

Leif Hendrik Meier

**Koordination interdependenter Planungssysteme  
in der Logistik**

# GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Leif Hendrik Meier

# **Koordination interdependenter Planungssysteme in der Logistik**

Einsatz multiagentenbasierter Simulation  
im Planungsprozess von Container-Terminals  
im Hafen

Mit einem Geleitwort von  
Prof. em. Dr. Dr. h. c. Jürgen Bloech

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

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

Dissertation Universität Göttingen 2008

1. Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Frauke Schindler / Jutta Hinrichsen

Gabler ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

[www.gabler.de](http://www.gabler.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Regine Zimmer, Dipl.-Designerin, Frankfurt/Main

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8349-1418-7

## Geleitwort

Für große Logistiksysteme im nationalen und internationalen Güteraustausch der Industrie und des Handels erschwert die hohe Komplexität der Logistiknetze den guten Überblick für die verantwortlichen Entscheidungsträger hinsichtlich guter Planungen und Steuerungen.

Dies gilt insbesondere für vermaschte Logistiksysteme aus teilweise getrennt liegenden Komponenten, wie diese in Container-Terminals vorkommen. Untersuchungen über große Logistiksysteme versprechen daher einen hohen Informationsgewinn.

Eine abgestimmte Steuerung der Positionierung der Containerschiffe, der Zuweisung der Containerbrücken, der Lagerort-Festlegung auf dem Lagergelände und in dem Containerstapel sowie die Transportplanung für die Beförderung der Container aus dem Lager heraus sind Herausforderungen der Analyse in diesem Buch.

In informativer Art werden im ersten Teil der Darstellung die Grundaktivitäten einer Container-Logistik in Häfen beschrieben. Dabei kommen auch die Grundstrukturen und Prozesse einer Transportlogistik gut zur Sprache.

Es wird auch deutlich, dass für die verantwortlichen Logistik-Manager einer Container-Logistik wirtschaftlich bedeutsame Planungsprobleme auftreten, die einer Optimierung bedürfen. Konsequenterweise werden deshalb auch Modelle und Ansätze zur Optimierung verschiedener Teilbereiche der Container-Logistik knapp und kritisch dargestellt.

Die Entwicklungstrends der Container-Terminals führen zu größerer Bedeutung einer abgestimmten Planung, welche die Interdependenzen der einzelnen Planungsstrukturen berücksichtigt. Für die Lösung dieser Fragestellung stellt der Autor Leif Hendrik Meier das vielversprechende Konzept eines Multiagentenmodells vor.

Dieses Konzept wird eingehend dargelegt und diskutiert. Die Struktur und das Zusammenwirken der Agenten für die Planungsbereiche werden eingehend beschrieben und die menschlichen Eingriffsmöglichkeiten aufgezeigt.

Die Arbeit führt schließlich auch die Umsetzung des Multiagenten-Planungsmodells durch ein einsetzbares Programm vor und zeigt umfangreiche Anwendungen des Optimierungsprogramms mit vielversprechenden Ergebnissen.

Das Buch wird von mir Wissenschaftlern und Praktikern empfohlen, die ein Interesse für moderne Logistiksysteme hegen und deren komplexe Strukturen und Prozessverknüpfungen gedanklich durchdringen wollen. Auch Studierende verschiedener Institutionen können sich durch diese Schrift ein großes Wissen über eine Logistik aneignen, die ihnen in der Gestalt der transportierten Container bereits täglich auf den Straßen dieser Welt begegnet und ihnen in den modernen Häfen dieser Erde durch unübersehbar große Container-Terminals ins Auge fällt.

J. Bloech

## Vorwort

Nahezu täglich ist den Medien zu entnehmen, dass der Logistik eine wachsende Bedeutung zukommt. Die Bedeutung insbesondere der maritimen Logistik konnte ich, unweit von Bremerhaven aufgewachsen, „hautnah“ miterleben. Mit dem Wachstum des Umschlags wuchs auch meine Begeisterung für diese Aufgabenstellung.

Ohne die Unterstützung all derer, die mich während meiner Dissertation angetrieben und begleitet haben, hätte ich die Arbeit nicht in dieser Form fertig stellen können. Hierfür möchte ich mich herzlich bedanken.

