiesen werden. In Code 7.6 wird die Anwendung der *CallAnweisung* gezeigt. Es wird ein Maßnahmentyp "ActionType1" aufgerufen und "removedSkus" aus Code 7.5 an *INPUT* von "ActionType1" übergeben:

```

1 CALL ACTIONTYPE ActionType1
2 WITH inputParameter = removedSkus

```

**Code 7.6:** Beispiel zur Anwendung der *CallAnweisung*

Die Grammatik von Schmitt besitzt noch andere nützliche Konstrukte, wie zum Beispiel *IfThenElse* für Fallunterscheidung, *ForEachSchleife* für die Anwendung von "FOR-Schleifen", *ReturnAnweisung* um die Werte zurückzugeben und andere. Alle beschriebenen und nicht beschriebenen Konstrukte bilden die Funktionalität des Maßnahmentyps. Diese Funktionalität entspricht den Änderungen in der Datenbasis von SM der LNW, die durch die Umsetzung des Maßnahmentyps vorgenommen werden.

## 7.2 Modellierung von Maßnahmen durch Sprache von Schmitt

Für die Modellierung werden zwei Maßnahmen ausgewählt. Die erste ist eine einfache Maßnahme, die Änderung einer Komponente des LNW durchführt, und die zweite eine komplexe Maßnahme, die Änderungen in mehreren Komponenten durchführt (vgl. Tabelle 2.1). Als einfache Maßnahme wird Maßnahme 2 aus der Tabelle 2.1 verwendet, für Modellierung der komplexen Maßnahme wird Maßnahme 6 gewählt.

### Modellierung der Maßnahme 2 durch DSL Sprache

Durch Maßnahme 2 soll der Bestand eines Artikels in einem Lager geändert werden. Um Artikel und Lager zu identifizieren, werden drei Eingabeparameter genutzt:

- **myModifier** zeigt, wie "StockNumber" eines Artikels geändert wird.
- **mySkusFilter** filtert einen bestimmten Artikel aus;
- **mySitesFilter** filtert ein bestimmtes Lager aus;

Für die Änderung des Bestands eines Artikels wird die *ChangeAnweisung* verwendet. In *WITH FILTER* werden "mySkusFilter" und "mySitesFilter" durch ein *AND* verbunden, dies bedeutet, dass die Bedingung beider Filter gelten sollen, um eine Entität herauszufiltern. Der Wert von "StockNumber" in den ausgefilterten Entitäten wird durch "myModifier" modifiziert. Daraus kann Maßnahme 2, wie folgt modelliert werden:

```

1 ACTIONTYPE ActionType2
2 DESCRIPTION 'Changes stock number of sku in some warehouse'
3 INPUT
4     myModifier TYPE MODIFIER = - 1
5     mySkusFilter TYPE FILTER = (skus.StockNumber > 5)
6     mySitesFilter TYPE FILTER
7 STATEMENTS
8     IN TABLE sitesHaveSkus
9     CHANGE StockNumber = myModifier
10    WITH FILTER mySKUsFilter AND mySitesFilter

```

**Code 7.7:** DSL Code für Maßnahme 2

Wenn "ActionType2" umgesetzt wird, dann können Eingabeparameter in *INPUT* übergeben werden, um so die Artikel genauer bestimmen zu können und den neuen "StockNumber" Wert der Entitäten zu setzen. Durch Default-Werte in "myModifier" und "mySkusFilter" wird die "StockNumber" der Entitäten um 1 reduziert, wenn dieser Artikel ein Bestand größer als 5 haben.

### Modellierung der Maßnahme 6 durch DSL Sprache

Durch die Umsetzung von Maßnahme 6 soll eine Transportverbindung entfernt werden (vgl. Kapitel 2.1). Um eine Transportverbindung oder mehrere Transportverbindungen zu identifizieren, wird in *INPUT* "myTrRelFilter" deklariert. Danach wird in *STATEMENTS* eine *RemoveAnweisung* aufgerufen, die zu "myTrRelFilter" passende Transportverbindungen aus der Tabelle "transportrelations" entfernt. Die Werte von "TrID" der gelöschten Entitäten werden in der "removedTransportRelations" *LISTE* gespeichert. Diese Maßnahme ist komplex, weil sie Entitäten aus mehreren Tabellen bearbeiten soll. Es werden die Transportvorgänge, die Transportverbindungen aus "removedTransportRelations" enthalten, entfernt. Dafür wird der Maßnahmentyp "RemoveTransportProcess" definiert. Dieser Maßnahmentyp bekommt als Eingabeparameter eine *LISTE* von Transportverbindungen. Wenn ein Transportvorgang eine Transportverbindung aus "myTransportRelation" enthält, dann soll diese Verbindung entfernt werden. Durch die *CallAnweisung* wird "RemoveTransportProcess" in "ActionType6" aufgerufen und durch "removedTransportRelations" parametrisiert. Beide Maßnahmentypen können, wie folgt, durch DSL Sprache modelliert werden:

```

1 ACTIONTYPE ActionType6
2 DESCRIPTION 'removes one or more transport relations'
3 INPUT
4   myTrRelFilter TYPE FILTER = (transportrelations.Distance > 1000)
5 STATEMENTS
6   IN TABLE transportrelations
7   REMOVE
8   WITH FILTER myTrRelFilter
9   GET removedTransportRelations TYPE LISTE = TrID
10
11  CALL ACTIONTYPE RemoveTransportProcess
12  WITH myTransportRelation TYPE LISTE = removedTransportRelations

