Agentenbasierte Unterstützung Öffentlicher Ausschreibungen von Bauleistungen unter Verwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz

Vom Fachbereich Bauwissenschaften
der Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. Oliver Geibig
aus Hörstein

Essen 2007

Dipl.-Ing. Oliver Geibig

Geboren 1971 in Wasserlos. Von 1991 bis 1998 Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule Darmstadt. Diplomarbeit 1998 an der State University of New York (SUNY) at Buffalo. Von April 1999 bis Oktober 2001 Projektingenieur in der Abteilung Ingenieurbau des Ingenieurbüros Krebs und Kiefer, Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH in Darmstadt. Von Oktober 2001 bis April 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. Von Mai 2004 bis Januar 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Universität Duisburg-Essen. Ab Mai 2006 als Technischer Berater für Planer und Ingenieure und seit August 2007 als Technischer Key Account Manager in der Hilti Deutschland GmbH.

Referent:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. jur. habil. Alexander Rossnagel
Tag der Einreichung:	18.06.2007
Tag der mündlichen Prüfung:	09.01.2008

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt sowie am Institut für Massivbau der Universität Duisburg-Essen.
In zahlreichen fachlichen Diskussionen mit Personen unterschiedlicher Bereiche entstanden Impulse für diese Arbeit und es ist nahezu unmöglich alle namentlich aufzuführen. Dennoch möchte ich zumindest die wichtigsten Personen nicht unerwähnt lassen.
Mein besonderer Dank gilt zunächst Frau Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martina Schnellenbach-Held für die Anregungen zu dieser Arbeit, für die Betreuung und Förderung des Projekts sowie die in jeder Hinsicht gewährte Unterstützung während meiner gesamten wissenschaftlichen Tätigkeit. Des Weitern danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. jur. habil. Alexander Rossnagel ganz besonders für die Übernahme des Korreferates sowie für seine Unterstützung zur Analyse juristischer Aspekte im Zusammenhang dieser Arbeit.

Mein herzlicher Dank gilt weiterhin den Kolleginnen und Kollegen am Institut für Massivbau. Für die gute und freundschaftliche Zusammenarbeit sowie für die zahlreichen fachlichen Diskussionen möchte ich mich stellvertretend bei meinem ehemaligen Kollegen, Herrn Prof. Dr.-Ing. Andrej Albert, sowie bei meinen Kollegen Herrn Dipl.-Ing. Mark Freischlad als auch bei Herrn Dipl.-Ing. Torben Pullmann bedanken. Darüber hinaus möchte ich mich stellvertretend bei Frau Dr.-Ing. Carina Neff und Herrn Dipl.-Ing. Peer Lubasch für die kollegiale Zusammenarbeit und die entstandene Freundschaft in den vergangenen Jahren bedanken. Danke sagen möchte ich weiterhin bei Herrn Dipl.-Ing. Oliver Mehr für die softwaretechnische Unterstützung des Projekts.

Ein ganz liebevoller Dank gilt meiner lieben Frau Heloisa Harumi und meiner wunderbaren Tochter Anna Luisa, die unendlich viel Geduld für meine wissenschaftliche Arbeit aufgebracht und mich bedingungslos unterstützt haben.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern Evamaria und Karl Geibig für ihre wunderbare und liebevolle Unterstützung während meiner gesamten Studien.

Essen, im Juni 2007 Oliver Geibig

Zusammenfassung

Mit dem Einsatz von Softwareagenten innerhalb eines virtuellen Marktplatzes für die Ausschreibung, Angebotsbearbeitung und Vergabe von Bauleistungen wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit sowohl auf technischer, als auch auf rechtlicher Ebene wissenschaftliches Neuland betreten. Die Vorteile eines agentenbasierten virtuellen Marktplatzes im Vergleich zu einem herkömmlichen virtuellen Marktplatz liegen in der beschleunigten Durchführung der einzelnen Prozessschritte durch die dauerhafte Präsenz der Agenten. Für die Akzeptanz eines solchen agentenbasierten virtuellen Marktplatzes unter potenziellen Nutzern ist es erforderlich, möglichst alle Facetten der dokumentenbasierten Ausschreibung bereitzustellen. Hierzu gehören neben der Angebotssuche und -bearbeitung auch die Suche nach Nachunternehmen, die Bildung von Bietergemeinschaften, die Verhandlungen mit Nachunternehmen sowie die Auswertung von eingehenden Angeboten. Um diese Aufgaben auf Softwareagenten zu übertragen, ist ein gewisses Maß an Intelligenz der Agenten hinsichtlich selbstständigen Handelns und autonomer Entscheidungsfindung erforderlich. Hierzu kommen Methoden wissensbasierter Systeme aus dem Bereich der klassischen künstlichen Intelligenz, wie etwa regelbasierte Systeme sowie fallbasiertes Schließen, zum Einsatz. Das Ziel ist, möglichst umfassend Konzepte und Modelle für eine ganzheitliche und rechtsgemäße Übertragung der dokumentenbasierten Ausschreibungsprozesse auf einen agentenbasierten virtuellen Marktplatz zu entwickeln.