An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Jürgen Bloech am Institut für Betriebswirtschaftliche Produktions- und Investitionsforschung, mit dem ich meine Ideen jederzeit diskutieren konnte. Herrn Prof. Dr. Matthias Schumann möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und u.a. für die Bereitstellung der notwendigen Rechenkapazitäten für die Simulationen sowie für die finanzielle Unterstützung auf Konferenzen danken. Herrn Prof. Dr. Wolfgang König danke ich für die Übernahme der mündlichen Prüfung.

Herrn Prof. Dr. Jörg Biethahn gebührt großer Dank, weil er mich durch sein Interesse an meiner Arbeit immer wieder motivieren konnte und mir einen idealen Einstieg in die Promotion ermöglicht hat. Meinen ehemaligen Kollegen danke ich für ihre hervorragende Unterstützung. Hier ist es mir wichtig, insbesondere Herrn Dr. Andreas Lackner, Herrn Dr. Ole Brodersen und Herrn Dr. Helge Fischer zu nennen, weil mir ihre Unterstützung ganz besonders wichtig war.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. Antonio Maçada, der sich während unserer Aufenthalte in Brasilien mit voller Aufopferung für uns eingesetzt hat.

Für die dieser Arbeit zur Verfügung gestellten Daten und die jederzeit freundlichen Diskussionen möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Carsten Boll und Herrn Dr. Holger Schütt bedanken, die immer ein offenes Ohr für meine Ideen hatten und mich unterstützt haben, diese auch zu verwirklichen.

Für die praktische Unterstützung möchte ich Herrn Norbert Klettner und Herrn Stefan Müller danken. Sie haben mir einen tollen Einblick in die Hafen- und Containerwelt ermöglicht.

Weiterhin möchte ich mich bei allen Korrekturlesern bedanken. Hier seien für ihr erhebliches Engagement vor allem meine Eltern, Frau Angelika Hebold, Herr Dr. Sebastian Rieger, Frau Kerstin Sandrock und Herr Matthias Theubert erwähnt.

Herrn René Schumann danke ich für die interessanten Diskussionen und die gemeinsame Beteiligung an der Konferenz in Bremen. Ihm selbst - und auch Herrn Theubert - wünsche ich ebenfalls alles Gute für die eigenen Promotionsvorhaben.

Zudem möchte ich allen weiteren Freunden und Bekannten aus Bremerhaven und aus Göttingen danken, auf deren Unterstützung ich immer zählen konnte. Auch für die zahlreichen guten Tipps, die ich während dieser Zeit sammeln konnte - sei es fachlicher Art: „Entwickle doch den Algorithmus, wo man immer mit muss!“ - oder auch grammatikalischer Art: „Ich setze Kommata einfach nach jedem fünften Wort.“ Manchmal saß ich am Computer und musste einfach schmunzeln. Danke dafür.

Abschließend möchte ich mich für den starken privaten Rückhalt bei meinen Eltern und meinem Bruder bedanken. Meine Jana lässt mich jeden Tag glücklicher werden. Auch ihre Familie, die mich so liebevoll aufgenommen hat, ist für mich besonders wertvoll.

Die Arbeit ist meiner Familie gewidmet.

Göttingen im August 2008

Leif Hendrik Meier



## Inhaltsüberblick

GELEITWORT.....	V
VORWORT.....	VII
INHALTSÜBERBLICK.....	IX
INHALTSVERZEICHNIS.....	XI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	XV
TABELLENVERZEICHNIS .....	XIX
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	XXI
1 EINLEITUNG.....	1
2 GRUNDLAGEN LOGISTISCHER SYSTEME UND PROZESSE .....	9
3 PLANUNG IN CONTAINER-TERMINALS .....	61
4 LEISTUNG UND GRENZEN BESTEHENDER CT-MODELLE.....	141
5 ENTWICKLUNG EINES MULTIAGENTENBASIERTEN MODELLS ZUR CT- PROZESSKOORDINATION .....	157
6 KOORDINATION DES PLANUNGSPROZESSES IN CONTAINER-TERMINALS .....	183
7 SCHLUSSBETRACHTUNG .....	229
ANHANG.....	233
LITERATURVERZEICHNIS.....	253