```

**Code 7.8:** DSL Code für Maßnahme 6

```

1 ACTIONTYPE RemoveTransportProcess
2 DESCRIPTION 'removes transport process'
3 INPUT
4   myTransportRelation TYPE LISTE
5 STATEMENTS
6   IN TABLE transportProcesses
7   REMOVE
8   WITH FILTER ( transportProcess.TrID ) == myTransportRelation

```

**Code 7.9:** DSL Code für Maßnahmentyp RemoveTransportProcess

Wenn "ActionType6" aufgerufen wird und nicht parametrisiert ist, werden alle Transportverbindungen aus der Tabelle "transportrelations", die eine Länge ("Distance")

größer 1000 haben, entfernt. Die "TrID" der gelöschten Transportverbindung werden in der "removedTransportRelations" LISTE gespeichert. Danach wird der ActionType "RemoveTransportProcess" aufgerufen und durch "removedTransportRelations" parametrisiert. Hierdurch werden alle Transportvorgänge aus der Tabelle "transportProcesses" entfernt, die Transportverbindungen aus "removedTransportRelations" beinhalten.

### 7.3 Bewertung der Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen

In Abschnitt 7.1 werden die Grundlagen der DSL Sprache von Schmitt betrachtet. Die theoretischen Grundlagen dieser Sprache und einige Sprachkonstrukte werden veranschaulicht und anschließend im Abschnitt 7.2 für die Modellierung von zwei Maßnahmen aus der Tabelle 2.1 genutzt. Die Bewertung der Anforderungen an die Modellierung von Maßnahmen erfolgt durch eine Überprüfung der in Tabelle 5.4 aufgeführten Anforderungen der DSL Sprache von Schmitt. Zusätzlich erfolgt eine Bewertung der modellierten Maßnahmen in Abschnitt 7.2. Die folgende Liste gibt eine nach Prioritäten sortierte Übersicht, wie die Anforderungen in der DSL Sprache erfüllt werden, wobei durch (X) auf die entsprechende Anforderung in Tabelle 5.4 verwiesen wird:

- (2) In ActionTypes können durch *CallAnweisung* andere ActionTypes genutzt werden. So können die Maßnahmen modular aufgebaut werden (vgl. Abschnitte 7.1 und 7.2).
- (3) Durch die Umsetzung der ActionTypes werden Änderungen in der Datenbasis von SM des LNW gemacht (vgl. Abschnitt 7.1).
- (4) Die modellierten ActionTypes werde automatisiert umgesetzt, weil sie durch Rechner in Anfragen an Datenbanken übersetzt werden (vgl. Abschnitt 7.1).
- (6) Die semantische Analyse ist nicht in der Modellierung vorhanden.
- (7) Die Modellierung erfolgt durch EBNF Grammatik, die eine Darstellungsform der kontextfreien Sprachen ist. Dies hat zur Folge, dass ActionTypes durch formale Methoden beschrieben werden (vgl. Abschnitt 7.2).
- (11) Konstrukte, wie zum Beispiel *CallAnweisung*, *ForEachSchleife*, *ReturnAnweisung* oder *IfThenElse*, erleichtern die Modellierung von großen und komplexen Maßnahmen (vgl. Abschnitt 7.1).
- (14) ActionTypes sind generische Maßnahmentypen, die durch Eingabeparametern spezifiziert und in Maßnahmen überwiesen werden (vgl. Abschnitt 7.1).
- (15) ActionTypes können durch Eingabeparameter in *INPUT* konfiguriert werden (vgl. Abschnitt 7.1).

