

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	ix
Abkürzungsverzeichnis	xi
1 Einleitung.....	1
2 Unternehmensübergreifende Transportdisposition.....	5
2.1 Transportnetzwerke mit unternehmensübergreifender Kooperation.....	9
2.2 Anforderungen an ein Agenten-System zur Disposition in unternehmensübergreifenden Transportnetzwerken.....	18
2.2.1 Anforderungen an eine Modellierung unternehmensübergreifender Transportnetzwerke	19
2.2.2 Anforderungen an agentenbasierte Verfahren zur echtzeitfähigen und verteilten Transportdisposition	20
2.2.3 Anforderungen an eine agentenorientierte Architektur und Interaktionsstruktur in unternehmensübergreifenden Transportnetzwerken.....	21
3 Stand der Forschung in der agentenbasierten Transportdisposition.....	23
3.1 Bestehende Modellierungsmethoden zur agentenbasierten, unternehmensübergreifenden Transportdisposition.....	23
3.1.1 Allgemeine und agentenbasierte Modellierungsmethoden.....	23
3.1.1.1 Petri-Netze	23
3.1.1.2 Entity-Relationship-Model (ERM).....	24
3.1.1.3 Datenflussdiagramme (DFD).....	24
3.1.1.4 UML	25
3.1.1.5 Allgemeine Agentenbasierte Modellierungsmethoden (AM)	26
3.1.1.6 AORML.....	27
3.1.2 Modellierungsmethoden für Produktion und Logistik	27
3.1.2.1 MFERT	27
3.1.2.2 ARIS	29
3.1.2.3 EPK.....	30
3.1.2.4 CIMOSA.....	30
3.2 Bestehende synchrone und asynchrone, agentenbasierte Verfahren zur unternehmensübergreifenden Transportdisposition.....	33
3.2.1 Asynchrone, agentenbasierte Verfahren zur Transportdisposition.....	35
3.2.1.1 Verfahren der DFKI zur Disposition von Speditionen.....	35
3.2.1.2 Teilintelligente Agenten von Falk	37
3.2.1.3 Verfahren von Fischer und Gehring zur Kapazitätsplanung	38
3.2.1.4 Verfahren von Fay im schienengebundenen Verkehr	40

3.2.1.5	Kritische Betrachtung von bestehenden asynchronen, agentenbasierten Verfahren.....	42
3.2.2	Synchrone,agentenbasierte Verfahren zur Transportdisposition.....	42
3.2.2.1	Allgemeine synchronisierende Agenten nach Ferber	43
3.2.2.2	Manager-Agenten zur Synchronisation weiterer Agenten nach Mountzia ...	44
3.2.2.3	Agenten mit regionaler Synchronisation nach Weyns	45
3.2.2.4	Synchronisation auf Basis paralleler Verfahren.....	48
3.2.2.5	Kritische Betrachtung der bestehenden synchronen, agentenbasierten Verfahren.....	57
3.3	Agentenarchitekturen und -sprachen für unternehmensübergreifende Transportnetzwerke.....	58
3.3.1	Agentenarchitekturen für unternehmensübergreifende Transportnetzwerke.....	58
3.3.1.1	Classifier-System.....	60
3.3.1.2	Reaktive Agenten.....	61
3.3.1.3	Rama	62
3.3.1.4	Hybride Architektur	63
3.3.1.5	Soar	64
3.3.1.6	InterRRaP	65
3.3.1.7	BDI.....	66
3.3.1.8	Procedural Reasoning System.....	69
3.3.1.9	Fazit zu Agentenarchitekturen.....	69
3.3.2	Agentensprachen für unternehmensübergreifende Transportnetzwerke.....	70
3.3.2.1	Knowledge Query and Manipulation Language	71
3.3.2.2	Agent Communication Language	74
3.3.2.3	XML zur Darstellung von Informationen.....	76
3.3.2.4	Fazit zu agentenbasierten Sprachen.....	77
4	Zu leistende Arbeit.....	79
4.1	Modellierung einer unternehmensübergreifenden Transportdisposition.....	79
4.2	Entwicklung verteilter, unternehmensübergreifender Verfahren zur Transportdisposition	80
4.3	Entwicklung einer Agentenarchitektur und -interaktionsstruktur zur Transportdisposition	81