# Inhaltsverzeichnis

<b>GELEITWORT</b> .....	<b>V</b>
<b>VORWORT</b> .....	<b>VII</b>
<b>INHALTSÜBERBLICK</b> .....	<b>IX</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XV</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Motivation und Problemstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Zielsetzung</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Methodik und Aufbau der Arbeit</b> .....	<b>6</b>
<b>2 GRUNDLAGEN LOGISTISCHER SYSTEME UND PROZESSE</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Kennzeichen der Logistik</b> .....	<b>9</b>
2.1.1 Einordnung in die Betriebswirtschaftslehre .....	9
2.1.2 Funktionen und Ziele .....	12
2.1.3 Systemtheoretische Grundlagen.....	16
<b>2.2 Modellierung und Optimierung</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Modellgestützte Planung.....	18
2.2.2 Klassifizierung relevanter Methoden des Operations Research.....	22
2.2.3 Optimierung .....	25
2.2.3.1 Prioritätsregeln .....	25
2.2.3.2 Greedy-Verfahren .....	27
2.2.3.3 Metaheuristiken.....	28
2.2.3.3.1 Allgemeine Kennzeichen.....	28
2.2.3.3.2 Genetische Algorithmen.....	29
2.2.3.3.3 Particle Swarm Optimization .....	32
2.2.3.3.4 Simulated Annealing .....	34

2.2.3.3.5 Weitere Metaheuristiken.....	37
2.2.3.4 Branch and Bound-Verfahren .....	38
2.2.3.5 Hybride Verfahren .....	40
2.2.3.6 Kommerzielle Optimierungstools .....	41
2.2.4 Simulation .....	41
2.2.4.1 Grundlagen der Simulation .....	42
2.2.4.2 Position der Simulation in der Logistik .....	42
2.2.4.3 Anforderungen an eine Simulationssprache.....	43
<b>2.3 Koordination betrieblicher Entscheidungen .....</b>	<b>44</b>
2.3.1 Defekte Strukturen in Planungssystemen.....	44
2.3.2 Koordinationsbedarf.....	47
2.3.3 Klassische Koordinationsinstrumente .....	49
2.3.3.1 Simultanplanung .....	49
2.3.3.2 Sukzessivplanung.....	49
2.3.3.3 Retrograde/ progressive Planung und Gegenstromverfahren .....	50
2.3.3.4 Rollende Planung .....	51
2.3.3.5 Alternative Betrachtungsperspektive .....	52
<b>2.4 Einsatz von Multiagentensystemen .....</b>	<b>55</b>
2.4.1 Grundlagen .....	55
2.4.2 Koordination und Zusammenarbeit.....	57
<b>3 PLANUNG IN CONTAINER-TERMINALS.....</b>	<b>61</b>
<b>3.1 Grundlagen.....</b>	<b>61</b>
3.1.1 Einordnung in die Logistik.....	61
3.1.2 Entwicklung.....	67
3.1.3 CT-Struktur und -Prozesse .....	71
3.1.4 Umschlag- und Flurfördergeräte .....	73
<b>3.2 Analyse von Modellen in Container-Terminal-Problemstellungen .....</b>	<b>79</b>
3.2.1 Überblick.....	80
3.2.2 Liegeplatzplanung (Berth Allocation Problem) .....	81
3.2.2.1 Ansätze in der Literatur.....	81
3.2.2.2 Berth Allocation Problem nach GUAN und CHEUNG .....	88
3.2.2.3 Annahmen und Kritik.....	92
3.2.3 Containerbrückeneinsatzplanung (Crane Scheduling Problem).....	93
3.2.3.1 Ansätze in der Literatur.....	94
3.2.3.2 Crane Scheduling Problem nach ZHU und LIM .....	100
3.2.3.3 Annahmen und Kritik.....	105
3.2.4 Yardorganisation (Storage Space Allocation und Location Assignment)..	107
3.2.4.1 Ansätze in der Literatur.....	107
3.2.4.2 Storage Location Problem nach ZHANG ET AL. ....	117

