

Florian Lang

**Wissensbasierte Verhandlungsautomatisierung
auf elektronischen Echtzeit-Märkten**

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Florian Lang

Wissensbasierte Verhandlungs- automatisierung auf elektronischen Echtzeit-Märkten

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Freimut Bodendorf

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 Erlangen-Nürnberg, 2007

1. Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Frauke Schindler / Sabine Schöller

Der Gabler Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
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 978-3-8350-0906-6

GELEITWORT

Elektronische Märkte dienen der Zusammenführung von Angebot und Nachfrage mithilfe elektronischer Medien, insbesondere Informations- und Kommunikationssystemen. Diese unterstützen und automatisieren die Abwicklung von Markttransaktionen, d.h. der Interaktion zwischen Anbieter und Nachfrager bzw. Verkäufer und Käufer zum Zweck des Leistungsaustauschs. Der Anbieter offeriert Sachgüter, Dienstleistungen, Informationen, Rechte usw. während der Nachfrager in der Regel eine monetäre Gegenleistung erbringt.

Bei den meisten elektronischen Märkten findet ein Abgleich zwischen Angebot und Nachfrage auf der Basis eines einzigen Einigungskriteriums statt. Meistens ist dies der Preis als alleiniger Verhandlungsgegenstand, die restlichen Leistungsparameter sind fixiert. So sind automatisierte Verhandlungen auf elektronischen Märkten meist auf standardisierte Transaktionsobjekte beschränkt, die nach einem einheitlichen Muster beschreibbar sind.

Das Treffen einer Vereinbarung zwischen Anbieter und Nachfrager wird komplex und schwierig, wenn über mehrere variable Leistungsspezifika gleichzeitig zu verhandeln ist. Strategien, Handlungsmuster und Dialoge, wie sie bei derartigen Verhandlungen zwischen Personen zu beobachten sind, werden von elektronischen Märkten derzeit bei weitem nicht abgebildet. Wenn sich Menschen auf einen Vertrag zu einigen haben, fließen in das Verhalten häufig individuelle Überlegungen ein, um mit Verhandlungsgeschick und zusätzlichem Wissen das beste oder ein möglichst gutes Ergebnis für sich selbst zu erzielen. Die Automatisierung von Verhandlungen über mehrere variable Leistungsspezifika auf elektronischen Märkten muss diesem intelligenten Verhalten Rechnung tragen. Ein Ansatz ist es, den hohen Anforderungen durch Einsatz von Methoden der sog. Künstlichen Intelligenz und von Wissensbasierten Systemen ein Stück weit nachzukommen.

In neuerer Zeit strebt man zunehmend an, auf elektronischen Märkten nicht nur Sachgüter wie z.B. Rohstoffe oder nominelle Güter wie z.B. Aktien, sondern auch immaterielle Leistungen zu handeln. Letztere lassen sich in vielen Fällen schwerer beschreiben und sind oft durch eine starke zeitliche Abhängigkeit gekennzeichnet. So steht z.B. für einen bestimmten, oft auch relativ kurzen Zeitraum eine ganz bestimmte Menge von Transportkapazitäten, Kommunikationskanälen oder Kilowattstunden zur Verfügung. Nach Verstreichen dieses Zeitraums ist die nicht verkaufte Menge verfallen, d.h. die Leistung ist nicht lagerbar und zeitbezogen abzusetzen. Entspre-

chend müssen Verhandlungs- und Transaktionsprozesse auf elektronischen Märkten sehr schnell abgewickelt werden. Man spricht von Echtzeit-Märkten.

Das Buch zeigt für die genannten Herausforderungen Lösungen auf. Es werden Verhandlungsmechanismen für den multi-attributiven Interessenabgleich zwischen Anbieter und Nachfrager vorgestellt. Diese Verhandlungen werden von Softwareagenten ausgeführt, die jeweils stellvertretend für Anbieter und Nachfrager intelligent, d.h. strategisch, planvoll, adaptiv und zielführend handeln. Diese „intelligente Automatisierung“ des Abgleichs von Angebot und Nachfrage ist insbesondere dann notwendig, wenn sich Umwelt- und damit Verhandlungsbedingungen sehr dynamisch ändern, wie dies auf Echtzeit-Märkten der Fall ist. Neben wissenschaftlich fundierten Lösungskonzepten bietet das Buch viele praktisch verwertbare Erkenntnisse, wie sich ein derartiges Marktsystem softwaretechnisch umsetzen lässt. Es ist somit für den theoretisch interessierten Forscher und für den anwendungsorientierten Entwickler gleichermaßen interessant.

Prof. Dr. Freimut Bodendorf

VORWORT

An Wertpapier- und Rohstoffbörsen gehören automatische Handelssysteme bereits zum Alltag. Vorgegebenen Regeln folgend, reagieren sie automatisch auf Kauf- und Verkaufssignale und setzen so die Handelsstrategie ihrer Betreiber um. Die an Börsen eingesetzten Handelssysteme unterliegen jedoch einer Vielzahl von Einschränkungen. So sind sie z.B. nur geeignet, im Rahmen eines Preis-/Mengengefüges zu agieren. Die zwischen menschlichen Verhandlungspartnern übliche, detaillierte Verhandlung von Qualitätskriterien, Zahlungsbedingungen etc. ist ihnen nicht möglich. Auch sind sie an die vorgegebene Handelsstrategie gebunden und nicht in der Lage, diese an die veränderlichen Marktbedingungen anzupassen.

Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellte Marktsystem ermöglicht die vollautomatische Verhandlung vielschichtiger Merkmale von Gütern und Diensten. Der Abschluss multiattributiver Verträge ist in Echtzeit möglich, zwischen Bedarfsentstehung und -bedienung durch Vertragsschluss vergehen bei Verfügbarkeit geeigneter Transaktionspartner nur Augenblicke.

Die als Handelssysteme eingesetzten Verhandlungsagenten nutzen ihr sich dynamisch entwickelndes Wissen, um die Ziele ihrer Betreiber zu erreichen. Hierbei beziehen sie die veränderlichen Marktbedingungen, die Eigenschaften ihrer Verhandlungspartner, die erhaltenen Gegenangebote und viele weitere Faktoren ein, die ihre Wissensbasis bilden. Ein Marktsimulationssystem dient der Entwicklung und Erprobung adaptiver, am individuellen Erfolg orientierter Verhandlungsstrategien für diese Verhandlungsagenten. Als Anwendungsbeispiel wird ein elektronischer Echtzeit-Markt für Grid Services (Anwendungsdienste für rechenintensive Applikationen) betrachtet.

Ein E-Business-Netzwerk entsteht durch die Errichtung von Transaktionsbeziehungen (Liefer- und Leistungsbeziehungen) zwischen Organisationen. Die Automatisierung komplexer Verhandlungen zur kurzfristigen Anpassung der Transaktionsverträge einer Organisation an ihre Bedarfe bringt eine deutliche Flexibilisierung der Transaktionsbeziehungen einer vernetzten Organisation mit sich. Die vorliegende Arbeit richtet sich an Forscher und interessierte Praktiker auf dem Gebiet der E-Business-Netzwerke, sowie an Studenten und Absolventen der Wirtschaftsinformatik, Betriebs- und Volkswirtschaftslehre.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich für die stets wohlwollende Förderung durch meinen Doktorvater Prof. Dr. Freimut Bodendorf, der die vorliegende Dissertation vom Grundstein bis zur Fertigstellung begleitet und mich immer wieder inspiriert hat. All jenen, die mir durch ihre

VIII

Ideen, ihre Mithilfe oder ihre Rücksichtnahme ermöglicht haben, dieses Buch zu schreiben, bin ich zu tiefstem Dank verpflichtet, allen voran meiner Familie und meinen engsten Freunden. Daneben möchte ich diesen Dank auch an die Studentinnen und Studenten richten, die durch ihre Kreativität und ihren Arbeitseinsatz zu den hier geschilderten Ergebnissen beigetragen haben. Ich wusste ihren Beitrag zu schätzen.

