

Torsten Fischer

# **Multi-Agenten-Systeme im Fahrzeugumschlag**

**Agentenbasierte Planungsunterstützung für  
Seehafen-Automobilterminals**

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Hermann Gehrung

**Deutscher Universitäts-Verlag**

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	XVII
Tabellenverzeichnis .....	XXI
Symbolverzeichnis .....	XXIII
Abkürzungsverzeichnis .....	XXIX
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemeinführung.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2 Problembeschreibung.....</b>	<b>7</b>
2.1 Übersicht über die interorganisatorische Logistikkette.....	8
2.1.1 Fahrzeuganlieferung.....	9
2.1.2 Seehafen-Automobilterminals als Fahrzeugdrehzscheiben .....	11
2.1.3 Fahrzeugauslieferung .....	13
2.2 Modellierung des Ist-Zustandes in einem Seehafen-Automobilterminal .....	14
2.2.1 Geschäftsprozessmodellierung.....	15
2.2.2 Geschäftsprozess „Umschlag Importfahrzeuge“ – Übersicht .....	19
2.2.3 Prozess „Umschlag Importfahrzeuge“ – Verfeinerung.....	21
2.2.3.1 Verfeinerung des Teilprozesses „Fahrzeugübernahme (Im1)“ ...	21
2.2.3.2 Verfeinerung des Teilprozesses „Fahrzeuglagerung (Im2)“ .....	23
2.2.3.3 Verfeinerung des Teilprozesses „Fahrzeugübergabe (Im3)“ .....	25
2.2.4 Beschreibung der Planungsprozesse .....	27
2.2.4.1 Planungsprozess „Disposition Kajenleger“.....	28
2.2.4.2 Planungsprozess „Zuweisung Eingangspuffer“ .....	29
2.2.4.3 Planungsprozess „Planung Lagerstellfläche“.....	30
2.2.4.4 Planungsprozess „Planung Personaleinsatz“.....	32
2.3 Schwachstellenanalyse .....	33

2.3.1 Planungsbezogene Schwachstellen .....	34
2.3.2 Technologische Schwachstellen .....	37
2.3.3 Organisationsübergreifende Schwachstellen .....	38
<b>3 Modellierung des Fahrzeugumschlagproblems .....</b>	<b>41</b>
3.1 Ansatzpunkte der Modellierung .....	42
3.1.1 Beschreibung des Fahrzeugumschlagproblems .....	42
3.1.2 Dekomposition des Fahrzeugumschlagproblems.....	44
3.1.3 Auftragseingang als dynamische Planungskomponente .....	45
3.1.4 Rollierende Planung des Fahrzeugumschlags.....	46
3.1.4.1 Aktualisierungsstrategien .....	47
3.1.4.2 Umplanungsstrategien .....	47
3.2 Modellierung übergreifender Problemeigenschaften .....	50
3.2.1 Allgemeine Prämissen.....	50
3.2.2 Repräsentation zeitlicher Gegebenheiten.....	51
3.2.3 Repräsentation räumlicher Gegebenheiten .....	52
3.2.4 Repräsentation der Umschlagaufträge für Importfahrzeuge .....	53
3.3 Modellierung der Hafendisposition.....	56
3.3.1 Prämissen zur Modellierung der Hafendisposition.....	57
3.3.2 Komplexitätsabschätzung für das Problem der Hafendisposition .....	57
3.3.3 Modellformulierung für die Hafendisposition .....	59
3.3.3.1 Modellierung der Entladungsplanung .....	60
3.3.3.2 Modellierung der Einlagerungsterminierung .....	64
3.3.3.3 Zielfunktionen für die Hafendisposition .....	65
3.4 Modellierung der Stellflächen- und Personaleinsatzplanung .....	68
3.4.1 Prämissen zur Stellflächen- und Personaleinsatzplanung .....	69
3.4.2 Komplexitätsabschätzung für das Problem der Stellflächen- und Personaleinsatzplanung .....	69
3.4.3 Modellformulierung für die Stellflächen- und Personaleinsatzplanung ....	71
3.4.3.1 Modellierung der Stellflächenplanung .....	72