3.2.4.3	Annahmen und Kritik .....	127
3.2.5	Transportplanung (Vehicle Dispatching Problem) .....	127
3.2.5.1	Ansätze in der Literatur.....	127
3.2.5.2	Vehicle Dispatching Problem nach BÖSE ET AL.....	129
3.2.5.3	Annahmen und Kritik .....	133
3.2.6	Weitere Planungssysteme und -ansätze .....	134
<b>3.3</b>	<b>Interdependenzen .....</b>	<b>136</b>
<b>4</b>	<b>LEISTUNG UND GRENZEN BESTEHENDER CT-MODELLE.....</b>	<b>141</b>
<b>4.1</b>	<b>Zusammenfassung wesentlicher Trends.....</b>	<b>141</b>
<b>4.2</b>	<b>Leistung und Grenzen isolierter Modelle.....</b>	<b>143</b>
<b>4.3</b>	<b>Implikationen.....</b>	<b>150</b>
<b>5</b>	<b>ENTWICKLUNG EINES MULTIAGENTENBASIERTEN MODELLS ZUR CT- PROZESSKOORDINATION .....</b>	<b>157</b>
<b>5.1</b>	<b>Das Container-Terminal Management Problem (CTMP) .....</b>	<b>157</b>
5.1.1	Modellbeschreibung und -architektur .....	157
5.1.2	Definition eines Zielsystems im CT-Modell.....	165
5.1.2.1	Klassifizierung von Zielen.....	165
5.1.2.2	Übergreifende Ziele des Modells.....	168
5.1.2.3	Konkurrierende Zielsetzungen.....	171
5.1.3	Modellkritik.....	173
<b>5.2</b>	<b>Technische Realisierung .....</b>	<b>175</b>
5.2.1	Java.....	175
5.2.2	JADE und Ontologien .....	176
5.2.3	Protégé.....	179
5.2.4	Extensible Markup Language (XML).....	180
5.2.5	Unterstützende Tools .....	181
<b>6</b>	<b>KOORDINATION DES PLANUNGSPROZESSES IN CONTAINER-TERMINALS .....</b>	<b>183</b>
<b>6.1</b>	<b>Experimenteller Aufbau und Durchführung.....</b>	<b>183</b>
6.1.1	Methoden- und Parameteranalyse in isolierter Umgebung.....	184
6.1.1.1	Analyse von Methoden zur Lösung des BAP .....	184
6.1.1.2	Analyse von BAP-Parametern .....	190
6.1.1.3	Analyse von Methoden zur Lösung des CSP.....	196
6.1.1.4	Analyse von CSP-Parametern.....	201
6.1.1.5	Analyse von Methoden zur Lösung des SLP .....	205
6.1.1.6	Analyse von SLP-Parametern .....	207
6.1.2	Analyse von Koordinationsinstrumenten in MAS-Umgebung .....	210
6.1.2.1	Untersuchung von Teilmengen des CTMP .....	211

6.1.2.1.1	Koordination von BAP und CSP .....	211
6.1.2.1.2	Koordination von BAP und SLP .....	217
6.1.2.2	Untersuchung des CTMP .....	220
6.1.2.2.1	Sequenzielle Koordination als Benchmark.....	220
6.1.2.2.2	Multiagentenbasierte Koordination .....	222
<b>6.2</b>	<b>Übertragbarkeit und Interpretation der Ergebnisse.....</b>	<b>225</b>
<b>6.3</b>	<b>Erweiterbarkeit und Modellkritik .....</b>	<b>227</b>
<b>7</b>	<b>SCHLUSSBETRACHTUNG .....</b>	<b>229</b>
<b>ANHANG .....</b>	<b>233</b>	
<b>A1:</b>	<b>Konstruktive Verfahren und lokale Suche .....</b>	<b>233</b>
<b>A2:</b>	<b>CSP-Eröffnungsheuristiken .....</b>	<b>234</b>
<b>A3:</b>	<b>CSP-Nachbarschaft (SA).....</b>	<b>236</b>
<b>A4:</b>	<b>Visualisierung von Ergebnissen isolierter Modelle.....</b>	<b>238</b>
<b>A5:</b>	<b>Port Model in Protégé.....</b>	<b>240</b>
<b>A6:</b>	<b>Kommunikation in JADE.....</b>	<b>242</b>
<b>A7:</b>	<b>Verwendeter Datensatz.....</b>	<b>243</b>
<b>A8:</b>	<b>Yard-Layout .....</b>	<b>244</b>
<b>A9:</b>	<b>XML-Daten .....</b>	<b>245</b>
<b>A10:</b>	<b>XML-Parameter.....</b>	<b>246</b>
<b>A11:</b>	<b>Adjazenzmatrix (aus dem Liegeplatzplan resultierend) .....</b>	<b>251</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>253</b>	