5	Konzept einer agentenbasierten Transportdisposition	83
5.1	Ein Modell für eine agentenbasierte Transportdisposition.....	83
5.1.1	Ein agentenbasiertes, asynchrones Grundmodell zur verteilten Transportdisposition	84
5.1.1.1	Elemente eines Transportnetzwerkes.....	84
5.1.1.2	Prozesse eines verteilten Transportnetzwerkes.....	89
5.1.2	Ein agentenbasiertes, synchrones Grundmodell zur verteilten Transportdisposition	119

5.2	Verfahren zur echtzeitfähigen, agentenbasierten Transportdisposition.....	123
5.2.1	Verfahren zur asynchronen, agentenbasierten Transportdisposition.....	123
5.2.1.1	Konkurrierende, asynchrone Anfragen (Beispielszenario).....	127
5.2.1.2	Gesamtablauf zur asynchronen, agentenbasierten Transportdisposition....	132
5.2.2	Verfahren zur synchronen, agentenbasierten Lösungsverbesserung.....	135
5.2.2.1	Die Abfolge zwischen Initiallösung und Verbesserungsverfahren.....	136
5.2.2.2	Strategien zum Generieren neuer Lösungen.....	138
5.3	Agentenarchitektur zur gemischt synchronen und asynchronen Interaktion.....	145
5.3.1	Beschreibung der asynchron arbeitenden Transport-BDI-Agenten zur Lösungserstellung	146
5.3.1.1	Der Kunden-Agent in der Transport-BDI.....	146
5.3.1.2	Der Transportmittel-Agent in der Transport-BDI	149
5.3.1.3	Der Lieferpunkt-Agent in der Transport-BDI	152
5.3.1.4	Der Transportprozess-Agent in der Transport-BDI.....	159
5.3.1.5	Der Transportweg-Agent in der Transport-BDI	163
5.3.2	Beschreibung der synchron arbeitenden Transport-BDI-Agenten zur Lösungsverbesserung.....	172
5.3.2.1	Die Agenten zur Lösungsverbesserung	172
5.3.2.2	Der Koordinations-Agent	174
5.3.3	Nachrichtenaufbau.....	176
5.3.3.1	Sprechakte für das Transport-BDI-Agenten-System.....	177
5.3.3.2	Datenstrukturen des Nachrichteninhalts beim Transport-BDI.....	179
6	Prototypische Realisierung	187
6.1	Agenten-Framework zur asynchronen Transportdisposition.....	187
6.1.1	Elemente	187
6.1.1.1	Visualisierung der Elemente.....	187
6.1.1.2	Die realisierten Module	189
6.1.2	Prozesse	191
6.2	Agenten-Framework zur synchronen Lösungsverbesserung.....	197
6.2.1	Initialisierungsphase	199
6.2.2	Optimierungsphase	201
6.2.3	Ausgabephase	203
6.2.4	Sukzessiver Wechsel zwischen asynchroner und synchroner Transportdisposition.....	204
6.3	Ergebnisuntersuchung der Verfahren	205
6.3.1	Testreihen mit globaler Kostenfunktion.....	206
6.3.1.1	Die Kosten von Initiallösung und Verbesserung.....	207
6.3.1.2	Die Anzahl der Prozessoren.....	207
6.3.1.3	Die Häufigkeit gleichzeitiger Anfragen.....	208
6.3.1.4	Die Kosten von Initiallösung und Verbesserung bei häufigen gleichzeitig gestellten Anfragen.....	209

6.3.1.5	Verschiedene Tabu-Tiefen bei kombinierten Verfahren	210
6.3.1.6	Vergleich verschiedener Verfahren	211
6.3.1.7	Vergleich der Kombination verschiedener Verfahren.....	214
6.3.2	Benutzung von lokalen Kostenfunktionen.....	215
6.3.3	Bewertung der Testergebnisse	218
7	Schlussbetrachtungen.....	221
	Literatur.....	227
8	Anhang	241
A.1.	Betriebswirtschaftliche Bedeutung der Transportdisposition.....	241
A.2.	Grundlagen zu Multi-Agenten-Systemen	242
A.3.	Allgemeine Interaktionsstrukturen für Agenten	253
A.4.	Metaheuristiken.....	262
A.5.	Realzeit und Echtzeit in der Agentenkommunikation	266