---

3.4.3.2	Modellierung der Personaleinsatzplanung .....	75
3.4.3.3	Zielfunktionen für die Stellflächen- und Personaleinsatzplanung .....	79
3.5	Dynamische Erweiterung des Modells.....	83
<b>4</b>	<b>Multi-Agenten-Systeme zur Unterstützung komplexer betrieblicher Entscheidungsprobleme .....</b>	<b>87</b>
4.1	Grundlagen der Agententechnologie.....	88
4.1.1	Begriff und Wesen von Agenten.....	88
4.1.2	Klassifizierung von Agenten.....	92
4.1.3	Agentenarchitekturen.....	94
4.2	Aufbau von Multi-Agenten-Systemen .....	97
4.2.1	Systemabgrenzung .....	98
4.2.2	Repräsentation dekomponierbarer Problemstellungen durch Multi-Agenten-Systeme .....	101
4.2.3	Kommunikation in Multi-Agenten-Systemen.....	103
4.2.3.1	Prozedurale Kommunikation.....	103
4.2.3.2	Blackboard-Systeme.....	104
4.2.3.3	Nachrichtenbasierte Informationsübermittlung.....	105
4.2.4	Koordinationstechniken in Multi-Agenten-Systemen .....	105
4.2.4.1	Organisatorische Strukturierung.....	106
4.2.4.2	Kontrakt-Verfahren .....	106
4.2.4.3	Verhandlungen .....	109
4.2.5	Integrierte wissensbasierte Lernsysteme.....	110
4.3	Realisierte Multi-Agenten-Systeme für betriebswirtschaftliche Anwendungsszenarien .....	112
4.3.1	Multi-Agenten-Systeme zur Unterstützung logistischer Planungs- und Entscheidungsprobleme .....	112
4.3.1.1	Multi-Agenten-Systeme im Bereich der Transportlogistik .....	113
4.3.1.2	Multi-Agenten-Systeme im Bereich der Produktionslogistik.....	115
4.3.1.3	Multi-Agenten-Systeme im Bereich der Lagerlogistik .....	116

4.3.1.4 Multi-Agenten-Systeme im Bereich der Krankenhauslogistik.....	119
4.3.2 Multi-Agenten-Systeme im Bereich der Informationslogistik.....	120
4.3.3 Multi-Agenten-Systeme im Geschäftsprozessmanagement.....	122
<b>5 Multi-Agenten-Architektur zur Unterstützung des FUP.....</b>	<b>125</b>
5.1 Architektur des Multi-Agenten-Systems.....	125
5.1.1 Begründung des Ansatzes .....	126
5.1.2 Dekomposition der zugrunde liegenden Planungsproblemstellung und deren Abbildung in ein Multi-Agenten-System.....	129
5.2 Komponentenspezifikation.....	135
5.2.1 Verwaltungssystem FUP_VWS.....	136
5.2.2 Teilplanungssystem FUP_SEA.....	139
5.2.3 Teilplanungssystem FUP_MAS.....	142
5.2.3.1 Flächenagent (FA).....	144
5.2.3.2 Lagerschätzagent (LSA).....	146
5.2.3.3 Schichtagent (SA).....	147
5.2.3.4 Planungskoordinatoragent (PKA) .....	149
<b>6 Lösungsverfahren für das dynamische Fahrzeugumschlagproblem im Rahmen des Multi-Agenten-Systems.....</b>	<b>153</b>
6.1 Strategien zur Ermittlung einer Aufgabenreihenfolge .....	154
6.1.1 Wahl der Aufgabenreihenfolge im Rahmen der Hafendisposition.....	154
6.1.2 Wahl der Aufgabenreihenfolge im Rahmen der Stellflächen- und Personaleinsatzplanung .....	155
6.2 Algorithmische Spezifikation der Hafendisposition .....	157
6.2.1 Arbeitsweise des Schiffseingangsaagenten (SEA) .....	158
6.2.2 Verfahren zur Kajenanlegerzuweisung.....	161
6.2.2.1 Alternierendes Verfahren zur Kajenanlegerzuweisung.....	161
6.2.2.2 Heuristisches Verfahren zur belegungsgradabhängigen Kajenanlegerzuweisung.....	162
6.2.3 Verfahrensansätze zur Eingangspufferzuweisung .....	164