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Logistische Grundfunktionen TUIL.....	14
Abbildung 2-2: Netzstrukturen .....	15
Abbildung 2-3: Greedy-Heuristik.....	27
Abbildung 2-4: Spezifikationslevel von Heuristiken.....	28
Abbildung 2-5: Pseudocode evolutionärer Algorithmen .....	31
Abbildung 2-6: Ablauf der PSO für kombinatorische Problemstellungen .....	33
Abbildung 2-7: Akzeptanzwahrscheinlichkeiten beim SA.....	36
Abbildung 2-8: Pseudocode des Simulated Annealing.....	37
Abbildung 2-9: Lösungsbaum zu den Branch and Bound-Verfahren .....	39
Abbildung 2-10: Systemrelationen im statischen und dynamischen Fall.....	48
Abbildung 2-11: Retrograde (a), progressive (b) und Gegenstrom-Planung (c) .....	50
Abbildung 2-12: Prinzip rollender Planung.....	52
Abbildung 2-13: Formen der Koordination nach ADAM ET AL.....	52
Abbildung 2-14: Schritte des CDPS .....	58
Abbildung 3-1: Klassifizierung von Terminals in Seehäfen .....	63
Abbildung 3-2: CT-Prozess .....	72
Abbildung 3-3: Aufbau des Zwischenlagers unterschiedlicher Betriebssysteme.....	78
Abbildung 3-4: Entscheidungsbereiche .....	80
Abbildung 3-5: Idealtypische Liegeplatzplanung mit <i>time-space</i> -Diagramm.....	82
Abbildung 3-6: Planung von Liegeplätzen für Containerschiffe.....	82
Abbildung 3-7: Chromosom-Repräsentation einer BAP-Lösung für den GA von NISHIMURA ET AL. ....	84
Abbildung 3-8: Drei Terminals in Singapur.....	85
Abbildung 3-9: Zuordnung von Containerschiffen auf einem Zylinder (rechts) statt auf einer Fläche (links) .....	87
Abbildung 3-10: Die Lösungsprozedur von GUAN und CHEUNG als Pseudocode.....	91
Abbildung 3-11: Composite Heuristik von GUAN und CHEUNG .....	92

Abbildung 3-12: Vorgänger- Beziehung zwischen Jobs im CSP .....	96
Abbildung 3-13: (Q)CSP-Modellentwicklung (KIM und PARK).....	98
Abbildung 3-14: Entwicklung von CSP-Modellen (LIM ET AL.) .....	99
Abbildung 3-15: Bestimmung der Containerposition in dem Yard-Block, LAP .....	107
Abbildung 3-16: Einfluss des Equipments auf die Lagerfähigkeit in TEU/Hektar .....	109
Abbildung 3-17: Anzahl der zu im-, bzw. exportierenden Container eines bestimmten Schiffes im Yard .....	112
Abbildung 3-18: Unterschiedliche Yard-Zuordnung.....	113
Abbildung 3-19: Bezeichnung der Containertypen nach ZHANG ET AL.....	118
Abbildung 3-20: Auswahl einer Metrik zur Bestimmung der Distanz im CT-Modell.....	125
Abbildung 3-21: Darstellung des SLP .....	126
Abbildung 3-22: Restriktionen für das VDP unter verschiedenen Zuordnungsstrategien.	132
Abbildung 3-23: Optimale QC-Auslastung .....	133
Abbildung 5-1: Komponenten des CTMP-Modells.....	158
Abbildung 5-2: Black Box-Betrachtung .....	160
Abbildung 5-3: CTMP-Struktur.....	160
Abbildung 5-4: Konkretisierung der Planung.....	161
Abbildung 5-5: Architektur der Agenten im Modell .....	162
Abbildung 5-6: In die Terminal-Umgebung eingesetzte Agenten.....	163
Abbildung 5-7: CT-Entity Relationship Modell (ohne Attribute) .....	164
Abbildung 5-8: Überblick behandelter Entscheidungsbereiche im Modell.....	165
Abbildung 5-9: Zieldefinition .....	169
Abbildung 5-10: Zielkonflikt zwischen Transportdistanz und Wartezeit.....	171
Abbildung 6-1: BAP-Ergebnisse für GA und PSO (Boxplots) .....	188
Abbildung 6-2: Vergleich eingesetzter BAP-Methoden.....	189
Abbildung 6-3: Variation der Kailänge .....	191
Abbildung 6-4: Optimale Kailänge ( $S^*$ ) in Abhängigkeit von $Z$ und $k$ .....	194
Abbildung 6-5: Zielkonflikt BAP-Parameter (Kailänge).....	195
Abbildung 6-6: CSP-Ergebnisse für SA und GA (Boxplots) .....	199