Dr. Florian Lang

INHALT

1	EINLEITUNG	1
1.1	Motivation	1
1.1.1	Kosten der marktlichen Koordination.....	1
1.1.2	Kostensenkung durch automatisierte Verhandlungen	3
1.2	Ziel.....	5
1.3	Lösungsansatz	6
1.3.1	Wissensbasierte Verhandlungsagenten	6
1.3.2	Marktsimulation.....	8
1.3.3	Anwendungsszenario	9
1.4	Aufbau der Arbeit.....	14
2	GRUNDLAGEN	16
2.1	Softwareagenten.....	16
2.2	Verhandlungen.....	20
2.2.1	Überblick	20
2.2.2	Elektronische Unterstützung.....	25
2.3	Grid Computing	29
2.3.1	Technologie.....	29
2.3.2	Anwendungen.....	35
3	MARKTENTWURF	38
3.1	Überblick.....	38
3.2	Rollenmodell	39
3.3	Agentenkommunikation	41
3.4	Transaktionsmodell.....	42
3.4.1	Anbahnung.....	43
3.4.2	Vereinbarung.....	48
3.4.3	Abwicklung.....	51
3.5	Besonderheiten des Grid-Markts	51
3.6	Service Level Agreements	55
3.6.1	Technische Anforderungen	57
3.6.2	Ökonomische Anforderungen	59
3.6.3	Repräsentationsansatz.....	61
3.6.4	XML-basierte Kommunikation.....	64
3.7	Struktur eines Service Level Agreements für den Grid-Markt	66
3.7.1	Notation.....	66
3.7.2	Dokumentenstruktur	69
3.7.2.1	Anwendungsbeispiel „Render-Dienst“.....	70
3.7.2.2	Globale Attribute.....	70
3.7.2.3	Parties	72
3.7.2.4	SignatureType	74
3.7.2.5	Object.....	78
3.7.2.6	Service Level.....	79
3.7.2.7	Requirements	80
3.7.2.8	Delivery	82
3.7.2.9	Payment	83

4	WISSENSBASIERTE VERHANDLUNGSAGENTEN	85
4.1	Wissen und Verhandlungserfolg	85
4.1.1	Wissen	85
4.1.2	Verhandlungserfolg	87
4.1.3	Zusammenhang zwischen Wissen und Verhandlungserfolg	89
4.2	Begrenzte Rationalität	92
4.3	Agentenmodell	94
4.4	Zielwissen	98
4.4.1	Gegenstand	98
4.4.2	Repräsentation	101
4.4.3	Akquisition	104
4.4.3.1	Akquisition des Mindestnutzens	106
4.4.3.2	Erfassung von Ziel- und Vorbehaltswerten	107
4.4.3.3	Erfassung vorläufiger Attributgewichte	110
4.4.3.4	Erfassung endgültiger Attributgewichte	111
4.4.3.5	Akquisition von Teilnutzenfunktionen	113
4.4.3.6	Maschinelle Zielwissensakquisition	115
4.5	Umweltwissen	117
4.5.1	Gegenstand	117
4.5.2	Transaktionsgegenstände	118
4.5.3	Marktakteure	120
4.5.4	Marktplattform	123
4.6	Strategiewissen	124
5	MARKTSIMULATIONSSYSTEM	125
5.1	Ziele	125
5.2	Lösungsansatz	125
5.3	Architektur	127
5.4	Globale Steuerung	129
5.5	Verhandlungsagenten	131
5.5.1	Agentenklassen	132
5.5.2	Benutzerschnittstellen	134
5.5.2.1	Bargain Table	134
5.5.2.2	Population Agent Setup	136
5.5.2.3	Population Viewer und Agent Inspector	137
5.5.2.4	Reference Agents Viewer	139
5.6	Market Engine	140
5.6.1	Statische Betrachtung	141
5.6.2	Dynamische Betrachtung	141
5.6.3	Benutzerschnittstellen	146
5.6.3.1	Scenario Editor	146
5.6.3.2	Market Stats	148
5.7	Genetic Algorithm Engine	149
5.7.1	Klassendiagramm	149
5.7.2	Kodierung von Strategieparametern	150
5.7.3	Selektion	152
5.7.4	Vererbung	153
5.7.5	Benutzerschnittstellen	154
5.7.5.1	Scenario Editor	154
5.7.5.2	Mating Pool Inspector	155
5.7.5.3	Strategy Success	156
5.7.5.4	Strategy Distribution	157
5.7.5.5	Fitness Monitor	157

6	WISSENSBASIERTE VERHANDLUNGSSTRATEGIEN.....	159
6.1	Zero-Intelligence-Strategien.....	160
6.1.1	Verhandlungspartner auswählen.....	162
6.1.2	Angebot generieren.....	162
6.1.3	Angebot bewerten.....	164
6.1.4	Fortsetzung prüfen.....	164
6.1.5	Simulation.....	165
6.1.5.1	Szenario.....	165
6.1.5.2	Durchführung.....	165
6.1.5.3	Ergebnisse.....	167
6.2	Prozesswissensbasierte Strategien.....	167
6.2.1	Verhandlungspartner auswählen.....	169
6.2.2	Angebot generieren.....	171
6.2.3	Angebot bewerten.....	180
6.2.4	Fortsetzung prüfen.....	181
6.2.5	Simulation.....	183
6.2.5.1	Einigungsbereichsorientierte Selektionsstrategie.....	183
6.2.5.2	Allgemeine Zugeständnisstrategie.....	185
6.2.5.3	Nutzenanspruchsstrategie.....	188
6.3	Zielwissensbasierte Strategien.....	189
6.3.1	Verhandlungspartner auswählen.....	189
6.3.2	Angebot generieren.....	194
6.3.3	Angebot bewerten.....	201
6.3.4	Simulation.....	202
6.3.4.1	Gewichtungsorientierte Selektionsstrategie.....	202
6.3.4.2	Attributspezifisch differenzierte Zugeständnisstrategie.....	205
6.3.4.3	Strategie dynamischer Akzeptanzintervalle.....	208
6.4	Umweltwissensbasierte Strategien.....	209
6.4.1	Verhandlungspartner auswählen.....	209
6.4.2	Angebot generieren.....	210
6.4.3	Angebot bewerten.....	219
6.4.4	Simulation.....	223
6.4.4.1	Ausspähungsstrategie.....	223
6.4.4.2	Zeitdruckstrategie.....	225
6.4.4.3	Marktmachtstrategie.....	229
7	SCHLUSSBETRACHTUNGEN.....	233
7.1	Bewertung der Ergebnisse.....	233
7.2	Anwendung der Ergebnisse.....	235
7.3	Ausblick: E-Business im Agent Based Commercial Grid.....	239
7.3.1	Überblick.....	239
7.3.2	Geschäftsmodelle der Marktteilnehmer.....	240
7.3.3	Geschäftsmodelle der Marktplatzbetreiber.....	242
7.3.4	Geschäftsmodelle Dritter.....	243
7.4	Fazit.....	244
8	GLOSSAR.....	247
9	DEFINITIONEN.....	249
10	ABKÜRZUNGEN.....	250
11	SYMBOLLE.....	251
12	QUELLEN (WWW).....	252
13	QUELLEN (LITERATUR).....	253