6.2.3.1	An die Kajenanleger gekoppelte Eingangspufferzuweisung.....	164
6.2.3.2	Heuristisches Verfahren zur Eingangspufferzuweisung .....	164
6.2.4	Verfahren zur Eingangspufferräumung .....	165
6.2.4.1	Eingangspufferräumung nach dem FIFO-Prinzip .....	165
6.2.4.2	Eingangspufferräumung auf der Grundlage eines Algorithmus zur Verschnittoptimierung .....	167
6.2.5	Heuristische Verfahren zur Aufgabenterminierung.....	169
6.2.5.1	Grobterminierung der Entladungsaufgaben .....	169
6.2.5.2	Grobterminierung der Einlagerungsaufgaben .....	171
6.3	Algorithmische Spezifikation der Stellflächen- und Personal- einsatzplanung.....	172
6.3.1	Arbeitsweise des Multi-Agenten-Systems FUP_MAS.....	173
6.3.2	Verfahren zur Lagerdauerschätzung .....	177
6.3.2.1	Statische Schätzformel .....	178
6.3.2.2	Learning-Classifier-System zur Lagerverweildauer- schätzung .....	178
6.3.2.3	Regelbasiertes Schätzverfahren.....	182
6.3.3	Lösungsverfahren zur Stellflächenplanung.....	183
6.3.3.1	Heuristisches Lösungsverfahren zur Stellflächenplanung .....	185
6.3.3.2	Genetische Lösungsverfahren zur Stellflächenzuweisung .....	188
6.3.4	Lösungsverfahren zur Personaleinsatzplanung.....	201
6.3.4.1	Konstruktionsheuristik zur Grobterminierung von Verfahrungsaufgaben .....	201
6.3.4.2	Konstruktionsheuristik zur Feinterminierung von Verfahrungsaufgaben .....	204
6.3.4.3	Heuristisches Verfahren zur Fahrerzuweisung.....	205
7	Evaluation der agentenbasierten Lösungsansätze .....	207
7.1	Evaluationskonzept .....	208
7.1.1	Testszenario für das Fahrzeugumschlagproblem.....	209
7.1.1.1	Zeitliche Gegebenheiten.....	209

7.1.1.2 Räumliche Gegebenheiten in einem Seehafen-Automobilterminal .....	210
7.1.1.3 Umschlagaufträge.....	210
7.1.2 Dynamische Testinstanzen.....	211
7.1.3 Vorgehensweise des Testdatengenerators zur Erzeugung von Testinstanzen.....	213
7.2 Evaluation des Planungssystems FUP_SEA .....	215
7.2.1 Konfigurationen des Teilplanungssystems FUP_SEA .....	215
7.2.2 Analyse der Planungsergebnisse für das Hafendispositionsproblem.....	218
7.2.2.1 Analyse im Hinblick auf die Maximierung der Kundenzufriedenheit .....	218
7.2.2.2 Analyse im Hinblick auf die Maximierung planerischer Freiheitsgrade .....	222
7.2.2.3 Robustheit der heuristischen Lösungsverfahren zur Hafendisposition.....	223
7.2.2.4 Laufzeitverhalten der Lösungsverfahren.....	224
7.3 Evaluation des Multi-Agenten-Systems FUP_MAS .....	226
7.3.1 Konfigurationen des Systems FUP_MAS.....	227
7.3.1.1 Konfiguration des Systems FUP_MAS.....	228
7.3.1.2 Konfiguration der in FUP_MAS eingesetzten Lösungsverfahren .....	229
7.3.1.3 Reihenfolge der Fahrzeuggruppen und Planänderungen.....	232
7.3.2 Analyse operativer Fragestellungen.....	233
7.3.2.1 Diskussion der Planungsergebnisse aus operativer Sicht.....	234
7.3.2.2 Robustheit der Lösungsverfahren in Bezug auf die operative Zielsetzung .....	241
7.3.2.3 Laufzeitanalyse.....	242
7.3.3 Analyse strategischer Fragestellungen.....	243
7.3.3.1 Erweiterung des Testszenarios .....	243
7.3.3.2 Diskussion der Ergebnisse aus strategischer Sicht.....	245
7.4 Zusammenfassung der Planungsergebnisse .....	252

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>255</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>263</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>279</b>