Abbildung 6-7: CSP Heuristiken .....	200
Abbildung 6-8: Optimierung der Eröffnungsheuristik mit SA und GA .....	201
Abbildung 6-9: Variation der Anzahl eingesetzter Containerbrücken .....	202
Abbildung 6-10: Optimale Containerbrückenanzahl ( $m^*$ ) in Abhängigkeit von $Z$ und $k$ 204	
Abbildung 6-11: SLP-Ergebnisse mit GA und FRE nach MURTY .....	207
Abbildung 6-12: Versuchsaufbau SLP-Parameter .....	208
Abbildung 6-13: Variation der SLP-Parameter .....	209
Abbildung 6-14: Entscheidungsbaum des CTMP .....	210
Abbildung 6-15: Iterativer Verlauf für BAP und CSP .....	212
Abbildung 6-16: MAS-basiertes Vorgehen für BAP und CSP .....	214
Abbildung 6-17: Lösungsvielfalt in der Population des GA .....	215
Abbildung 6-18: Vergleich sequenzieller, iterativer und MAS-basierter Koordination ... 217	
Abbildung 6-19: Ablauf iterativer/ MAS-basierter Koordination für BAP und SLP .....	219
Abbildung 6-20: Sequenzielles CTMP-Ergebnis (Boxplot) .....	221
Abbildung 6-21: MAS-basierte Koordination im CTMP .....	222
Abbildung 6-22: Entwicklung der Zielgrößen des CTMP im Planungsprozess .....	224
Abbildung A-1: Greedy-Konstruktion einer TSP-Lösung (suboptimal) .....	233
Abbildung A-2: CSP-Eröffnungsheuristik (Pseudocode) .....	235
Abbildung A-3: Erweiterte CSP-Eröffnungsheuristik (Pseudocode) .....	236
Abbildung A-4: Erzeugen einer benachbarten Lösung für das CSP (NB1) .....	237
Abbildung A-5: Erzeugen einer benachbarten Lösung für das CSP (NB2) .....	237
Abbildung A-6: Greedy CSP-Zuordnung .....	238
Abbildung A-7: Containerbrückenbewegung am Kai mit EH2 .....	239
Abbildung A-8: Yard-Auslastung im Planungszeitraum .....	240
Abbildung A-9: Klassenhierarchie in <i>Protégé</i> .....	241
Abbildung A-10: Vessel-Entity in <i>Protégé</i> .....	241
Abbildung A-11: Kommunikation bei sequenzieller Koordination .....	242
Abbildung A-12: Kommunikation bei MAS-basierter Koordination .....	243
Abbildung A-13: Beispiel Liegeplatzzuordnung und resultierende Adjazenzmatrix .....	251



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Containerumschlag im weltweiten Vergleich .....	3
Tabelle 2-1: Logistikprozesse und durch sie bewirkte Gütertransformation.....	12
Tabelle 2-2: Statische Dimensionen der Systemkomplexität und Kompliziertheit .....	47
Tabelle 2-3: Konzeptionen der Planungsmethodik.....	55
Tabelle 4-1: Untersuchung bestehender Modelle .....	146
Tabelle 4-2: Defektanalyse in CT-Modellen .....	149
Tabelle 4-3: Experimente des MAS und Planungsebene.....	153
Tabelle 6-1: Anzahl operierender QC für Schiffstyp (Annahme) .....	185
Tabelle 6-2: BAP-Parametereinstellungen für GA .....	187
Tabelle 6-3: BAP-Parametereinstellungen für PSO .....	187
Tabelle 6-4: BAP-Ergebnisse für GA und PSO.....	189
Tabelle 6-5: BAP-Ergebnisse unter Variation der Kailänge .....	191
Tabelle 6-6: Nutzen und Kosten der verlängerten Kailänge.....	192
Tabelle 6-7: Optimale Kailänge ( $S^*$ ) in Abhängigkeit von $Z$ und $k$ .....	194
Tabelle 6-8: CSP-Parametereinstellungen für SA .....	198
Tabelle 6-9: CSP-Parametereinstellungen für GA.....	198
Tabelle 6-10: CSP-Ergebnisse für SA und GA .....	199
Tabelle 6-11: Fitnesswert und Standardabweichung für CSP-Parametervariation .....	203
Tabelle 6-12: Kumulierte Reduktion der Aufenthaltszeit für CSP-Parametervariation ....	203
Tabelle 6-13: Optimale Containerbrückenanzahl ( $m^*$ ) in Abhängigkeit von $Z$ und $k$ .....	204
Tabelle 6-14: SLP-Einstellungen für GA .....	206
Tabelle 6-15: Ergebnisse der iterativen Untersuchung für BAP und CSP .....	213
Tabelle 6-16: Vergleich von Koordinationsmethoden zwischen BAP und CSP .....	216
Tabelle 6-17: Vergleich von Koordinationsmethoden zwischen BAP und SLP .....	219
Tabelle 6-18: Vergleich sequenzieller und MAS-basierter Koordination .....	223
Tabelle A-1: Verwendeter Datensatz.....	244
Tabelle A-2: Yard-Layout .....	245