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.1: Gridbasierte Wertschöpfung	11
Abb. 1.2: Ressourcenbedarf und Bedarfsdeckung	14
Abb. 2.1: Umweltinteraktion mittels Sensoren und Effektoren	18
Abb. 2.2: Wirtschaftliche Transaktion	21
Abb. 2.3: Beispiel zum Transaktionsvertrag als Eigenschaftenbündel	21
Abb. 2.4: Verhandlungstypologie	23
Abb. 2.5: Win/Lose-Situation in einer distributiven Verhandlung	24
Abb. 2.6: Agentenbasierte Verhandlungsunterstützung (Prinzip)	26
Abb. 2.7: Agentenbasierte Verhandlungsunterstützung (Forschungsansätze)	27
Abb. 2.8: High Performance Computing	30
Abb. 2.9: Grid-Middleware als einheitliche Schnittstelle	31
Abb. 3.1: Agentenbasierter Markt	39
Abb. 3.2: Agentenrollen auf dem automatisierten Marktplatz	40
Abb. 3.3: KQML-Nachricht	42
Abb. 3.4: Einigungsbereich	44
Abb. 3.5: Anbahnungsprotokoll	46
Abb. 3.6: Verhandlungsprotokoll	50
Abb. 3.7: Rollenmodell auf dem Grid-Markt	51
Abb. 3.8: Grid-Markt-Szenario	52
Abb. 3.9: Technische und ökonomische Anforderungen an den SLA-Entwurf	57
Abb. 3.10: Definition einer Dokumentenstruktur durch ein XML-Schema	62
Abb. 3.11: Schemaerweiterung zur Definition von Restriktionen und Attributen	63
Abb. 3.12: Funktionen des SLA-Dokuments	65
Abb. 3.13: Notation erforderlicher Inhaltselemente	66
Abb. 3.14: Notation eingeschränkt häufiger Elemente	67
Abb. 3.15: Notation zur Visualisierung eines XML-Schemas (Beispiel)	68
Abb. 3.16: Vollständiges XML-Schema (Beispiel)	69
Abb. 3.17: Grundstruktur des XML-Schemas „GridSLA“	70
Abb. 3.18: Attribute des Wurzelements	71
Abb. 3.19: XML-Beispiel zum Wurzelement	72
Abb. 3.20: GridSLA-Sektion „Parties“	73
Abb. 3.21: XML-Beispiel zur Referenzierung der Parteien	74
Abb. 3.22: Signatur, Übertragung und Verifikation eines Angebots	76
Abb. 3.23: Struktur einer XML-Signatur	77
Abb. 3.24: GridSLA-Sektion „Object“	78
Abb. 3.25: XML-Beispiel zur Referenzierung eines Grid Services im SLA	79
Abb. 3.26: GridSLA-Sektion „ServiceLevel“	80
Abb. 3.27: Repräsentation von Qualitätsattributen	80
Abb. 3.28: SLA-Sektionen beim Anwendungsbeispiel „Render-Dienst“	81

Abb. 3.29: XML-Beispiel zur Repräsentation von Qualitätsattributen	82
Abb. 3.30: Schema-Definition des Elements „Delivery“	83
Abb. 3.31: Element „Payment“	83
Abb. 3.32: Quality/Price-Statement	84
Abb. 3.33: Modellierung des Preises	84
Abb. 4.1: Zielverträge im Vertragsraum	89
Abb. 4.2: Strategische, wissensbasierte Ableitung idealen Verhaltens in Verhandlungen	91
Abb. 4.3: Wissensquellen	95
Abb. 4.4: Wissensbasiertes Agentenmodell	96
Abb. 4.5: Überblick über das strategisch relevante Wissen	98
Abb. 4.6: Zielerreichungsprozess und Elemente des Zielwissens	100
Abb. 4.7: Benutzer und Anwendungssysteme als Wissensquellen	105
Abb. 4.8: Ausschnitt aus einer Konfigurationsdatei	108
Abb. 4.9: Beispiel eines mit Daten gefüllten Flash-Templates	108
Abb. 4.10: Templates des Präferenzermittlungssystems	109
Abb. 4.11: Relative Kriteriengewichtung	110
Abb. 4.12: Abfrage bevorzugter Ausprägungen mittels vereinfachter Skala	111
Abb. 4.13: Conjoint-Analyse	112
Abb. 4.14: Beispiel zu Teilnutzenfunktionen für das Attribut „Preis“	114
Abb. 4.15: Erfassung von Teilnutzenfunktionen	114
Abb. 4.16: Beispiel zu konkaven Teilnutzenfunktionen	115
Abb. 4.17: Elemente des Umweltwissens	118
Abb. 4.18: Elemente des Strategiewissens	124
Abb. 5.1: Zentrale Anwendungsfälle des Simulationssystems	126
Abb. 5.2: Benutzerschnittstelle des Simulationssystems	127
Abb. 5.3: Architektur des Simulationssystems	128
Abb. 5.4: Main Control Panel	129
Abb. 5.5: „File“-Menü	130
Abb. 5.6: Methodenaufrufe der „MainControl.Run()“-Methode	130
Abb. 5.7: Statuszeile	131
Abb. 5.8: Superklasse „TNegotiatingAgent“ mit Subklassen	132
Abb. 5.9: Vereinbarungsprotokoll im Simulationssystem	134
Abb. 5.10: „Bargain Table“-Diagramm	135
Abb. 5.11: Agent-Setup-Dialog	136
Abb. 5.12: „Negotiation“-Sektion des Scenario Editor	137
Abb. 5.13: Population Viewer	138
Abb. 5.14: Agent Inspector	139
Abb. 5.15: Reference Agents Viewer	140
Abb. 5.16: Attribute und Methoden der Klassen „TMarketControl“ und „TAccessPoint“	141
Abb. 5.17: Veranschaulichung der Marktkonfiguration	146
Abb. 5.18: „Market“-Sektion des Scenario Editor	147
Abb. 5.19: „SLA“-Sektion des Scenario Editor	148
Abb. 5.20: Beispiel einer Markt-Statistik im „Market Stats“-Dialog	148
Abb. 5.21: Attribute und Methoden von „TGAEngine“ und „TParent“	150
Abb. 5.22: Strategiegenom	151
Abb. 5.23: Aufbau der „select_parents()“-Methode	152

Abb. 5.24: Ablauf der „breed_new_population()“-Methode	154
Abb. 5.25: „Evolution“-Sektion des Scenario Editor	155
Abb. 5.26: Mating Pool Inspector	156
Abb. 5.27: „Strategy Success“-Dialog	156
Abb. 5.28: „Strategy Distribution“-Dialog	157
Abb. 5.29: Fitness Monitor	158
Abb. 6.1: Verhandlungstisch nach abgeschlossener ZI-C-Verhandlung	166
Abb. 6.2: Marktstatistik nach abgeschlossener ZI-C-Simulation	167
Abb. 6.3: Zugeständnisstrategien	175
Abb. 6.4: Erzeugung von Zugeständnisfunktionen	177
Abb. 6.5: Verhandlung mit nicht-linearen Zugeständnisstrategien	179
Abb. 6.6: Strategie für die Angebotsgenerierung	180
Abb. 6.7: Angebotsbewertung	181
Abb. 6.8: Auswirkung restriktiver Zielkonfiguration	184
Abb. 6.9: Marktstatistik bei angepasster Selektionsstrategie	184
Abb. 6.10: Evolutionäre Durchsetzung der einigungsbereichsorientierten Strategie	185
Abb. 6.11: Agenten mit unterschiedlichen Zugeständnisstrategien	186
Abb. 6.12: Erfolg verschiedener Zugeständnisstrategien	187
Abb. 6.13: Idealwertsuche für den Vorbehaltsnutzen	188
Abb. 6.14: Berücksichtigung des Vorbehaltsnutzens bei der Selektion	191
Abb. 6.15: Gewichtsabhängige Variation der attributspezifischen Zugeständnisstrategie	196
Abb. 6.16: Attributspezifische Zugeständnisfunktionen	197
Abb. 6.17: Verhandlung mittels angepasster Vorbehaltswerte	200
Abb. 6.18: Varianten der mindestnutzenorientierten Vorbehaltswertermittlung	200
Abb. 6.19: Fitnessverteilung für gewichtungsorientierte Selektionsstrategie (Szenario 1)	204
Abb. 6.20: Fitnessverteilung für gewichtungsorientierte Selektionsstrategie (Szenario 2)	205
Abb. 6.21: Fitness Monitor für die allgemeine Zugeständnisstrategie	206
Abb. 6.22: Fitness Monitor für allgemeine Zugeständnisstrategie	207
Abb. 6.23: Attributspezifisch differenzierte Zugeständnisstrategie	208
Abb. 6.24: Fitnessvergleich Anbieter- und Nachfrageragenten	209
Abb. 6.25: Hypothesenwahrscheinlichkeiten für die Beobachtung $e: n=0,6$	214
Abb. 6.26: Bayessches Theorem als Lernvorschrift für Umweltwissen	216
Abb. 6.27: Deadline-abhängiger Vorbehaltsnutzen als Bewertungsstrategie	221
Abb. 6.28: Nutzen der Ausspähungsstrategie in verschiedenen Szenarien	225
Abb. 6.29: Deadline-abhängige Zahl von Versuchen und korrespondierende Fitness	227
Abb. 6.30: Erfolg unterschiedlicher Zeitdruckstrategien	228
Abb. 6.31: Erhöhung des Anteils erfolgreicher Vertragsschlüsse durch Zeitdruckstrategie	228
Abb. 6.32: Idealer Vorbehaltsnutzen unter verschiedenen Marktbedingungen	229
Abb. 6.33: Idealer Vorbehaltsnutzen unter beliebigen Marktbedingungen	231
Abb. 6.34: Analyse der Marktmachtstrategie	232
Abb. 7.1: Administrationsoberfläche der prototypischen Marktplattform	236
Abb. 7.2: Prototypischer Java-Verhandlungsagent	237
Abb. 7.3: Architektur der prototypischen Realisierung	239
Abb. 7.4: Austausch von Transaktions-Services und Service-Produkten	239
Abb. 7.5: B2B-Leistungsaustausch	240
Abb. 7.6: Intertemporary Load Balancing	242