Abstract

The application of software agents on a virtual marketplace for AEC-bidding led to a new field of research both from a technical as well as from a legal point of view. The advantages of an agent-based virtual marketplace in comparison to a traditional virtual marketplace can be found in the acceleration of all processes and in the continuous presence of the agents on the marketplace. For the acceptance of such a virtual marketplace among potential users, mostly all policies and procedures of paper-based marketplaces must be provided. In addition to searching for lucrative proposals and the quotation processing, there are further processes, which have to be provided, namely searching for capable subcontractors, forming bidding consortia, negotiating with subcontrac-

tors and evaluating incoming proposals. In order to transfer such challenging tasks to software agents, a certain degree of intelligence of agents concerning autonomous acting and decision making is necessary. This is realized by methods of knowledge-based systems from the large field of artificial intelligence, like rule-based systems and case-based reasoning. The aim is to develop nearly all-embracing concepts for an integral transfer of the paper-based AEC-bidding to an Agent-based virtual marketplace according to legal regulations.

Resumo

A aplicação de agentes de software para os processos de licitações públicas conduz a um novo campo de pesquisa, tanto do ponto de vista técnico quanto jurídico. As vantagens de um mercado virtual com base de agentes, em comparação a um mercado tradicional, podem ser encontradas na aceleração de todos os processos e na presença contínua dos agentes no mercado. Para a aceitação de um mercado virtual entre os potenciais usários, necessita-se de todos os procedimentos e diretrizes de uma licitação tradicional. Além de buscar e quotizar propostas lucrativas, há outros processos que deverão ser levados em conta, a saber, a procura de subempreiteiros adequados, a formação de consórcios, a negociação com subempreiteiros e a avaliação de propostas. A fim de transferir tais tarefas aos agentes de software, é necessário um determinado grau de inteligência dos agentes, no que diz respeito ao procedimento e a tomada de decisões autônomas. Tal processo é realizado por métodos de sistemas baseados em conhecimento da área tradicional de Inteligência Artificial, como, por exemplo, os sistemas baseados em regras e o raciocínio baseado em casos. O objetivo é o desenvolvimento de modelos e conceitos para uma transferência integral e segura dos processos de licitação trandicional para um mercado virtual de acordo com os regulamentos legais.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis **XI**

1 Einleitung **1**
1.1 Motivation 1
1.2 Stand der Forschung und Entwicklung 3
1.2.1 Virtuelle Marktplätze 3
1.2.2 Agentenbasierte Anwendungen 5
1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit 13

2 Prozess der öffentlichen Ausschreibung **15**
2.1 Prinzipieller Ablauf 15
2.2 Anzuwendende Rechtsvorschriften 17
2.2.1 Europäische Vorgaben 17
2.2.2 Nationales Vergaberecht 19
2.2.3 Grundprinzipien des Vergaberechts 21
2.2.4 Verfahrensarten der öffentlichen Ausschreibung 23
2.2.5 Elektronischer Geschäftsverkehr 25
2.2.6 Zivil- und Prozessrecht 26
2.3 Möglichkeiten für den Einsatz von IT 27

3 Methoden der Künstlichen Intelligenz **31**
3.1 Allgemeines 31
3.2 Regelbasierte Systeme 32
3.3 Fallbasiertes Schließen 34
3.4 Ontologie 37
3.5 Semantische Netze 38