## Abkürzungsverzeichnis

ACO	Ant Colony Optimization
ACL	Agent Communication Language
ALV	Automated Lifting Vehicle
AGSC	Automated Guided Straddle Carrier
AGV	Automated Guided Vehicle
API	Application Programming Interface, Programmierschnittstelle
(S)BAP	(Static) Berth Allocation Problem, Liegeplatzplanung
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CDPS	Kooperativ verteiltes Problemlösen (Cooperative Distributed Problem Solving)
CH	Composite Heuristic
CLM	Council of Logistics Management
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CSI	Container Security Initiative
CSP	Crane Scheduling Problem, Containerbrückenplanung
CSV	Comma Separated Values
CT	Container-Terminal
CTMP	Container-Terminal Management Problem
CYGD	Container Yard Grounding-Container (Bezeichner aus dem Modell von ZHANG ET AL.)
CYPI	Container Yard Pickup-Container (Bezeichner aus dem Modell von ZHANG ET AL.)
DSS	Decision Support System
ERM	Entity Relationship Modell
FIFO/ FIFS	First In First Out/ First In First Served
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FRE	Fill Ratio Equalization
GA	Genetischer Algorithmus
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

---

GUI	Graphical User Interface
h	Stunden
HGB	Handelsgesetzbuch
HTML	Hypertext Markup Language
ISL	Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik
IT	Informationstechnologie
JADE	Java Agent Development Environment
KI	Künstliche Intelligenz
KTP	Klassisches Transportproblem
LAP	Location Assignment Problem
LIFO	Last In First Out
Lkw	Lastkraftwagen
LMTT	Linear Motor Based Transfer Technology
m	Meter
MA(B)S	Multiagentensystem (Multi Agent Based Simulation)
min	Minuten
MODI	Modified Distribution Methode
MTT	Multitrailer Train, Zugmaschine
NWE	Nordwesteckenregel
OR	Operations Research
ÖTV	Gewerkschaft für Öffentliche Dienste, Transport und Verkehr
PGP	Partial Global Planning
PSO	Particle Swarm Optimization
PWE	Pairwise-Exchange
QC	Containerbrücke (Quay Crane)
RMG	Rail Mounted Gantry Crane
RMI	Remote Method Invocation
RTG	Rubber Tyred Gantry Crane
s	Sekunden
SA	Simulated Annealing
(S)BS	(Stochastic) Beam Search
sd	Standardabweichung

---

SLP	Storage Location Problem, Yardplanung
SL	Semantic Language
SOAP	Simple Object Access Protocol
SRM	Stakeholder Relationship Management
TEU	Twenty Foot Equivalent Unit
TIP	Time in Port, Aufenthaltszeit
TS	Tabu Search
TSP	Tree-Search-Procedure
UM	Ungarische Methode
VAM	Vogel'sche Approximationsmethode
VC	Van Carrier (Transportfahrzeug)
VDP	Vehicle Dispatching Problem, Transportplanung
VSDS	Vessel Discharge-Container (Bezeichner aus dem Modell von ZHANG ET AL.)
VSLD	Vessel Loading-Container (Bezeichner aus dem Modell von ZHANG ET AL.)
XML	eXtensible Markup Language