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1.1: Ineffiziente IT-Investitionen	10
Tab. 2.1: Eigenschaften eines Softwareagenten	16
Tab. 3.1: KQML Performatives	41
Tab. 3.2: Verwendete Simple Types	67
Tab. 4.1: Lokale Policy zur Ressourcenfreigabe	116
Tab. 5.1: Wichtige Klassen des Simulationssystems	129
Tab. 5.2: Binärcodierung	151
Tab. 6.1: Definitionen	163
Tab. 6.2: Angebotsverlauf bei linearer Zugeständnisstrategie	176
Tab. 6.3: Mögliches Ranking im Rahmen der Selektion von Grid-Service-Anbietern	194
Tab. 6.4: Berücksichtigung der Attributgewichtung bei der Selektion	203
Tab. 6.5: Interpolation der gewonnenen Datenreihe „Best Response“	231

1 EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION

1.1.1 Kosten der marktlichen Koordination

Die Erreichung wirtschaftlicher Ziele erfordert die Durchführung von Transaktionen. Im Rahmen einer Transaktion tauschen Transaktionspartner Waren, Leistungen und nominelle Güter aus. Typische Paare von Transaktionspartnern sind hierbei Arbeitgeber und -nehmer, Insourcer und Outsourcer, Dienstleister und Dienstleistungsempfänger, Lieferant und Kunde.

Die Anbahnung, Vereinbarung und Abwicklung einer Transaktion bringt Abstimmungsbedarfe mit sich, die eine Koordination zwischen den Transaktionspartnern erforderlich machen. Diese Abstimmungsbedarfe ergeben sich aus den unterschiedlichen Zielsystemen der Transaktionspartner, die sich auf die Eigenschaften des Transaktionsgegenstands, die Art und Weise der Transaktionsabwicklung, sowie die zu leistende (z.B. monetäre) Gegenleistung beziehen. Die Durchführung einer Transaktion macht eine wechselseitige Übereinkunft der Transaktionspartner in Bezug auf diese Transaktionsattribute erforderlich.

Die aufgrund der wechselseitigen Abhängigkeit notwendige Abstimmung zwischen den Transaktionspartnern erfolgt durch Kommunikation. Koordination ist auf das Management von Abhängigkeiten gerichtete Kommunikation. Die verschiedenen Koordinationsaufgaben (Auffinden eines geeigneten Transaktionspartners, Vereinbarung von Menge/Anzahl und Beschaffenheit usw.) verursachen Transaktionskosten.

Zur Reduktion der Transaktionskosten bedienen sich Wirtschaftssubjekte geeigneter Organisationskonzepte zur Unterstützung der Koordination [Zbornik 1996]. Die marktliche Koordination bietet eine besonders große Flexibilität. Wenn die Zielsysteme und Nutzen-/ Kostenfunktionen der Vertragspartner veränderlich sind, so erlaubt die Transaktionsanbahnung über Marktplätze die Auswahl des zum aktuellen Zeitpunkt am besten geeigneten Transaktionspartners (z.B. Auswahl eines günstigen Anbieters, hoch qualifizierten Dienstleisters usw.). Diese Flexibilität wird durch hohe Transaktionskosten erkauft, die aufgrund der für jede einzelne Transaktion durchzuführenden Anbahnung und Vereinbarung anfallen (Suchkosten, Verhandlungskosten).

Die Teilnahme am Aktienhandel über institutionelle Aktienmärkte (Börsen) ist ein prominentes Beispiel marktlicher Koordination. Die Marktteilnehmer benötigen in der Regel in unregelmäßigen Abständen veränderliche Stückzahlen unterschiedlicher Transaktionsgegenstände

(Wertpapiere), so dass dieser Flexibilitätsbedarf für marktliche Koordination spricht. Der einfach automatisierbare Anbahnungs- und Vereinbarungsprozess hält die Transaktionskosten im Aktienhandel trotz marktlicher Koordination kontrollierbar. Je spezifischer die Transaktion und je komplexer der abzuschließende Vertrag, desto deutlicher fällt der Kostennachteil der marktlichen Koordination aus.

In Szenarien, in denen die marktliche Koordination aufgrund spezifischer Erfordernisse und häufiger Transaktionsbedarfe zu hohen Transaktionskosten mit sich bringt, ist die hierarchische Koordination vorteilhaft, da Anbahnungs- und Vereinbarungskosten nur bei der einmaligen hierarchischen Integration des Transaktionspartners anfallen. Sie schafft eine reglementierte, längerfristige Bindung zwischen Vertragspartnern, in deren Rahmen die wesentlichen sachlichen, räumlichen und zeitlichen Aspekte der Transaktion festgelegt sind. Z.B. können die wiederholte marktliche Beschaffung von Beratungsdienstleistungen und die damit verbundenen Transaktionskosten durch hierarchische Integration (Festanstellung) entsprechender Know-How-Träger vermieden werden. Ebenso können die hohen Transaktionskosten der wiederholten marktlichen Beschaffung spezifischer Zulieferteile durch einen Unternehmenskauf (hierarchische Integration eines Lieferanten) vermieden werden.

Hybride Koordinationsformen (auch als „netzwerkartige Koordination“ bezeichnet) verbinden Eigenschaften der hierarchischen und der marktlichen Koordination. Hierbei schaffen Rahmenverträge zwischen Anbieter und Abnehmer die Basis für eine effiziente Anbahnung und Vereinbarung von Einzeltransaktionen entsprechend des aktuellen Bedarfs. Ein Anbieterwechsel ist somit an den Abschluss eines neuen Rahmenvertrags gebunden, so dass die anfallenden Wechselkosten eine geringere Flexibilität als bei der marktlichen Koordination zur Folge haben.

Sofern Instrumente zur Verfügung stehen, um die hohen Transaktionskosten der marktlichen Koordination unter dem Niveau alternativer Koordinationsformen zu halten, ist sie aufgrund der großen Flexibilität den hierarchischen und hybriden Koordinationsansätzen überlegen. Im Falle komplexer Transaktionsgegenstände, die durch mehrere Attribute beschreibbar sind, stellen die Standardisierung des Transaktionsgegenstands (z.B. Reduktion des Verhandlungsgegenstands auf das Attribut „Preis“) und die technologische Unterstützung der Koordination solche Kostensenkungsinstrumente dar.