- (1) Durch Konstrukte, wie beispielsweise *AddAnweisung*, *ChangeAnweisung*, *RemoveAnweisung* oder *FILTER*, können ActionTypes modelliert werden, die dem vollständigen Spektrum an Änderungen in der Datenbasis der SM von LNW entsprechen. Daraus ergibt sich, dass alle notwendigen logistischen Maßnahmen durch die DSL Sprache modelliert werden können (vgl. Abschnitt 7.1; (Schmitt 2019)).
- (8) Die DSL Sprache besitzt eine verständliche Syntax. Konstrukte mit Namen, wie *ADD*, *REMOVE*, *FILTER* usw., werden für Spezialisten aus Logistik und Supply Chain Management verständlich (vgl. Abschnitte 7.1 und 7.2).
- (10) Die Modellierung besitzt nicht nur verständliche Konstrukte, sondern erfolgt auch mithilfe von EBNF Grammatik, die kompakt und bequem für die Anwendung ist. Dies macht die Modellierung von Maßnahmen nachvollziehbar und verständlich (vgl. Abschnitt 7.1 und Kapitel 4).
- (5) Die Modellierung erfolgt durch EBNF Grammatik, die eine Darstellungsform von kontextfreien Sprachen ist, sodass die modellierten ActionTypes in Polynomialzeit umgesetzt werden können (vgl. Abschnitt 7.1 und Kapitel 4).
- (9) Die Grammatik von Schmitt besitzt nur notwendige Konstrukte, wodurch sich die Modellierung von Maßnahmen möglichst einfach gestaltet (vgl. Abschnitt 7.1, (Schmitt 2019)).
- (12) Aus der Grammatik und den modellierten Beispielen lässt sich folgern, dass die Regeln der Grammatik die Reihenfolge der Teile und der Konstrukte der Maßnahmen in der Modellierung von Maßnahmen berücksichtigen (Abschnitt 7.1 und Abschnitt 7.2).
- (13) Die Modellierung von ActionTypes erfolgt mit Hilfe von EBNF Grammatik, die ein festes Schema für die Erstellung des ActionTypes aufweist (Schmitt 2019).

Alle Anforderungen außer Anforderung 6 werden durch DSL Sprache von Schmitt abgedeckt. Die Anforderung 6 erfordert die Prüfung von resultierenden Effekten, die bei der Umsetzung von Maßnahmen erfordert. Da dies in der DSL Sprache von Schmitt nicht überprüft wird, ist es Aufgabe des Erstellers von Maßnahmen, alle Effekte und daraus möglicherweise resultierende Inkonsistenzen selber zu berücksichtigen. Es ist jedoch möglich, die Anforderungen anhand der Ergebnisse der Modellierung von Maßnahmen zu evaluieren, da bis auf Anforderung 6 alle anderen Anforderungen an die DSL Sprache erfüllt sind.

Aus den beispielhaften Modellierungen von Maßnahmen 2 und 6 lässt sich schließen, dass durch die Erfüllung der Anforderungen einfache und komplexe Maßnahmen durch ActionTypes modelliert werden können. Die Modellierung ist nachvollziehbar und bequem. Durch die Umsetzung von modellierten Maßnahmen können die Änderungen in SM von LAS vorgenommen werden. Dadurch kann die Modellierung der Maßnahmen in LAS für

die Kontrolle und zur Verwaltung der LNW verwendet werden. Die Implementierung von Anforderung 6 würde dem Ersteller von Maßnahmen das Voraussehen von möglichen auftretenden Inkonsistenzen nach der Umsetzung erleichtern. Zusammenfassend ergibt sich, dass durch die Erfüllung von Anforderungen, kann die resultierende Modellierung von Maßnahmen in LAS von LNW verwendet werden.

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

Logistik ist eine der wichtigsten Funktionen der Wirtschaft und logistische Netzwerke helfen bei der Erfüllung von Grundaufgaben der Logistik. Die LNW werden in dieser Arbeit als SM in LAS dargestellt, wobei für die Verwaltung und Kontrolle dieser LNW logistische Maßnahmen Anwendung finden. Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Identifikation von Anforderungen für die Modellierung von Maßnahmen in SM der LNW des Großhandels. Dafür wurden die Bereiche, in denen die Modellierung von Maßnahmen stattfindet, oder, welche die Modellierung von Maßnahmen beeinflussen, untersucht.

Zunächst wurde der Bereich des Großhandels erläutert. Dieser Erläuterung beinhaltet nicht nur die Grundlagen des Großhandels, sondern auch die Grundlagen der LNW und LNW des Großhandels. Hierzu wurden LNW definiert sowie die Verfahren zur Modellierung und Modifikation der LNW erläutert. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden die Maßnahmen für LNW vorgestellt, die als Grundstein in der Verwaltung von LNW fungieren. Die Beispiele von großen und hochkomplexen LNW haben den Bedarf an Instrumenten gezeigt, die die Verwaltung und Kontrolle von LNW erleichtern können. Diese Instrumente sind unter anderem LAS, die in einem weiteren Grundlagenteil vorgestellt wurden.