A.6.	Neue Bahntechnik Paderborn als Agentensystem	269
A.7.	Aggregationsstufen im NBP-Agentensystem	269
A.8.	Implementierungsgedanken.....	271

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Zu lösende Problemklassen.....	11
Abbildung 2-2: Datenstruktur eines ausgewählten Transportszenarios	12
Abbildung 3-1: MFERT Stuhlmontagebeispiel.....	28
Abbildung 3-2: Geeignete Modellierungsmethoden.....	32
Abbildung 3-3: Synchronisation der Fertigungselementknoten A und C durch D	43
Abbildung 3-4: Graphische Darstellung des Modells für situative Agenten.....	47
Abbildung 3-5: Zielfunktionswerte von zulässigen Lösungen.....	51
Abbildung 3-6: Beispiel BSP-Programm mit PUB	57
Abbildung 3-7: Überblick über Agentenarchitekturen.....	59
Abbildung 3-8: Grundaufbau von Agenten.....	60
Abbildung 3-9: Schematische Darstellung eines Classifier-Systems	61
Abbildung 3-10: Architektur von Reaktiven Agenten.....	61
Abbildung 3-11: Architektur Rama	62
Abbildung 3-12: Architektur hybrider Agenten (Version 1).....	63
Abbildung 3-13: Architektur hybrider Agenten (Version 2).....	64
Abbildung 3-14: Aufbau und Vorgehensweise von Soar	64
Abbildung 3-15: Architektur InteRRaP	65
Abbildung 3-16: BDI-Architektur	68
Abbildung 3-17: Struktur der Procedural Reasoning Systems	69
Abbildung 5-1: MFERT vs. Transport-Agenten-Modell.....	86
Abbildung 5-2: Transport-Agenten-Modell	87
Abbildung 5-3: Transport-Agenten in einem schienengebundenen Szenario	87
Abbildung 5-4: Agenten steuern den Markenfluss	88
Abbildung 5-5: Zonen im Transport-Agenten-Modell.....	89
Abbildung 5-6: Das Markenkonzept im Transport-Agenten-Modell.....	92
Abbildung 5-7: Elementarfunktionen an den Knoten.....	106
Abbildung 5-8: Events am Lieferpunkt	107
Abbildung 5-9: Events am Transportweg.....	107
Abbildung 5-10: Events am Transformationsknoten.....	108
Abbildung 5-11: Legende zu Faktor- und Transformationsknoten.....	108
Abbildung 5-12: Beispiel einer erweiterten Makrostruktur	109
Abbildung 5-13: Algorithmus des Lieferpunkt-Agenten	110
Abbildung 5-14: Algorithmus des Transportprozesses	111
Abbildung 5-15: Algorithmus des Transportweg-Agenten.....	112
Abbildung 5-16: Interner Aufbau eines Agenten	113
Abbildung 5-17: Einschränkungen im Rahmen dieser Arbeit.....	119
Abbildung 5-18: Disposition in kooperierenden Transportunternehmen.....	120
Abbildung 5-19: Synchrone, agentenbasierte Lösungsverbesserung.....	122
Abbildung 5-20: Agentenkommunikation.....	124
Abbildung 5-21: Auktion für verfügbare Transportmittel.....	124

Abbildung 5-22: Agentenkommunikation (interne Zustände).....	125
Abbildung 5-23: Objektbezogene Agenten.....	126
Abbildung 5-24: Agentenbasierte Initiallösung.....	127
Abbildung 5-25: Parallele Anfragen – Szenario.....	127
Abbildung 5-26: Parallele Anfragen – Lieferpunktanfragen.....	128
Abbildung 5-27: Parallele Anfragen – Transportmittelantworten.....	128
Abbildung 5-28: Parallele Anfragen – Kundenprioritäten.....	129
Abbildung 5-29: Parallele Anfragen – Transportmittelzusagen.....	130
Abbildung 5-30: Parallele Anfragen – Alternativanfragen.....	130
Abbildung 5-31: Parallele Anfragen – Alternativzusagen.....	131
Abbildung 5-32: Gesamtablauf einer Transportdisposition.....	132
Abbildung 5-33: Abläufe eines Lieferpunkt-Agenten.....	133