4 Modelle zum Einsatz von KI in den Prozessen der öffentlichen Vergabe 41
4.1 Allgemeines 41
4.2 Suche nach lukrativen Ausschreibungen 41
4.2.1 Voraussetzungen für die Automatisierung einer Suche 42
4.2.2 Profilierung eines Agenten 43
4.2.3 Erstellung von Regeln zur Ausschreibungssuche 45
4.3 Erkennen von möglichen Nebenangeboten 47
4.3.1 Voraussetzungen 48
4.3.2 Erstellung einer Fallbasis 50
4.3.3 Beurteilung der Fallbasis 54
4.3.4 Ähnlichkeitskriterien 56
4.3.5 Identifikation eines geeigneten Nebenangebots 58
4.4 Schließen von Bietergemeinschaften 60
4.4.1 Auswahl von Partnern für eine Bietergemeinschaften 61
4.4.2 Bewertungssystem 63
4.5 Agentenbasierte Verhandlungen 68
4.5.1 Analyse der Verhandlungsparameter 72
4.5.2 Entwicklung adäquater Verhandlungsstrategien 74
4.5.3 Durchführung der Verhandlungen 79
4.5.4 Antizipieren gegnerischer Verhandlungsschritte 81
4.5.5 Scheitern von Verhandlungsphasen 84
4.6 Evaluierung von Angeboten 87
4.6.1 Überprüfung der Zulässigkeit eingereichter Angebote 87
4.6.2 Vorbereitungen zur Auswertung 88
4.6.3 Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots 90

5 Implementierung von Softwareagenten in öffentliche Ausschreibungen 93
5.1 Voraussetzungen 93
5.2 Agententypen 94
5.2.1 Utility Agenten (UA) 95
5.2.2 Task Agenten 98
5.3 Ontologiebausteine 105

5.4 Struktur des agentenbasierten virtuellen Marktplatzes 107
5.4.1 Ontologie in Protégé 108
5.4.2 Implementierung des regelbasierten Expertensystems JESS 111

6 Zusammenfassung und Ausblick 115
6.1 Zusammenfassung 115
6.2 Ausblick 116

Anhang A 119
Literaturverzeichnis 125

Abkürzungsverzeichnis

Die hier aufgeführten Abkürzungen werden in dieser Arbeit weitestgehend verwendet. Falls in einem bestimmten Kontext eine Abkürzung eine andere Bedeutung besitzt, so ist dies an entsprechender Stelle im Text vermerkt.

Abkürzungen:

ACL	Agent Communication Language
AG	Auftraggeber
AI	Artificial Intelligence
AN	Auftragnehmer
AP	Alternativposition
AUML	Agent Unified Modeling Language
AVA	Ausschreibung, Vergabe, Abrechnung
BFG	Bruttogeschossfläche
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BHO	Bundeshaushaltsordnung
CBR	Case Based Reasoning (Fallbasiertes Schließen)
cfp	Call for Proposal (Aufforderung zur Abgabe eines Angebots)
CI	Computational Intelligence
EP	Eventualposition
EU	Europäische Union
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
GNU	General Public License
GU	Generalunternehmer
GWB	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
HBCI	Home Banking Computer Interface
HGrG	Haushaltsgrundsätzegesetz
IAI	International Alliance for Interoperability
IFC	Industry Foundation Classes

ISIS	Industrial Signature Interoperability Standard
J2ME	Java 2 Micro Edition
JADE	Java Agent Development Framework
JESS	Java Expert System Shell
KI	Künstliche Intelligenz
KorruR	Korruptionsbekämpfungsrichtlinie
LGPL	Lesser General Public License
LHO	Landeshaushaltsordnung
LHS	Left Hand Side
LV	Leistungsverzeichnis
MAS	Multi Agent Systems
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
MTT	MailTrusT
NU	Nachunternehmer
OSCI	Online Service Computer Interface
PKI	Public Key Infrastructure
RDF	Ressource Description Framework
RfP	Request for Proposal, siehe CfP
RHS	Right Hand Side
RMI	Remote Method Invocation
S/MIME	Secure MIME
SA	Software Agent
SigG	Signaturgesetz
SigV	Signaturverordnung
SKA	Session Key Agent
SOAP	Simple Object Access Protocol
UA	Utility Agent
VgV	Vergabeverordnung
VKI	Verteilte künstliche Intelligenz
VKR	Vergabekoordinierungsrichtlinie
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
VOF	Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen
VOL	Verdingungsordnung für Leistungen
XML	eXtensible Markup Language
ZPO	Zivilprozessordnung

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Der komplexe Prozess der Öffentlichen Ausschreibung ist für seine Beteiligten sehr zeit- und arbeitsaufwendig, was nicht zuletzt durch die starke gesetzliche Reglementierung verursacht wird. Dieses gilt sowohl für die Auftraggeberseite, beispielsweise den Bund, die Länder oder Kommunen, als auch für die Auftragnehmerseite, wie beispielsweise die Generalübernehmer bzw. -unternehmer oder auch Totalübernehmer bzw. -unternehmer.