Im dritten Kapitel 3 wurden Definition und Grundaufgaben von LAS erläutert. Dazu wurden verschiedene Methoden vorgestellt, die in LAS für die Untersuchung von LNW genutzt werden können. Durch den bewertenden Vergleich der vorgestellten Methoden wurde herausgefunden, dass die DES am besten für den Einsatz dieser Analyseaufgabe geeignet ist. Aus diesem Grund wurde die DES detailliert untersucht. In der Untersuchung wurden einige Grundprinzipien der DES aufgezeigt und dargestellt, wie die LNW in SM der DES dargestellt werden können.

Im abschließenden Grundlagenteil wurden die formalen Sprachen vorgestellt. Die Chomsky-Hierarchie, Charakteristiken von verschiedenen Typen der formalen Sprachen und DSL Sprachen wurden untersucht. Die hier gewonnenen Erkenntnisse sind in den Auswahlprozess und die Anforderungserhebung für die formalen Sprachen eingeflossen.

Nach der Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den Grundlagen wurde der Prozess der Modellierung von Maßnahmen für SM der LNW des Großhandels vorgestellt und

analysiert. Aus dieser Analyse ließen sich drei Bereiche ableiten, aus denen die Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen resultieren können. Der erste Bereich ist die Anwendungsdomäne von Maßnahmen. Dies sind die LNW, in denen der Betriebstyp der Unternehmen keine entscheidende Rolle spielt. In der Folge wurde der Großhandel nicht als Faktor berücksichtigt, der die Anforderungen beeinflussen kann. Der zweite Bereich ist die Umsetzung von Maßnahmen. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird durch diesen Bereich die Umsetzung von Maßnahmen in SM der LNW abgedeckt. Im letzten Bereich wird die Modellierung von Maßnahmen behandelt. Aufbauend auf diesen drei Bereichen wurden 9 Einflussfaktoren auf die Modellierung von Maßnahmen abgeleitet.

Die Einflussfaktoren werden als Charakteristiken betrachtet, die die Modellierung von Maßnahmen aufweisen müssen. Diese Einflussfaktoren können unter Zuhilfenahme der Anforderungen erfüllt werden. In diesem Rahmen wurden 15 Anforderungen an die Einflussfaktoren identifiziert. Zwischen den identifizierten Anforderungen wurden jedoch konfliktäre Wechselwirkungen festgestellt. Um die Konflikte zwischen den Anforderungen zu lösen, wurden die Anforderungen paarweise aufgeteilt und innerhalb der Paare priorisiert. Anhand der resultierenden Prioritäten wurden die Anforderungen in drei Gruppen aufgeteilt. Jede Gruppe besitzt eine eigene Priorität, die während der Erstellung der Modellierung beachtet werden muss. So sollten in der Modellierung zuerst die Anforderungen mit höherer Priorität erfüllt werden.

Im nächsten Teil wurde geprüft, ob formale Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen geeignet sind. Dafür wurde untersucht, welche Anforderungen unter Berücksichtigung der Prioritäten durch formale Sprachen erfüllt werden können. Aus der Analyse lässt sich folgern, dass 14 von 15 Anforderungen durch formale Sprachen abgedeckt werden. Nur die Anforderung, die von der Modellierung eine Berücksichtigung des resultierenden Effekts der Maßnahmen verlangt, kann nicht durch formale Sprachen realisiert werden. Dies begründet sich dadurch, dass die semantische Analyse nicht unter Zuhilfenahme formaler Sprachen durchgeführt werden kann. Basierend auf der hohen Abdeckungsquote der Anforderungen können die formalen Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen an SM der LNW benutzt werden.

Abschließend wurde die Evaluation der Anforderungen durchgeführt. Die DSL Grammatik von Schmitt wurde für die Modellierung von Maßnahmen verwendet, da die formalen Sprachen für die Modellierung von Maßnahmen geeignet sind. Diese Grammatik basiert auf EBNF Grammatik und ist für die Modellierung von Maßnahmen an SM von LNW entwickelt worden. In der Anwendung dieser Sprache für Modellierung von Maßnahmen konnte gezeigt werden, dass die zuvor erhobenen Anforderungen sowohl geeignet ausgewählt als auch sinnvoll in dem hier untersuchten Kontext sind.

In weiteren Forschungsarbeiten könnte die Anforderung 6 untersucht werden. In diesem Rahmen kann erforscht werden, wie beispielsweise die Berücksichtigung des resultierenden Effekts in der Modellierung von Maßnahmen stattfinden kann. Aufbauend auf dieser Analyse könnte eine Programmiersprache für die Modellierung von Maßnahmen entwickelt werden, die alle Anforderungen erfüllt.