Abbildung 5-34: Abläufe eines Transportmittel-Agenten.....	134
Abbildung 5-35: Abläufe eines Transportweg-Agenten.....	135
Abbildung 5-36: Initiallösung – Verbesserungsverfahren.....	136
Abbildung 5-37: Optimierungsspektrum bei Buchungen.....	137
Abbildung 5-38: Greedy–Verbesserungsverfahren.....	137
Abbildung 5-39: Ablauf zwischen Initiallösung und Verbesserung.....	138
Abbildung 5-40: Verwendete parallele Heuristiken.....	138
Abbildung 5-41: Verbesserungsverfahren: Umbuchungsstrategie (1).....	139
Abbildung 5-42: Verbesserungsverfahren: Umbuchungsstrategie (2).....	140
Abbildung 5-43: Verbesserungsalgorithmus zum Vereinigen identischer Routen.....	141
Abbildung 5-44: Verbesserungsalgorithmus zum Vereinigen von Teilrouten.....	141
Abbildung 5-45: Verbesserungsverfahren: Umwegstrategie (1).....	142
Abbildung 5-46: Verbesserungsverfahren: Umwegstrategie (2).....	143
Abbildung 5-47: Verbesserungsheuristik “Abholen von Transportgütern ”.....	144
Abbildung 5-48: Transport-BDI-Architektur.....	145
Abbildung 5-49: Wissens- und Informationsverarbeitung (Transportanfrage).....	146
Abbildung 5-50: Ausgehende Intentions des Kunden-Agenten.....	148
Abbildung 5-51: Ausgehende Desire des Transportmittel-Agenten.....	152
Abbildung 5-52: Ausgehende Intension des Lieferpunkt-Agenten bei einer Transportanfrage ..	158
Abbildung 5-53: Ausgehende Intension des Lieferpunkt-Agenten während einer Routenfrage ..	159
Abbildung 5-54: Beliefs und Intention am Transportprozess-Agenten.....	162
Abbildung 5-55: Ausgehende Intentions am Transportweg-Agenten.....	164
Abbildung 5-56: Kundenanfrage im Beispielszenario.....	165
Abbildung 5-57: Transportmittel prüft Kapazitäten entlang gewünschter Route.....	165
Abbildung 5-58: Beginn der Kapazitätsplanung.....	166
Abbildung 5-59: Kapazitätsanfrage an Transportweg.....	166
Abbildung 5-60: Alternatives Angebot zur Nutzung des Transportwegs.....	167
Abbildung 5-61: Anbieten eines alternativen Einfahrtszeitpunkt.....	167
Abbildung 5-62: Neuerliche Kapazitätsanfrage an Transportweg-Agent.....	168
Abbildung 5-63: Bestätigung zum Befahren des Transportwegs.....	168
Abbildung 5-64: Anfrage zum Einfahren eines Transportmittels.....	169

Abbildung 5-65: Alternativangebot zum Einfahren in einen Lieferpunkt.....	169
Abbildung 5-66: Weitergeleitetes Alternativangebot.....	170
Abbildung 5-67: Erneute Kapazitätsplanung an Transportprozess und Transportweg 2-3.....	170
Abbildung 5-68: Kapazitätsplanung an Transportprozess und Transportweg 3-4.....	171
Abbildung 5-69: Bestätigungen am Ende des Planungsprozesses	171
Abbildung 5-70: Nachrichtenstruktur der ATP-ACL.....	176
Abbildung 5-71: Beispiel einer ATP-ACL-Nachricht in XML.....	177
Abbildung 5-72: Allgemeine Transportdaten in der Transportdisposition.....	180
Abbildung 6-1: MS-Visio als Editor für Transport-Agenten	188
Abbildung 6-2: XML-Struktur der Lieferpunkte.....	188
Abbildung 6-3: XML-Struktur der Transportwege	189
Abbildung 6-4: Zusammenhang Visualisierung-Transport-Agenten.....	190
Abbildung 6-5: Gesamtprogrammablauf des asynchronen Agenten-Systems	192
Abbildung 6-6: Thread eines Agenten.....	193
Abbildung 6-7: Initialisierung der PUB-Library zur asynchronen Agentenkommunikation.....	194