Aus zahlreichen Gesprächen mit Beteiligten beider Seiten – Auftraggeber sowie Auftragnehmer – geht hervor, dass die rasante Entwicklung der letzten Jahre in der IT-Branche nicht in gleichem Maße in den Prozessen der öffentlichen Ausschreibung Einzug gefunden hat. Im Rahmen dieser Arbeit sollen nicht die Ursachen hierfür analysiert werden, jedoch wird in aller Kürze auf drei wesentliche Aspekte für den eher spärlichen Einsatz der EDV in den Prozessen der öffentlichen Ausschreibung eingegangen.

Ein entscheidender Gesichtspunkt ist hierfür zweifelsohne die Komplexität und Interdependenz der einzelnen Teilprozesse der öffentlichen Ausschreibung, was im Laufe dieser Arbeit noch verdeutlicht wird. Zum anderen trifft man immer wieder auf gewisse Vorbehalte gegenüber der Anwendung fortschrittlicher Softwaretechnik im Rahmen der öffentlichen Ausschreibungen. Die Ursache hierfür liegt nicht zuletzt in der oftmals unzureichenden Vertrautheit der Anwender mit der Softwaretechnik und den Besonderheiten der digitalen Ausschreibungen. Dokumente werden beispielsweise als solche erst anerkannt, wenn sie in Papierform vorliegen. Mitteilungen und angehängte Dokumente, die via E-Mail eintreffen, werden demzufolge sicherheitshalber in Papierform abgelegt, um dadurch vermeintlich eine höhere Beweissicherheit hinsichtlich deren Echtheit zu

erzielen. Ein weiterer und damit im Rahmen dieser Betrachtung letzter Aspekt ist die Beurteilung der Rechtssicherheit, der Echtheit von Dokumenten sowie der Nichtmanipulierbarkeit der einzelnen Prozessschritte mit unterschiedlichen Maßstäben. Einerseits ist in der dokumentenbasierten Form der Ausschreibung das Risiko bekannt, dass Personen mit böswilliger Absicht bedauerlicherweise immer wieder erfolgreich versuchen, Unterschriften zu fälschen, vor dem Submissionstermin von „undichten Stellen“ illegal Insiderinformationen zur laufenden Ausschreibung zu erlangen und durch Bestechung ungerechtfertigter Weise an Aufträge zu kommen. Von einer künftigen öffentlichen Ausschreibung in digitaler Form wird hingegen eine nicht realistische 100%-Sicherheit der Nichtmanipulierbarkeit aller Ausschreibungsbestandteile gefordert. Dabei wird jedoch außer Acht gelassen, dass durch die konsequente Digitalisierung der Ausschreibungsprozesse neben anderen positiven Effekten eine erhebliche Steigerung der Fälschungssicherheit erreicht werden kann.
Bisherige Arbeiten zu agentenbasierten virtuellen Markplätzen im Bereich von öffentlichen Ausschreibungen fokussierten im Wesentlichen auf die folgenden beiden Themenkomplexe:

- Grundstruktur und Funktionalität des agentenbasierten Marktplatzes,
- Infrastruktur zur Gewährleistung der Rechtssicherheit aller Prozessschritte auf dem virtuellen Marktplatz.

Darüber hinaus ist es jedoch erforderlich, dass im Zuge einer agentenbasierten Ausschreibung alle Facetten einer dokumentenbasierten Ausschreibung abgebildet werden können. Somit muss es den Softwareagenten möglich sein, neben dem Standardfall „Angebotsbearbeitung eines vorgegebenen Leistungsverzeichnisses“ auch Nebenangebote zu erstellen, Nachunternehmer zu suchen, Bietergemeinschaften zu gründen einschließlich der Bewertung der jeweiligen Partner, Verhandlungen mit Nachunternehmern zu führen sowie eingehende Angebote auszuwerten, um nur eine Auswahl der wichtigsten Prozessschritte zu nennen.
Eine Änderung der gegenwärtigen Praxis dokumentenbasierter Ausschreibungen hin zur digitalen Form kann folglich nur erreicht werden, wenn potentielle Teilnehmer neben dem zweifelsohne wichtigen Aspekt Sicherheit auch eine möglichst vollständige Abwicklung aller Prozessschritte einer Ausschreibung auf dem virtuellen Marktplatz wieder finden. Hierzu werden im Rahmen dieser Arbeit entsprechende Konzepte entwickelt.