Die auch als Commoditization bezeichnete Standardisierung findet beispielsweise im Kommunikationssektor statt [Dodd 2002]. Ein zum Kauf angebotenes Kommunikationsprodukt (z.B. IP-Bandbreite, Dark Fiber, Telefonminuten) zeichnet sich durch eine Vielzahl von Eigenschaften aus, die für Anbieter und Nachfrager von Relevanz sind (Leistungsart- und -menge, verschiedene Qualitätsanforderungen, Zahlungsbedingungen). Um Kommunikationsprodukte kosteneffizient

handeln zu können, bieten verfügbare Marktplattformen wie z.B. Band-X die Möglichkeit, standardisierte Service Level Agreements⁷ zu referenzieren [→Top500]. Die Vereinbarung beschränkt sich dann auf die Auswahl des Produkts und das Festlegen des Preises. Qualitätskriterien gehen nicht in den Verhandlungsgegenstand⁷ ein. Der Nachteil standardisierter Service Level Agreements besteht in der fehlenden Abstimmbarkeit des Vertrags auf die Präferenzen der Vertragspartner. Vom Standard abweichende, beidseitig vorteilhafte Qualitätsvereinbarungen oder Zahlungsbedingungen können nicht realisiert werden. Die Transaktionskostenreduktion wird durch einen ineffizienten Vertrag erkauft:

“Centralized auctioning mechanisms assume goods or services of equivalent quality that are distinguishable only by price. On commodity markets, the quality of variable goods and services (i.e. agricultural products, bandwidth) is standardized by a common quality statement (commoditization), thereby avoiding the transaction cost of consumers and providers coming to individual terms on variable quality features. Contract variables other than price are non-negotiable on commodity markets, thus obscuring additional profit opportunities (“leaving money on the table”). Multiple-issue negotiation allows preference-driven bilateral contract customization at the attribute level, so contractors are awarded a better fit of consumer needs and provider productivity” [Lang 2005, S. 152].

Ein zweiter Ansatz zur Reduzierung der Transaktionskosten besteht in der Koordinationsunterstützung durch elektronische Informations- und Kommunikationssysteme. Angefangen mit einfachen Ausschreibungsdatenbanken zur Hinterlegung von Anfragen bis hin zu autonomen Börsenhandelssystemen existiert hier eine große Bandbreite von Unterstützungsansätzen. Die automatisierte Durchführung der Anbahnung und Vereinbarung durch autonome Systeme verursacht geringe Transaktionskosten, da nur wenige steuernde Benutzereingriffe erforderlich sind.

Die vorliegende Arbeit zielt auf die Reduktion von Such- und Verhandlungskosten für nicht-standardisierte Transaktionsgegenstände durch technologische Unterstützung der Anbahnungs- und Vereinbarungsphase (vgl. Abschnitt 1.2).

1.1.2 Kostensenkung durch automatisierte Verhandlungen

Gegenwärtig sind der Automatisierung elektronischer Märkte technische Grenzen gesetzt. Eine über die Preisvereinbarung hinausgehende automatisierte Abstimmung von Qualitätskriterien, Zahlungsbedingungen usw. ist in der Praxis noch nicht möglich. Beidseitig vorteilhafte Vereinbarungen bezüglich dieser Kriterien können nicht getroffen werden. Potenziell erzielbarer Nutzen wird aufgegeben, da Verhandlungen zu aufwendig sind:

„In general, real-world negotiations accrue transaction costs that may be too high for either consumers or merchants” [Maes, Guttman et al. 1999, S. 87].

Eine individualisierte Abstimmung von Leistungskonditionen durch menschliche Marktakteure lohnt nur, wenn ein werthaltiger Transaktionsgegenstand vorliegt, komplexe Verhandlungen zu führen sind und der Zeitverlust in Kauf genommen werden kann (z.B. Erwerb von Unternehmensbeteiligungen, Abschluss dauerhafter Lieferverträge). Als „komplexer“ Vereinbarungsprozess wird eine Verhandlung betrachtet, die außer dem Preis weitere Vertragsattribute zum Gegenstand hat, gegenüber denen die Transaktionspartner Präferenzen besitzen („multiattributive Verhandlung“). Der Verhandlungsgegenstand enthält somit im Vergleich zu konventionellen Auktionsmechanismen eine größere Teilmenge der im Service Level Agreement abgebildeten Vertragsattribute.

In nicht automatisierten Szenarien mit weniger werthaltigem Transaktionsgegenstand zwingen die hohen Kosten dieser individuellen Leistungsvereinbarung zur Standardisierung. Aufgrund des hinreichend homogenen Transaktionsgegenstands ist die Standardisierung von Qualitätskriterien z.B. auf Rohstoffmärkten für Anbieter und Nachfrage akzeptabel. In vielen Transaktionsszenarien ist eine solche Standardisierung jedoch ineffizient. So ist z.B. im Falle sich dynamisch entwickelnder, stark individuell geprägter oder inhomogener Kundenbedürfnisse eine flexible Anpassung des Transaktionsgegenstands an diese Bedürfnisse wünschenswert. Auch bei einem veränderlichen Leistungsprofil des Anbieters (z.B. Absatz der jeweiligen Überkapazitäten) ist eine individuelle Vereinbarung von Attributen des Transaktionsgegenstands erforderlich. Ströbel skizziert diese Transaktionsszenarien wie folgt:

„In general, there are many reasons already prevalent in traditional markets to negotiate the attributes of a transaction type opposed to relying on the advertisement or selection of the ‘best’ fixed offer (classified ad). It is, for instance, very difficult to fix a price for transactions of objects that are unique and non-repetitive (e.g. excess inventory), that are subject to diverse buyer valuations (e.g. fashion goods, art), are perishable (e.g. food, newspaper ads) or that face very dynamic demand (e.g. network bandwidth, electrical power)”
[Ströbel 2001, S. 11].

Wenn einerseits eine Standardisierung dem gegebenen Transaktionsgegenstand nicht gerecht wird und dieser andererseits nicht werthaltig genug ist, um eine wirtschaftliche interpersonelle Leistungsvereinbarung zu ermöglichen, entsteht ein Bedarf nach automatisierten, multiattributiven Verhandlungen.

Neben der Kostenersparnis durch die Vermeidung interpersoneller Verhandlungen ergibt sich durch die Automatisierung eine deutliche Zeitersparnis. Zeitkritische Transaktionsprozesse wie z.B. der qualitativ bedarfsgerechte Zukauf von Rechenkapazität als Reaktion auf unerwartete Bedarfsspitzen kann automatisch ausgelöst und durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 1.3.3, S. 9ff.).

Weiterhin ergibt sich eine Kostenersparnis, da dem Benutzer die Komplexität des Vereinbarungsprozesses verborgen bleibt, so dass die Akquisition der benötigten Transaktionsgegenstände geringere Anforderungen an die Anwenderqualifikation stellt als eine interpersonelle Verhandlung.

1.2 ZIEL

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, durch die Konzeption eines automatisierten Marktsystems die automatische Anbahnung und Vereinbarung von Transaktionen mit komplexem Transaktionsgegenstand zu ermöglichen.

Das konzipierte Marktsystem bietet Transaktionsservices zur Unterstützung des Leistungsaustauschs zwischen einem Unternehmen und seinen Partnern an, die auf beliebige Transaktionsgegenstände übertragbar sind. Ziel ist der automatisierte Abschluss multiattributiver Service Level Agreements.

„Today’s SLAs are often plain natural language documents. Consequently, they must be manually provisioned and monitored, which is very expensive and slow. The definition, negotiation, deployment, monitoring and enforcement of SLAs must become – in contrast to today’s state of the art - an automated process” [Ludwig, Keller et al. 2002, S. 2].

Keller umreißt die Forschungslücke des automatisierten Vertragsabschlusses durch die Teilaspekte Definition, Verhandlung, Abschluss, Überwachung und Durchsetzung von Service Level Agreements[†]. Die vorliegende Arbeit behandelt diese Teilaspekte und liefert jeweils Umsetzungsvorschläge sowie Anwendungsbeispiele.