# Literaturverzeichnis

- Abts, Dietmar (2016). *Grundkurs JAVA: Von den Grundlagen bis zu Datenbank- und Netzanwendungen*. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658138066.
- Banks, Jerry (2005). *Discrete event system simulation*. 4. Aufl. Upper Saddle River: NJ [u.a.]: Pearson Education Internat. ISBN: 9780131293427.
- Böckenhauer, Hans-Joachim und Juraj Hromkovic (2013). *Formale Sprachen: Endliche Automaten, Grammatiken, lexikalische und syntaktische Analyse*. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658007249.
- Bretzke, Wolf-Rüdiger (2010). *Logistische Netzwerke*. 3. Aufl. Heiderlberg, Deutschland: Springer. ISBN: 9783662479216.
- Breviglieri, Luca, Angelo Morzenti und Stefano Crespi Reghizzi (2019). *Formal Languages and Compilation*. 3. Aufl. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 3030048799.
- Brockhage, Jutta und Thomas Witte (1992). "PROSIMO - die datengetriebene Simulation in der Bewährung einer Großreparaturwerkstatt." In: *Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe*, S. 51–64.
- Bruncken, Rijke und Svenja Jungen (2018). "Untersuchung verschiedener Ausprägungen von Logistiknetzwerken des Großhandels". Magisterarb. Dortmund: TU Dortmund.
- Buchholz, Peter und Uwe Clausen (2009). *Große Netze der Logistik. Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559*. 1. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer. ISBN: 9783540710479.
- Cannon, Joseph P., William D. Perreault und E. Jerome McCarthy (2006). *Basic Marketing*. 16. Aufl. Boston, Mass. [u.a.]: McGraw-Hill. ISBN: 9780071101103.
- Chopra, Sunil und Peter Meindl (2010). *Supply Chain Management. Strategy, Planning and Operation*. 4. Aufl. Boston [u.a.]: Pearson. ISBN: 9780136094517.
- Czuchra, Waldemar (2010). *UML in logistischen Prozessen*. 1. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Vieweg+Teubner. ISBN: 9783834807960.
- Dross, Felix und Markus Rabe (2014). "A SimHeuristic Framework as a Decision Support System for large Logistics Networks with complex KPIs." In: *Tagungsband. ASIM SST Berlin 2014 22. Symposium Simulationstechnik*, S. 247–253.
- Eley, Michael (2012). *Simulation in der Logistik*. 1. Aufl. Berlin: Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 3642273734.

- Fowler, Martin und Rebecca Parsons (2011). *Domain specific languages*. 1. Aufl. Upper Saddle River, NJ [u.a.]: Addison-Wesley. ISBN: 9780321712943.
- Furmans, Kai, Dieter Arnold, Axel Kuhn, Heinz Iseramann und Horst Tempelmeier (2008). *Handbuch Logistik*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN: 9783540729297.
- Goos, Gerhard (1997). *Vorlesung über Informatik. Berechenbarkeit, formale Sprachen, Spezifikationen: mit 15 Tabellen*. 3. Aufl. Heidelberg: Springer. ISBN: 3540606556.
- “Großhandel in Deutschland” (2017). In: *Statista*.
- Gudehus, Timm (2005). *Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. 3. Aufl. Berlin Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 9783540276296.
- (2010). *Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. 4. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer. ISBN: 9783540893882.
- Günther, Hans-Otto, Dirk C. Mattfeld und Leena Suhl (2007). *Management logistischer Netzwerke*. 1. Aufl. Heiderlberg, Deutschland: Physica-Verlag. ISBN: 9783790819205.
- Günthner, Willibald A. (2007). *Neue Wege in der Automobillogistik: Die Vision der Supra-Adaptivität*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 9783540725565.
- Handelsforschung, Institut für (2006). *Definitionen zu Handel und Distribution*. 5. Aufl. Köln: Inst. für Handelsforschung an der Univ. zu Köl. ISBN: 9783935546263.
- Hedtstück, Ulrich (2007). *Einführung in die theoretische Informatik: formale Sprachen und Automatentheorie*. 4. Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg. ISBN: 9783486582697.
- (2012). *Einführung in die theoretische Informatik: formale Sprachen und Automatentheorie*. 5. Aufl. München: Oldenbourg. ISBN: 9783486714043.
- (2013). *Simulation diskreter Prozesse: Methoden und Anwendungen*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 9783642348716.
- Henderson, Ken (2002). *Transact SQL: über 100 undokumentierte Befehle, 600 in der Praxis einsetzbare Code-Beispiele*. 1. Aufl. München [u.a.]: Addison-Wesley. ISBN: 9783827319241.
- Hromkovic, Juraj (2011). *Theoretische Informatik: Formale Sprachen, Berechenbarkeit, Komplexitätstheorie, Algorithmik, Kommunikation und Kryptographie*. 4. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden. ISBN: 9783834898531.
- (2014). *Theoretische Informatik: Formale Sprachen, Berechenbarkeit, Komplexitätstheorie, Algorithmik, Kommunikation und Kryptographie*. 5. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658064334.
- Jensen, Kathleen und Niklaus Wirth (1974). *PASCAL User Manual and Report*. 1. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer. ISBN: 9783540069508.
- Jodin, Dirk, Sonja Kuhnt und Sigrid Wenzel (2009). “Methodennutzungsmodell zur Informationsgewinnung in großen Netzen der Logistik.” In: *Große Netze der Logistik*, S. 1–18.