1.2 Stand der Forschung und Entwicklung

1.2.1 Virtuelle Marktplätze

In der jüngeren Vergangenheit wurden verschiedenartige Ansätze für virtuelle Marktplätze entwickelt, um eine Simplifizierung und Optimierung von Ausschreibungsverfahren zu erreichen. Ein virtueller Marktplatz ist in aller Regel ein virtueller Ort (oftmals im World Wide Web), an dem Leistungen angeboten und nachgefragt werden können. Erste Ansätze im Bereich öffentlicher Vergabe strebten im Wesentlichen nach einer verbesserten Suche von lukrativen Ausschreibungen in unterschiedlichen digitalen Datenbanken und nach einer Reduzierung der Verwaltungskosten. Die Grundlage hierfür bilden Ausschreibungsunterlagen, wie beispielsweise Leistungsverzeichnisse oder Pläne, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt bereits nahezu ausschließlich in digitaler Form erstellt werden, jedoch bisher häufig in Papierform an potenzielle Bieter weitergegeben werden. Dadurch entstehen Medienbrüche, die zu einer erhöhten Fehleranfälligkeit führen können.
Vorreiter im Bereich virtueller Marktplätze ist die Bauindustrie. Ausgewählte Beispiele auf nationaler sowie internationaler Ebene sind Avacomm [AVAC05], Baulogis [BAUL05], Altenda [ALTE06][1], BuildOnline [BUON05], AECventure [AECV05], EU-Supply [EUSU05], Causeway Technologies [CATE05] und Citadon [CITA05]. Diese Portale stellen neben Tools für Ausschreibungen und Vergabe von Bauleistungen auch Tools für den Einkauf, für webgestützte Zusammenarbeit, sowie für Projektmanagement und Personalakquisition zur Verfügung. Darüber hinaus haben sich auch vereinzelte Plattformen für die öffentliche Auftragsvergabe am Markt etabliert. Diese stellten bislang häufig lediglich so genannte Insellösungen dar, also Systeme, die untereinander nicht unmittelbar kompatibel sind. Im Folgenden werden zwei dieser Vergabeplattformen näher vorgestellt.

Ausschreibungsplattform in Bayern

Seit September 2003 bietet der Freistaat Bayern zunächst in einzelnen Städten die Möglichkeit, das komplette Vergabeverfahren für Bauleistungen über das Internet elektronisch abzuwickeln [VEBA05]. Potenzielle Bieter können sich hier gegen eine geringe Schutzgebühr auf der Plattform registrieren. Als technische Ausstattung benötigen die

---

[1] Altenda ist der neue Name für den virtuellen Marktplatz My-Con. Die Umbenennung erfolgte am 15.03.2006.

Teilnehmer neben einem internetfähigen PC lediglich ein Kartenlesegerät, ein elektronisches Zertifikat sowie eine Signaturkarte. Dieses Equipment kann bei zertifizierten Trustcentern bezogen werden. Auf der Vergabeplattform selbst können Ausschreibungen im Gegensatz zur dokumentenbasierten Variante kostenlos eingesehen und auf den eigenen Rechner geladen werden. Zur Angebotsbearbeitung gibt es neben dem zur Verfügung gestellten AVA-Programm auch die Möglichkeit über eine GAEB - Schnittstelle die Ausschreibungsunterlagen in ein eigenes AVA - Programm zu importieren. Neben dem deutlich geringeren Arbeitsaufwand und den finanziellen Einsparungen (die übliche Gebühr für dokumentenbasierte Ausschreibungsunterlagen entfällt, keine Druck-, Verpackungs- und Portokosten) werden durch die Implementierung zahlreicher Prüfroutinen und Hinweise deutlich weniger Fehler beim Ausfüllen der hierfür digitalisierten Formulare begangen. Für die technische Umsetzung der sicherheitsrelevanten Aspekte, wie Verschlüsselung und digitale Signatur, setzte der Freistaat Bayern gemeinsam mit den Unternehmen T-Systems und Ventasoft GmbH auf den international anerkannten Standard ISIS-MTT, bestehend aus MTT, ursprünglich für die E-Mail Verschlüsselung nach dem verbreiteten S/MIME Standard entwickelt, und ISIS, als Erweiterung durch eine qualifizierte Signatur. Nähere Ausführungen zu diesem Standard finden sich in [DENK03] und [ISIS04].