Abbildung 6-8: Beginn der asynchronen Agentenkommunikation.....	195
Abbildung 6-9: Starten der asynchronen Agenten in einem Agenten-Hub	197
Abbildung 6-10: Szenario ohne Sonderfälle.....	197
Abbildung 6-11: Schematische Struktur des Verbesserungsprogramms.....	198
Abbildung 6-12: Initialisierung der synchronen Agenten-Verbesserung.....	200
Abbildung 6-13: Routenoptimierung und Konvoibildung	202
Abbildung 6-14: Lieferpunktoptimierung	202
Abbildung 6-15: Ende der Optimierungsphase	202
Abbildung 6-16: Ausgabephase des parallelen Algorithmus	204
Abbildung 6-17: Wechsel zwischen synchroner und asynchroner Agentenkommunikation.....	205
Abbildung 6-18: Test-Topologie eines zufällig erzeugten Transportszenarios.....	206
Abbildung 6-19: Kosten bei variabler Tabutiefe	207
Abbildung 6-20: Tests mit 8, 32, 64 Knoten und Tabutiefe 05.....	208
Abbildung 6-21: Unterschiedliche Anzahl gleichzeitiger Anfragen.....	209
Abbildung 6-22: Verschiedene Anfragen im echtzeitfähigen Betrieb	210
Abbildung 6-23: Verschiedene Tabutiefen bei der Tabu-Search-Heuristik	211
Abbildung 6-24: Vergleich der Verfahren.....	213
Abbildung 6-25: Vergleich verschiedener echtzeitfähiger Verfahren.....	214
Abbildung 6-26: Vergleich der globalen Kostenwerte bei Anwendung lokaler und globaler Kostenfunktionen.....	215
Abbildung 8-1: Teilgebiete der verteilten KI	243
Abbildung 8-2: Hauptkomponenten eines MAS	246
Abbildung 8-3: Ausprägungen der Eigenschaften von Agenten.....	248
Abbildung 8-4: Steuerungsmodelle	253
Abbildung 8-5: Dezentrale Transportdisposition.....	255
Abbildung 8-6: Zentrale Transportdisposition.....	257
Abbildung 8-7: Blackboard-Prinzip	259
Abbildung 8-8: Eine Iteration eines Genetischen Algorithmus.....	266

Abbildung 8-9: Agentenarchitektur	270
Abbildung 8-10: Grafische Darstellung der Implementierungsmöglichkeiten.....	272

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Aufbau der Arbeit.....	3
Tabelle 2-1: Begriffsabgrenzungen bei verschiedener Informationsdichte	9
Tabelle 2-2: Anforderungen an eine Modellierung	20
Tabelle 2-3: Anforderungen an Verfahren	21
Tabelle 2-4: Anforderungen an eine verteilte Interaktionsstruktur	22
Tabelle 3-1: Komponenten im MFERT-Modell	28
Tabelle 3-2: Modellierungsmethoden zur Transportlogistik	33
Tabelle 3-3: Mentale Kategorien und deren Bedeutung.....	67
Tabelle 3-4: Parameter der KQML-Spezifikation.....	72
Tabelle 5-1: Klassen und Elemente im Transport-Agenten-Modell.....	85
Tabelle 5-2: Eingehende Events für den Faktorknoten „Lieferpunkt“.....	94
Tabelle 5-3: Auslösende Events für den Faktorknoten „Lieferpunkt“.....	96
Tabelle 5-4: Eingehende Events im Vorgangsknoten „Transportprozess“	98
Tabelle 5-5: Auslösende Events am Vorgangsknoten „Transportprozess“	99
Tabelle 5-6: Eingehende Events für den Faktorknoten „Transportweg“.....	101
Tabelle 5-7: Auslösende Events für den Faktorknoten „Transportweg“	101
Tabelle 5-8: Bestands- und Kapazitätsprüfungen.....	102
Tabelle 5-9: Beliefs des Kunden-Agenten.....	147
Tabelle 5-10: Desires des Kunden-Agenten.....	147
Tabelle 5-11: Intention des Kunden-Agenten.....	148
Tabelle 5-12: Beliefs des Transportmittel-Agenten in der Angebotsrechnung	150
Tabelle 5-13: Beliefs des Transportmittel-Agenten in der Bedarfsrechnung	150