- Khan, Syed Abdul Rehman und Zhang Yu (2019). *Strategic Supply Chain Management*. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 9783030150594.
- Koch, Markus (2014). *Objektanalysen für die Modellierung und Simulation von logistischen Systemen*. 1. Aufl. Magdeburg, Deutschland: Univ. ISBN: 9783944722054.
- Kosar, Tomaž, Sašo Gaberc, Jeffrey C. Carver und Marjan Merni (2018). “Program comprehension of domain-specific and general-purpose languages: replication of a family of experiments using integrated development environments.” In: *Empirical Software Engineering*, S. 2734–2763.
- Kotler, Philip, Kevin Lane Keller und Marc Oliver Opresnik (2015). *Marketing-Management: Konzepte-Instrumente-Unternehmensfallstudien*. 14. Aufl. Hallbergmoos: Pearson. ISBN: 9783863267353.
- Kovacs, Gyöngyi, Karen Spens und Mohammad Moshtari (2018). *The Palgrave Handbook of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*. 1. Aufl. London, United Kingdom: Vieweg+Teubner. ISBN: 9781137590985.
- Kress, Mosche (2016). *Operational Logistics. The Art and Science of Sustaining Military Operations*. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 9783319226743.
- Kuhn, Axel und Bernd Hellingrath (2002). *Supply Chain Management. Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*. 1. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer. ISBN: 9783540654230.
- Kuhn, Axel und Markus Rabe (1998). *Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung*. 1. Aufl. Berlin: Springer. ISBN: 9783540638544.
- Kysela, Kai D. (1994). *Großhandelsmarketing*. 1. Aufl. Bergisch Gladbach [u.a.]: Verlag Josef Eul. ISBN: 9783890124094.
- Law, Averill M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis*. 5. Aufl. New York: NY: McGraw-Hill. ISBN: 1259254380.
- Linden, Isabelle, Shaofeng Liu, Fatima Dargam und Jorge E. Hernandez (2015). *Decision Support Systems IV - Information and Knowledge Management in Decision Processes*. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 9783319215365.
- Lothar März, Oliver Rose und (2011). “Simulation.” In: *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen*, S. 13–21.
- Louis, Dirk (2018). *C++: das komplette Starterkit für den einfachen Einstieg in die Programmierung*. 2. Aufl. München: Hanser. ISBN: 9783446453883.
- Lucke, Hans-Joachim (2012). “Systemtheoretische Grundlagen der Logistik.” In: *Grundlagen der Logistik. Theorie und Praxis logistischer Systeme*. S. 35–56.
- Mattfeld, Dirk und Richard Vahrenkamp (2014). *Logistiknetzwerke. Modelle für Standortwahl und Tourenplanung*. 2. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783834969125.

- Muchna, Claus, Hans Brandenburg, Johannes Fottner und Jens Gutermuth (2018). *Grundlagen der Logistik. Begriffe, Strukturen und Prozessen*. 1. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Springer Gabler. ISBN: 9783658185923.
- Müller-Hagedorn, Lothar, Waldemar Toporowski und Stephan Zielke (1998). *Der Handel. Grundlagen - Management - Strategien*. 1. Aufl. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer. ISBN: 9783170153387.
- (2012). *Der Handel. Grundlagen - Management - Strategien*. 2. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer. ISBN: 9783170192829.
- Pfohl, Hans-Christian (2004). *Netzkompetenz in Supply Chains. Grundlagen und Umsetzung*. 1. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Gabler. ISBN: 9783409126847.
- (2016). *Logistikmanagement. Konzeption und Funktionen*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. ISBN: 9783662487839.
- Pooch, Udo W. und James A. Wall (1993). *Discrete event simulation: a practical approach*. 1. Aufl. Boca Raton [u.a.]: CRC Press. ISBN: 0849371740.
- Preusser, Margaretha, Christian Almeder, Richard F. Hartl und Markus Klug (2005). “LP Modelling and Simulation of Supply Chain Networks.” In: *Supply Chain Management und Logistik. Optimierung, Simulation, Decision Support*. S. 95–112.
- Priese, Lutz und Katrin Erk (2018). *Theoretische Informatik : Eine umfassende Einführung*. 4. Aufl. Berlin: Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 9783662574096.
- Rabe, Markus, Majsja Ammouriova und Dominik Schmitt (2018a). “Improving the Performance of a Logistics Assistance System for Materials Trading Networks by Grouping Similar Actions.” In: *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*, S. 2861–2872.
- (2018b). “Utilizing Domain-specific Information for the Optimization of Logistics Networks.” In: *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*, S. 2873–2884.
- Rabe, Markus, Felix Dross, Dominik Schmitt und Majsja Ammouriova (2017). “Decision Support for Logistics Networks in Materials Trading Using a Simheuristic Framework and User-generated Action Types.” In: *Simulation in Produktion und Logistik 2017*, S. 109–118.
- Rabe, Markus, Dominik Schmitt und Felix Dross (2017). “Method to Model Actions for Discrete-event Simulations of Logistics Networks.” In: *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference*, S. 3370–3381.
- Rabe, Markus, Dominik Schmitt, Astrid Klüter und Joachim Hunker (2019). “Decoupling the Modeling of Actions in Logistics Networks from the Underlying Simulation Data Model.” In: *Advances in Production, Logistics and Traffic*, S. 32–44.
- Samadi, Sara (2009). *Die Servicefunktionen des Großhandels als Erfolgsfaktor*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler. ISBN: 9783834914194.