Vergabeplattform des Bundes „e-Vergabe“

Die Vergabeplattform des Bundes „e-Vergabe“ ermöglicht ebenfalls eine vollständige Abwicklung des elektronischen Vergabeverfahrens via Internet, wobei neben den Bauaufträgen gemäß VOB auch Leistungen entsprechend VOL sowie freiberufliche Leistungen gemäß VOF angeboten werden [EVBU05]. Hierbei wurde jedoch – entgegen der „bayerischen Lösung“ – zur Gewährleistung der Sicherheit zunächst nicht auf den weltweit anerkannten Standard ISIS-MTT zurückgegriffen. Ein eigener, mittlerweile markenrechtlich geschützter Standard wurde entwickelt und von der Innenministerkonferenz als verbindlich für Transaktionen der öffentlichen Verwaltung festgelegt. Durch den bestehenden Föderalismus in Deutschland ist jedoch eine Einführung dieses Standards auf Länderebene wohl eher längerfristig umsetzbar. Hierbei handelt es sich um den Standard „Online Service Computer Interface“ (OSCI) [OSCI05] in Anlehnung an den von Banken bereits seit längerem verwendeten Standard „Home Banking Computer Interface“ (HBCI). OSCI beschreibt Datenstrukturen auf Basis von XML und SOAP. Erst im weiteren Verlauf der Entwicklung von OSCI wurde neben der Signatur nach XML Signature auch eine Signatur nach ISIS-MTT und schließlich eine generelle Kompatibilität zu dem Standard ISIS-MTT angestrebt.

Für den Aufbau von OSCI hat sich eine Trennung von Nutz- und Inhaltsdaten in folgender, zweigliedriger Struktur als sinnvoll erwiesen:
Für die sichere und vertrauliche Datenübermittlung digital signierter Dokumente entstand das Transport- und Sicherheitsprotokoll OSCI-Transport (OSCI Teil A). Zuständig hierfür ist der Kooperationsausschuss „Automatisierte Datenverarbeitung Bund / Länder / Kommunaler Bereich“ (Koopa-ADV). Für die fachspezifische Standardisierung der Nachrichteninhalte entstanden verschiedene Projekte, wie etwa XMeld – ein bundeseinheitliches Austauschformat zur Übermittlung von Daten des Meldewesen, oder XBau – ein standardisiertes Datenformat für den Austausch elektronischer Daten im Bauwesen (OSCI Teil B), das von der Media@Komm Esslingen [MEKO05] entwickelt wird. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Schnittstelle XBau zwar definiert, jedoch wurde sie bisher noch nicht in der Praxis eingesetzt. Im Zuge der weiteren Entwicklung dieses Standards wird weiterhin angestrebt, eine in Deutschland weit verbreitete GAEB-Schnittstelle zur Anbindung externer AVA-Programme zu integrieren.

Anhand dieser Beispiele wird bereits auf nationaler Ebene deutlich, wie wichtig eine gemeinsame Festlegung und Koordination von einheitlichen Standards zur Sicherstellung einer effizienten Interoperabilität der unterschiedlichen Einrichtungen ist. Noch offensichtlicher wird diese Notwendigkeit eines einheitlichen Standards im Rahmen der immer stärker zunehmenden Ausschreibungspraxis und -pflicht auf europäischer Ebene.