Daneben ist die Entwicklung des Marktsystems mit dem Anspruch verbunden, durch Simulation validierte Verhandlungsstrategien zur Verfügung zu stellen, die unter Berücksichtigung des Verhandlungsprotokolls und der verfügbaren Informationen auf die Erzielung eines möglichst hohen Nutzens gerichtet sind. Die praktische Einsetzbarkeit des Marktsystems bildet hierbei eine wichtige Entwurfsrichtlinie. Von idealisierenden Annahmen, insbesondere in Bezug auf die Verfügbarkeit von Informationen, wird abgesehen. Die praktische Einsetzbarkeit erfordert neben einer durchgängigen Entwicklung von nach dem Stand der Technik umsetzbaren technischen Lösungsvorschlägen die Berücksichtigung realistischer Wettbewerbsbedingungen (z.B. Geheimhaltung von Auszahlungsfunktionen, Sicherheitsaspekte):

„Realistic negotiation situations are characterized by combinatorial complex negotiation spaces which involve multiple parties and many issues. In addition, negotiators are bounded by limited computational resources (i.e., bounded rationality), time, and limited information about the opponents” [Lau 2005, S. 271].

Um die Entscheidungsfindung automatischer Verhandlungssysteme der intuitiven Entscheidungsfindung menschlicher Verhandler unter unvollständiger Information anzunähern, werden mithilfe eines Multi-Agenten-Simulationssystems (vgl. z.B. [Klügl 2001]) heuristische Verhandlungsstrategien entwickelt. Als Anwendungsszenario dienen sog. Grid-basierte Wertschöpfungsnetze. Hier bilden flexible, parallelisierbare Rechendienste (Grid Services) den verhandelbaren Transaktionsgegenstand (vgl. Abschnitt 2.3, S. 29ff.).

1.3 LÖSUNGSANSATZ

1.3.1 Wissensbasierte Verhandlungsagenten

Um die in Abschnitt 1.2 als Ziel definierte automatisierte Vereinbarung multiattributiver Verträge zu realisieren, wird als technisches Lösungsinstrument die Agententechnologie gewählt. Ein Softwareagent ist ein autonomes Informationssystem, das im Auftrag eines Prinzipals deliberativ handelt, um dessen Ziele zu erreichen (vgl. Abschnitt 2.1, S. 16ff.). Eine zentrale Herausforderung hierbei ist die dezentrale Entscheidungsfindung dieser autonomen Informationssysteme in wettbewerblichen Szenarien:

„Negotiation has been identified as one of the key steps in Business-to-Business (B2B) transaction models. However, developing effective and efficient negotiation mechanisms for e-Business is quite challenging since negotiations in such a context are characterized by combinatorial complex negotiation spaces, tough deadlines, incomplete information about the opponents, and volatile negotiator preferences” [Lau 2005, S. 271].

Um erfolgreich multiattributive Verhandlungen zu führen, benötigt ein Softwareagent eine Verhandlungsstrategie, die sein Verhalten steuert. Diese Verhandlungsstrategie muss adaptiv sein, d.h. die äußeren Bedingungen der Verhandlungssituation berücksichtigen:

“Real-world negotiation scenarios such as those found in B2B environment are characterized by combinatorial complex negotiation spaces, tough negotiation deadlines, limited information about the opponents, and volatile negotiator preferences. Therefore, practical negotiation systems must be equipped with effective learning mechanisms to automatically acquire domain knowledge from the negotiation environments and continuously adapt to the dynamic negotiation contexts” [Lau 2005, S. 277].

Eine nutzenorientierte, adaptive Verhandlungsstrategie muss auf die folgenden Einflussfaktoren abgestimmt sein:

- › Ziele des Prinzipals
- › Verhandlungsprotokoll
- › Verhandlungspartner
- › Marktsituation

Je mehr über diese Einflussfaktoren bekannt ist, desto eher ist der Agent in der Lage, seine Ziele in der Verhandlung durchzusetzen. Es liegt nahe, dass ein Verhandlungsagent sein Verhalten in Abhängigkeit von den Zielen des Benutzers steuert. Er benötigt demnach ein formales Modell dieser Benutzerziele, das *Zielwissen*.

Da ein Vertragsschluss eine wechselseitige Übereinkunft voraussetzt, ist der Erfolg eines Verhandlungsagenten auch an die Entscheidungen seines Verhandlungspartners geknüpft. Eine ideale Verhandlungsstrategie berücksichtigt daher auch diese als Rekursion bezeichnete wechselseitige Abhängigkeit. Je mehr über die Ziele und Entscheidungsmuster des Verhandlungspartners bekannt ist, desto eher kann ein vorteilhafter Kompromiss zwischen den eigenen Zielen und denen des Verhandlungspartners erzielt werden. Weiterhin hängt der Verhandlungserfolg eines Softwareagenten von Marktparametern ab. Wenn z.B. viele Bezugsquellen vorhanden sind, erlaubt dies eine offensive Verhandlungsstrategie, da bei erfolgloser Verhandlung genug Alternativen vorhanden sind. Um die Eigenschaften des Verhandlungspartners und entscheidungsrelevante Marktparameter berücksichtigen zu können, benötigt ein Agent *Umweltwissen*.

Ziel- und Umweltwissen liefern dem Agenten entscheidungsrelevante Parameter (Faktenwissen). Diese entscheidungsrelevanten Parameter werden mithilfe des *Prozesswissens* (prozedurales Wissen) verarbeitet, um die im Rahmen des gegebenen Verhandlungsprotokolls zu treffenden Entscheidungen abzuleiten. Zur Aufbereitung von Benutzereingaben und Beobachtungen der Umwelt zu für das Prozesswissen verwertbaren Parametern bedient sich der Agent geeigneter Wissensverarbeitungsfunktionen. Diese haben ebenfalls prozeduralen Charakter und bilden zusammen mit dem Prozesswissen des Agenten sein *Strategiewissen*.

Aufgrund der zugrunde gelegten realistischen Wettbewerbssituation halten die Marktteilnehmer Wissen geheim, das für andere Marktteilnehmer Entscheidungsrelevanz besitzt. Zu diesem privat gehaltenen Wissen zählen insbesondere die Ziele (die Nutzenfunktion) und die Entscheidungsstrategien des jeweiligen Marktteilnehmers. Bei Bekanntwerden erlaubt dieses Wissen den Rückschluss auf die vom Verhandlungsagenten zu erwartenden Entscheidungen und ermöglicht seinen Verhandlungspartnern so ein ausbeuterisches Verhalten. Die Entwicklung von Wissens-

verarbeitungsmethoden zur Beschaffung und Aufbereitung entscheidungsrelevanten Wissens zielt daher auch auf die Gewinnung geheim gehaltenen Wissens ab.

1.3.2 Marktsimulation

Unter der Annahme der beschränkten Verfügbarkeit von Information erfordert eine zielorientierte, nach Nutzengenerierung strebende Verhandlungsstrategie wissensbasierte Entscheidungsheuristiken, die weitgehend unerforscht sind. Die vielen Wechselwirkungen in einem komplexen Marktsystem erlauben keine theoretische Herleitung eines nutzenmaximierenden Entscheidungsmodells. Auch soziale Systeme, in denen die einzelnen Akteure über einfachste Entscheidungsmuster verfügen, offenbaren ihr komplexes, gegenüber kleinen Veränderungen der Entscheidungsregeln sehr sensibles Verhalten erst in der Simulation („Emergenz“, vgl. [Fromm 2004; Holland 1998]). Aus dem rekursiven Charakter einer aus vielen wechselseitigen Angeboten bestehenden Verhandlung und der Unsicherheit, unter der die Entscheidungen zu treffen sind, folgt ein hohes Maß an Komplexität, das die Ableitung einer nutzenorientierten Verhandlungsstrategie erschwert. Um dennoch für reale Marktszenarien Strategieempfehlungen ableiten zu können, wird in der vorliegenden Arbeit die Simulation als Lösungsansatz gewählt.