- Schicker, Edwin (2017). *Datenbanken und SQL: Eine praxisorientierte Einführung mit Anwendungen in Oracle, SQL Server und MySQL*. 5. Aufl. Wiesbaden, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658161286.
- Schmitt, Dominik (2019). *Grammatik einer domänenspezifischen Sprache zur Modellierung von Maßnahmen in Logistiknetzwerken des Großhandels für eine Anwendung in Simulationsmodellen*.  
[http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de/publikationen/files/Schmitt\\_DSL\\_Grammar\\_in\\_WholesaleLogisticsNetworks.pdf](http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de/publikationen/files/Schmitt_DSL_Grammar_in_WholesaleLogisticsNetworks.pdf). Aufgerufen: 22-09-2019.
- Schönherr, Michael (2016). *Wertorientiertes Logistikmanagement. Modell zur Bewertung logistischer Maßnahmen aus Sicht des Unternehmenswertes*. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658116712.
- Sestoft, Peter (2017). *Programming Language Concepts*. 1. Aufl. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 9783319607894.
- Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland*. (August 2005). 1. Aufl. Red.-Schluss. ISBN: 9783824607457.
- Tempelmeier, Horst (2018). *Modellierung logistischer Systeme*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 9783662577714.
- Thissen, Sarah A. (2018). *Planung von logistischen Maßnahmen für globale Liefernetzwerke*. Dortmund, Deutschland.
- Tietz, Bruno, Hans-Peter Liebmann und Joachim Zentes (2007). *Innovative Geschäftsmodelle und Geschäftsprozesse im Großhandel*. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH. ISBN: 9783866410909.
- VDI (2014). "VDI 3633 Blatt 1. Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen-Grundlagen." In:  
Verkehrstechnologien für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Projektträger Mobilität und (Oktober 2012). "InKoRISK – Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Risikomanagements in der Automobilindustrie." In:  
*Verkehrsforschung für das 21. Jahrhundert*.
- Völter, Markus (2013). *DSL engineering: designing, implementing and using domain specific languages*. 1. Aufl. Lexington, KY: dslbook.org. ISBN: 9781481218580.
- Wagenknecht, Christian und Michael Hielscher (2014). *Formale Sprachen, abstrakte Automaten und Compiler: Lehr- und Arbeitsbuch für Grundstudium und Fortbildung*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 9783658026929.
- Wegener, Ingo (1996). *Theoretische Informatik: eine Ideensammlung*. 1. Aufl. Stuttgart: Teubner. ISBN: 9783519021452.
- (2005). *Theoretische Informatik - eine algorithmenorientierte Einführung*. 3. Aufl. Wiesbaden: Teubner. ISBN: 9783835100336.

- Wegner, Ullrich und Kirsten Wegner (2017). *Einführung in das Logistik-Management: Prozesse, Strukturen, Anwendungen*. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN: 9783658136741.
- Wenzel, Sigrid, Sven Spieckermann, Markus Rabe und Kai Gutenschwager (2017). *Simulation in Produktion und Logistik: Grundlagen und Anwendungen*. 1. Aufl. Berlin: Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 3662557444.
- Wilhelm, Reinhard, Helmut Seidl und Sebastian Hack (2012). *Übersetzerbau: Band 2: Syntaktische und semantische Analyse*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 9783642011351.