Tabelle 5-14: Desires des Transportmittel-Agenten in der Angebotsrechnung	151
Tabelle 5-15: Desires des Transportmittel-Agenten in der Bedarfsrechnung	151
Tabelle 5-16: Intension des Transportmittel-Agenten in Bedarfs- und Angebotsrechnung.....	152
Tabelle 5-17: Beliefs Lieferpunkt in der Angebotsrechnung	153
Tabelle 5-18: Beliefs Lieferpunkt in der Bedarfsrechnung	154
Tabelle 5-19: Desires Lieferpunkt-Agent in der Angebotsrechnung	155
Tabelle 5-20: Desires Lieferpunkt in der Bedarfsrechnung	156
Tabelle 5-21: Intentions Lieferpunkt in der Angebotsrechnung.....	157
Tabelle 5-22: Intentions Lieferpunkt in der Bedarfsrechnung	158
Tabelle 5-23: Beliefs des Transportprozess-Agenten in der Angebotsrechnung	160
Tabelle 5-24: Beliefs des Transportprozess-Agenten in der Bedarfsrechnung	160
Tabelle 5-25: Desire des Transportprozess-Agenten in der Angebotsrechnung	161
Tabelle 5-26: Desires des Transportprozess-Agenten in der Bedarfsrechnung.....	161
Tabelle 5-27: Intention des Transportprozess-Agent in der Angebotsrechnung.....	162
Tabelle 5-28: Intention des Transportprozess-Agent	162
Tabelle 5-29: Beliefs des Transportweg-Agenten.....	163
Tabelle 5-30: Desires des Transportweg-Agent	163
Tabelle 5-31: Intentions des Transportweg-Agent	164

Tabelle 5-32: Beliefs der synchron arbeitenden Verbesserungs-Agenten.....	173
Tabelle 5-33: Desires der synchron arbeitenden Verbesserungs-Agenten.....	173
Tabelle 5-34: Intention der synchron arbeitenden Verbesserungs-Agenten.....	174
Tabelle 5-35: Beliefs der synchron arbeitenden Koordinations-Agenten.....	174
Tabelle 5-36: Desires der synchron arbeitenden Koordinations-Agenten.....	175
Tabelle 5-37: Intentions der synchron arbeitenden Koordinations-Agenten.....	175
Tabelle 5-38: Nachrichtenparameter der ATP-ACL.....	177
Tabelle 5-39: Sprechakttypen in der Transportdisposition.....	179
Tabelle 5-40: Parameter der allgemeinen Transportdaten in der Transportdisposition.....	180
Tabelle 5-41: Parameter des Content bei Transportangeboten.....	181
Tabelle 5-42: Parameter des Content bei Transportbuchungen.....	181
Tabelle 5-43: Parameter des Content bei Transportbuchungsbestätigungen.....	182
Tabelle 5-44: Parameter der allgemeinen Kapazitätsdaten in der Transportdisposition.....	182
Tabelle 5-45: Parameter des Content bei Kapazitätsanfragen.....	182
Tabelle 5-46: Parameter des Content bei Kapazitätsauskünften.....	183
Tabelle 5-47: Parameter des Content bei Kapazitätsbuchungen.....	183
Tabelle 5-48: Parameter des Content bei Kapazitätsbuchungsbestätigungen.....	184
Tabelle 5-49: Parameter des Content bei neuen Komponenten.....	184
Tabelle 5-50: Parameter für das Update der Topologie-Datenbank (Lieferpunkt).....	185
Tabelle 5-51: Parameter für das Update der Topologie-Datenbank (Transportweg)	185
Tabelle 6-1: Liste der benötigten Dateien zur asynchronen Transportdisposition	191
Tabelle 6-2: Vergleich der Verfahren.....	212
Tabelle 6-3: Globale Kosten der lokalen Kostenfunktion bei unterschiedlicher Anzahl Lieferpunkte und Transportwege	216
Tabelle 6-4: Globale Kosten der globalen Kostenfunktion bei unterschiedlicher Anzahl Lieferpunkte und Transportwege	217
Tabelle 8-1: Rationalisierungspotentiale von Transportdispositionssystemen.....	242
Tabelle 8-2: Verhandlungsprotokolle (Literatur).....	260