Die Simulation erlaubt es,

- › einen Nachweis zu liefern, dass eine technische Realisierung des konzipierten elektronischen Marktes zum Abschluss komplexer Transaktionsverträge möglich ist.
- › operationalisierbare Methoden zur Beschaffung und Aufbereitung von entscheidungsrelevanten Informationen zu entwickeln und zu testen.
- › Verhandlungsstrategien zu entwickeln und zu erproben, die verfügbare Informationen zielorientiert anwenden und so in Wissen[→] umwandeln.
- › die Auswirkungen der Verfügbarkeit oder Nicht-Verfügbarkeit von für die Marktteilnehmer entscheidungsrelevantem Wissen auf den erzielten Nutzen zu untersuchen (ökonomische Evaluation wissensbasierter Verhandlungsstrategien).

Die Entwicklung und Erprobung wissensbasierter Verhandlungsstrategien setzt eine Lernfähigkeit der im Simulationssystem agierenden Softwareagenten voraus. Zwar ist es möglich, durch Überlegungen zum rationalen Verhalten konkurrierender Marktteilnehmer einen Verhaltensrahmen (Basisstrategien) vorzugeben, doch verbieten die komplexen Wechselwirkungen zwischen einzelnen Verhaltensaspekten eine abschließende theoretische Herleitung. Auch eine vollständige Erprobung aller denkbaren Strategien ist aufgrund der Größe des Suchraums (Anzahl potenziell möglicher Strategien) ausgeschlossen.

Die Lernfähigkeit der Softwareagenten wird im hier entwickelten Simulationssystem mithilfe eines genetischen Algorithmus erreicht. Hierbei werden Verhandlungsstrategien durch einen Wettstreit zwischen konkurrierenden Softwareagenten evaluiert (vgl. z.B. [Axelrod 1997; Baber, Ananthanarayanan et al. 2002; Dzeng und Lin 2005; Lau 2005; Oliver 1997]). Mithilfe eines geeigneten Vererbungsmechanismus werden Variationen erfolgreicher Strategien an neu erzeugte Agenten weitergeben. Durch diesen Variations- und Ausleseprozess passen sich die Strategien der Verhandlungsagenten dem gegebenen Entscheidungsproblem mit zunehmender Genauigkeit an. Die resultierenden Erkenntnisse dienen dem Entwurf einer nutzenorientierten Entscheidungskomponente für autonome Verhandlungsagenten.

1.3.3 Anwendungsszenario

Die Veranschaulichung der Ergebnisse und die Demonstration der Praxistauglichkeit des entwickelten Marktsystems erfolgt anhand eines Transaktionsgegenstands, bei dem die Automatisierung der Anbahnung und Vereinbarung großen Nutzen verspricht. Der automatische Abschluss von Verträgen über den Austausch von Grid Services ist mit geringen Transaktionskosten verbunden. Dies setzt ökonomische Anreize zur Nutzbarmachung brach liegender Ressourcen durch die Einspeisung von Services in einen Grid-Verbund. Nachfragerspezifische Ansprüche an Qualität, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Abwicklungsbedingungen eines Grid Services machen die individuelle Abstimmung zwischen Anbietern und Abnehmern erforderlich.

In einem 1965 erschienenen Artikel der Zeitschrift „Electronics“ prognostizierte Gordon Moore, dass die Schaltkreisdichte auf Mikroprozessoren zwischen 1965 und 1975 exponentiell ansteigen würde [Moore 1965]. Dieser nach dem späteren Intel-Gründer als „Moore'sches Gesetz“ bezeichnete Zusammenhang behielt bis heute seine Gültigkeit.

Trotz dieser Entwicklung ist Rechenkapazität eine knappe Ressource. Ein Tier IV-Rechenzentrum[→] war 2001 laut einer Studie des Uptime Institute mit Investitionen von ca. 9.700 EUR/m² allein für die bauliche Infrastruktur verbunden [Turner und Brill 2001]. Hinzuzurechnen sind die aufgabenspezifischen Hardwareinvestitionen sowie laufende Kosten für Administration, Wartung und Stromversorgung.

Dem steht die Beobachtung gegenüber, dass sich die durchschnittliche Auslastung der gesamten Rechenressourcen eines Unternehmens unter 20% bewegt [Heap 2003]. Aufgrund des benutzer- oder applikationsspezifischen Einsatzes von Rechenressourcen in Unternehmen schwankt deren Auslastung mit der jeweiligen Nachfrage des Nutzers (z.B. Arbeitsplatz-PC) oder mit der Gesamtnachfrage mehrerer Benutzer (z.B. ERP-Server, Web-Server, Datenbank-Server). Überschüssige Rechenressourcen verfallen ungenutzt. Tab. 1.1 zeigt typische Auslastungsdaten aus

einer Erhebung der IBM Corp. und illustriert die Größenordnung des nicht genutzten Verarbeitungspotenzials [Heap 2003]:

Ressourcentyp	Durchschnittliche Auslastung (tagsüber)
Windows Server	< 5%
Unix Server	15 - 20%
Arbeitsplatz-PC	< 5%

Tab. 1.1: Ineffiziente IT-Investitionen

Neue technologische Ansätze zielen darauf ab, durch eine dynamische, bedarfsgerechte Zuteilung vorhandener Rechenressourcen die insgesamt vorzuhaltende Rechenkapazität deutlich zu reduzieren. Die Grundidee der sog. Grid-Technologie besteht darin, rechenintensive Dienste (z.B. virtueller Windkanal, Monte-Carlo-Simulation, Herstellung von Multimedia-Produkten usw.) nicht von einem dedizierten Server oder einem starren Server-Verbund zu beziehen, sondern derart umfangreiche Aufgaben auf einen dynamischen Verbund aktuell nicht ausgelasteter Rechenressourcen zu verteilen (vgl. Abschnitt 2.3, S. 29ff.).

Auf diese Weise können die Überkapazitäten der verschiedensten Rechenressourcen nutzbar gemacht werden (Datei-Server, Datenbank-Server, Arbeitsplatz-PC usw.). Der entstehende heterogene, dynamische Ressourcenverbund (das „Grid“) kann flexibel dem jeweiligen Bedarf angepasst werden. Jede nicht ausgelastete Ressource bietet Dienste („Grid Services“) an, welche die von den Nutzern des Grids benötigten Funktionalitäten bereitstellen.

Eine Grenze der Nutzung der Grid-Technologie ergibt sich daraus, dass nur dem Verfügungsbereich des Nutzers zugeordnete oder von kooperierenden Partnern eingebrachte Ressourcen integriert werden können. In einem wettbewerblichen Szenario, in dem die Besitzer der Rechenressourcen unterschiedliche Zielsysteme verfolgen, findet mangels ausgereifter Vereinbarungs- und Abrechnungsverfahren bisher keine gemeinsame Ressourcennutzung jenseits experimenteller Testumgebungen statt. Neben einer Deckelung der verfügbaren Gesamtleistung beschränkt dies das funktionale Spektrum der verfügbaren Dienste.

Unter einer Kommerzialisierung des Austauschs von Grid Services wird die Bereitstellung eines Abrechnungsverfahrens verstanden, das die finanzielle Kompensation von Grid Service-Anbietern ermöglicht. Die leistungsgerechte Abrechnung von Grid-Diensten setzt Lösungsansätze zur Vereinbarung von Qualitätskriterien und zur überwachten Leistungserbringung voraus. Im kommerziellen Grid findet ein Austausch von Rechenleistung zwischen Budget-autonomen Einheiten statt, die durch finanzielle Anreize zur Bereitstellung von Ressourcen motiviert werden.

Handelt es sich bei den Budget-autonomen Einheiten z.B. um Profit Center innerhalb von Unternehmen, so entsteht ein sog. Enterprise Grid als unternehmensinterner Ressourcenverbund. Die Chancen einer Kommerzialisierung des Grid Computing liegen jedoch insbesondere im zwischenbetrieblichen Austausch von Applikationsdiensten. Hierbei erhalten die Transaktionspartner über einen Intermediär (Marktplattform) Zugang zum Grid Markt (vgl. Abb. 1.1).