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Typologie eines Logistiksystems . . . . .	7
2.2	Grundstruktur des LNW mit und ohne Großhändler . . . . .	8
2.3	Zusammenhang zwischen Maßnahmentyp, Maßnahmenausprägung und Maßnahme . . . . .	10
3.1	Wege von Untersuchung eines Systems nach (Law 2015, S. 4) . . . . .	15
5.1	Konfliktäre Wechselwirkungen zwischen Anforderungen . . . . .	41
5.2	Prioritäten von Anforderungen . . . . .	44

# Tabellenverzeichnis

2.1	Mögliche logistische Maßnahmen in einem LNW . . . . .	10
3.1	Aufgabeverteilung zwischen Mensch und Maschine . . . . .	12
3.2	Beispiele von LAS und ihre Einsatzfelder . . . . .	13
4.1	Grammatiktypen und erzeugten Sprachklassen . . . . .	21
4.2	Unterschiede zwischen GPL und DSL Sprachen . . . . .	24
5.1	Übersicht von identifizierten Einflussfaktoren . . . . .	32
5.2	Wechselwirkungen zwischen Anforderungen . . . . .	39
5.3	Paaren von Anforderungen . . . . .	42
5.4	Gruppierte Anforderungen . . . . .	46

# Codeverzeichnis

7.1	Initialisierung einer Variable in <i>INPUT</i> . . . . .	53
7.2	Beispiel zur Anwendung der <i>Deklaration</i> . . . . .	53
7.3	Beispiel zur Anwendung der <i>Zuweisung</i> . . . . .	53
7.4	Beispiel zur Anwendung der <i>ChangeAnweisung</i> . . . . .	54
7.5	Beispiel zur Anwendung der <i>RemoveAnweisung</i> . . . . .	54
7.6	Beispiel zur Anwendung der <i>CallAnweisung</i> . . . . .	54
7.7	DSL Code für Maßnahme 2 . . . . .	55
7.8	DSL Code für Maßnahme 6 . . . . .	56
7.9	DSL Code für Maßnahmentyp RemoveTransportProcess . . . . .	56

# Abkürzungsverzeichnis

**LAS** Logistische Assistenzsystem

**LNW** Logistiknetzwerk

**SM** Simulationsmodell

**DES** datengetriebene ereignisdiskrete Simulation

# Eidesstattliche Versicherung (Affidavit)

Name, Vorname  
(Last name, first name)

Matrikelnr.  
(Enrollment number)

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit/Masterarbeit\* mit dem folgenden Titel selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

I declare in lieu of oath that I have completed the present Bachelor's/Master's\* thesis with the following title independently and without any unauthorized assistance. I have not used any other sources or aids than the ones listed and have documented quotations and paraphrases as such. The thesis in its current or similar version has not been submitted to an auditing institution.

Titel der Bachelor-/Masterarbeit\*:  
(Title of the Bachelor's/ Master's\* thesis):

\*Nichtzutreffendes bitte streichen  
(Please choose the appropriate)

Ort, Datum  
(Place, date)

Unterschrift  
(Signature)

## Belehrung:

Wer vorsätzlich gegen eine die Täuschung über Prüfungsleistungen betreffende Regelung einer Hochschulprüfungsordnung verstößt, handelt ordnungswidrig. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße von bis zu 50.000,00 € geahndet werden. Zuständige Verwaltungsbehörde für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten ist der Kanzler/die Kanzlerin der Technischen Universität Dortmund. Im Falle eines mehrfachen oder sonstigen schwerwiegenden Täuschungsversuches kann der Prüfling zudem exmatrikuliert werden. (§ 63 Abs. 5 Hochschulgesetz - HG - ).

Die Abgabe einer falschen Versicherung an Eides statt wird mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

Die Technische Universität Dortmund wird gfls. elektronische Vergleichswerkzeuge (wie z.B. die Software „turnitin“) zur Überprüfung von Ordnungswidrigkeiten in Prüfungsverfahren nutzen.

Die oben stehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

## Official notification:

Any person who intentionally breaches any regulation of university examination regulations relating to deception in examination performance is acting improperly. This offense can be punished with a fine of up to €50,000.00. The competent administrative authority for the pursuit and prosecution of offenses of this type is the chancellor of TU Dortmund University. In the case of multiple or other serious attempts at deception, the examinee can also be unenrolled, section 63, subsection 5 of the North Rhine-Westphalia Higher Education Act (*Hochschulgesetz*).

The submission of a false affidavit will be punished with a prison sentence of up to three years or a fine.

As may be necessary, TU Dortmund will make use of electronic plagiarism-prevention tools (e.g. the "turnitin" service) in order to monitor violations during the examination procedures.

I have taken note of the above official notification:\*\*

Ort, Datum  
(Place, date)

Unterschrift  
(Signature)

**\*\*Please be aware that solely the German version of the affidavit ("Eidesstattliche Versicherung") for the Bachelor's/ Master's thesis is the official and legally binding version.**