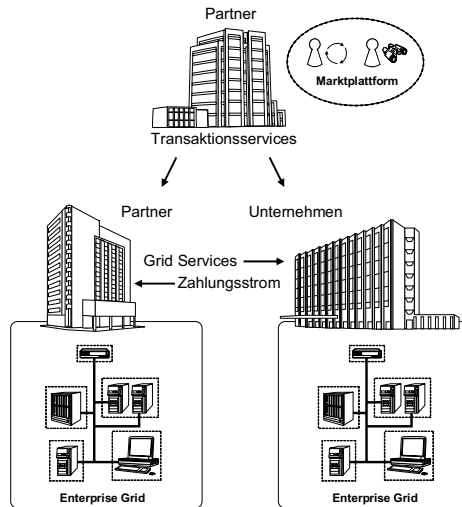


Abb. 1.1: Gridbasierte Wertschöpfung

Die Kommerzialisierung von Grid-Service-Transaktionen führt zu einer Vergrößerung des verfügbaren Ressourcen-Pools. In nicht-kommerzielle Grids können nur intern verfügbare oder von kooperierenden Partnern eingebrachte Ressourcen integriert werden. Durch die Möglichkeit, Grid Services gegen Entgelt anzubieten, werden auch unabhängige Organisationen motiviert, nicht ausgelastete Ressourcen ins Grid einzuspeisen. Die für den Anwender verfügbaren Transaktionspartner erweitern sich damit auf ein weltumspannendes Netz potenzieller Grid Service Provider. Dies bringt folgende positive Effekte mit sich:

› **Erweiterung des Spektrums verfügbarer Dienste**

Je größer die Anzahl der verfügbaren Grid Service Provider ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass auch ausgefallene Dienste aus dem Grid bezogen werden können, für die nur ein kleiner Markt vorhanden ist („Nischen-Dienste“).

› **Effizientere Ressourcennutzung**

Die Heterogenität der ins Grid eingespeisten Ressourcen führt dazu, dass Grid-Dienste mit spezifischen Anforderungen an die Hardware auf spezialisierten Ressourcen ausgeführt werden können (Grafik-Workstations, Rechner mit mathematischen Co-Prozessoren, Cluster usw.).

› **Flexibilisierung des Ressourcenumfangs**

Führt z.B. das Wachstum der Organisation oder die Neueinführung von Anwendungssystemen zu einem die unternehmenseigenen Ressourcen dauerhaft übersteigenden Bedarf, erspart der Zukauf extern bereitgestellter Grid Services den zeitintensiven Aufbau von Ressourcen. Während Planung und Aufbau eines Tier IV-Rechenzentrums 15-20 Monate in Anspruch nehmen [Turner und Brill 2001], können zusätzliche Grid-Ressourcen in kurzer Zeit zur Verfügung gestellt werden.

› **Zugang zu leistungsfähigen Ressourcen**

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die auch beim unternehmensinternen Einsatz von Grid-Technologie keinen ausreichenden Ressourcen-Pool erzeugen, profitieren von der Leistungsfähigkeit extern zugekaufter Rechenkapazitäten. So können Unternehmen, die rechenintensive Berechnungen oder Simulationen durchführen müssen (z.B. Produktentwicklung im Maschinenbau, Medienprodukte), ihre durch zu geringe Rechenkapazitäten bedingten Wettbewerbsnachteile gegenüber Großunternehmen reduzieren (z.B. Nachteile in den Bereichen Time-to-Market, Qualität).

› **Reduzierung der IT-Investitionen**

Die Anschaffung zentraler Rechenressourcen ist mit einem Dimensionierungsproblem verbunden. Um die Performanz der Ressourcen auch in Ausnahmesituation sicherzustellen, müsste sich die Dimensionierung der Ressourcen an den erwarteten Lastspitzen orientieren. Um die damit verbundenen Kosten zu vermeiden, stellt die tatsächlich umgesetzte Dimensionierung der Ressourcen oft einen Kompromiss zwischen Budget und Leistung dar, bei dem in Ausnahmesituationen lange Antwortzeiten in Kauf genommen werden. Zudem ist bei vielen Anwendungen die Prognose der Lastspitzen problematisch, insbesondere wenn in diese Prognose das erwartete Verhalten eines großen, verteilten Anwenderkreises einbezogen werden muss (z.B. Intranet-Server, Produkt-Konfigurator).

Durch die Möglichkeit des externen Zukaufs von Grid-Ressourcen entsteht eine dynamische IT-Infrastruktur, bei der das Dimensionierungsproblem entfällt. Während die unternehmensinterne IT die Grundlast bedient, können Lastspitzen durch externe Ressourcen gedeckt werden. Da hierbei Ressourcen nutzbar gemacht werden, die ohnehin vorhanden sind und sonst unge-

nutzt verfallen würden, stellt deren dynamische Integration durch Grid-Technologie eine kostengünstige Alternative zur aufgabenspezifischen Bereitstellung dedizierter Hardware dar. Je mehr Rechenleistung benötigt wird, desto deutlicher fällt der Kostenvorteil der Grid-Technologie aus. Z.B. betragen 2002 die Anschaffungskosten einer ebenso leistungsfähigen Grid-Lösung ca. 70% der Anschaffungskosten des Hochleistungsrechners IBM ASCI White [Gridpartners 2002].

Ein Grid Service (vgl. Abschnitt 2.3) ist ein Beispiel für einen Transaktionsgegenstand, bei dem automatische multiattributive Verhandlungen gegenüber der Standardisierung oder manuellen Abstimmung von Leistungsverträgen Vorteile bergen. Die individuellen Anforderungen an die Konfiguration eines Grid Services lassen eine Standardisierung nicht sinnvoll erscheinen. Z.B. zeichnet sich ein Render-Dienst zur Erzeugung von 3D-Grafiken und -Animationen durch eine Vielzahl variabler Parameter aus, deren Ausprägungen bedarfsabhängig sind (z.B. Bildauflösung, Tiefe der Lichtstrahlverfolgung, verschiedene Nachbearbeitungseffekte, Farbtiefe). Da Grid-Technologie darauf ausgelegt ist, eine große Verarbeitungsaufgabe durch sog. Ko-Allokation auf eine Vielzahl von Anbietern zu verteilen, ist die manuelle Abstimmung eines Transaktionsvertrags für jedes der bei dieser Zerlegung entstehenden Arbeitspakete aufwendig.

Neben der Vielzahl und der geringen Werthaltigkeit der zu vereinbarenden Verträge spricht auch der Zeitdruck, unter dem diese Vereinbarungen erfolgen müssen, für eine Automatisierung des Handels mit Grid Services. Dieser Zeitdruck entsteht durch das in vielen Anwendungsszenarien spontane, nicht planbare Auftreten des Bedarfs nach zusätzlicher Rechenleistung (vgl. z.B. [Brandic, Benkner et al. 2005]).

Um die effiziente Nutzbarkeit rechenintensiver Anwendungssysteme zu sichern, wird deren Leistung oft anhand der Antwortzeit[→] überwacht. Ein Bedarf nach zusätzlicher Rechenleistung wird durch die Überschreitung der maximal zulässigen Antwortzeit ausgelöst. Durch den kurzfristigen Ausgleich der Unterkapazität mittels des automatisierten Zukaufs von Grid Services kann die Kapazität dem Bedarf angepasst und so die Antwortzeit ausgelasteter Systeme im erwünschten Korridor gehalten werden. Der dynamische Zukauf von Ressourcen erfordert die Überwachung der Systemlast, die Feststellung der Überlast, die Bedarfsspezifikation, die Suche nach geeigneten Grid Service Providern, sowie die Vereinbarung und Überwachung der Transaktion. Eine intensive Beteiligung eines Administrators an diesem komplexen Prozess ist nicht nur kosten- sondern auch zeitintensiv und verhindert so die kurzfristige Korrektur zu langer Antwortzeiten. Durch die Automatisierung der komplexen Vorgänge bei der Akquisition von Grid-Services wird es zudem auch weniger versierten Anwendern möglich, rechenintensive Anwendungen durch zugekaufte Dienste zu unterstützen.