1.2.2 Agentenbasierte Anwendungen

Die Entwicklung und Umsetzung virtueller Markplätze als Plattform für die Prozesse der öffentlichen Ausschreibung führt zweifelsohne zu einer Steigerung der Effizienz im Vergleich zur dokumentenbasierten Variante. Neben der Zeitersparnis für die Suche möglicher Ausschreibungen und die Bearbeitung der in digitaler Form vorliegenden Ausschreibungsunterlagen, wird durch Prüfroutinen die Anzahl der wegen formaler Fehler ausgeschlossenen Angebote reduziert. Jedoch zeichnen sich die virtuellen Marktplätze auch durch einen relativ niedrigen Automatisierungsgrad aus. Potenzielle Ausschreibungen werden zwar durch gezielte Suchkriterien auf den unterschiedlichen Ausschreibungsmedien deutlich schneller gefunden, die zeitaufwendige Evaluierung der Lukrativität und damit die Entscheidung für oder gegen eine Teilnahme an der Ausschreibung bleibt jedoch dem Bieter überlassen. Ebenso liegt das Leistungsverzeichnis der Ausschreibung zwar in digitaler Form vor und kann problemlos zur Bearbeitung in die entsprechenden AVA-Programme im- bzw. exportiert werden, jedoch muss der Bie-

ter die Preise für jede einzelne Position per Hand eintragen, was gerade bei umfangreichen Leistungsverzeichnissen, wie etwa im Schlüsselfertigbau, einen enormen Zeitaufwand bedeutet.
Durch den Einsatz von Software-Agenten könnte nicht nur in diesen beiden angesprochenen Bereichen, sondern während des gesamten Ausschreibungsverfahrens ein gewisser Grad an Automatisierung und somit eine signifikante Verbesserung sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht verwirklicht werden. Agentenbasierte virtuelle Marktplätze wurden bereits an unterschiedlichen Forschungseinrichtungen entwickelt. Einen ersten Ansatz für den B2B-Commerce stellt das Projekt MAGMA (Minnesota AGent Marketplace Architecture) der Universität Minnesota, Minneapolis dar, siehe [COKG02] und [TGMW97]. Hierbei werden den Agenten gleichzeitig verschiedene Aufgaben (multiple tasks) übertragen. Des Weiteren wird die Verbesserung der autonomen Entscheidungsfindung untersucht. Allerdings ist die Anwendung bisher auf einzelne Aufgaben beschränkt und somit für die speziellen Anforderungen öffentlicher Ausschreibungen nicht ausreichend entwickelt. Weitere Forschungsarbeiten werden mit dem Projekt Impulse am MIT Media Laboratory in Cambridge, Massachusetts, durchgeführt [IMPU05]. Diese haben sich schwerpunktmäßig auf den B2C-Commerce spezialisiert. Hierbei werden jedoch deutlich andere Anforderungen gegenüber dem in dieser Arbeit relevanten B2B-Commerce gestellt. Während sich der B2C-Commerce oftmals auf einzelne abgeschlossene geschäftliche Transaktionen konzentriert, bestehen im B2B-Commerce eher dauerhafte Geschäftsbeziehungen, in denen oft als Grundlage vertragliche Rahmenbedingungen ausgehandelt werden. Darüber hinaus sind im B2B-Commerce die jeweiligen Vertragspartner untereinander eindeutig bekannt und vertraut, während dieses gerade im B2C-E-Commerce nicht immer erforderlich ist.

Definition

Die Intention für den Einsatz von Agenten, Softwareagenten oder Multiagentensystemen ist der Versuch, Menschen und menschliches Verhalten sowie deren kognitive Fähigkeiten und Schlussfolgerungen nachzuahmen. Für den Begriff „Softwareagent“ selbst gibt es keine einheitliche sowie allgemein anerkannte Definition. Des Weiteren führt die Tatsache, dass immer öfter gewöhnliche Programme als Softwareagenten bezeichnet werden, weil diese Begrifflichkeit sehr modern und fortschrittlich ist, nicht unbedingt zur Lösung dieses Problems. In Abhängigkeit der jeweiligen Anwendung und den darin benötigten Eigenschaften von Softwareagenten wurden von Wissenschaftlern verschiedene Definitionsansätze erarbeitet. Im Folgenden werden hierfür zwei kurze Beispiele angeführt:

Als ein Beispiel einer recht einfachen und kurzen Definition des Begriffs Agent formulierten *Russel* und *Norvig* [RUNO95]: „An agent is anything that can be viewed as perceiving its environment through sensors and acting upon that environment through effectors.“ Hierbei werden die Begriffe „Umwelt“, „Sensoren“ und „Effektoren“, oftmals auch als „Aktuatoren“ bezeichnet, nicht näher spezifiziert, so dass diese Definition im Grunde genommen auf ein sehr weites Anwendungsgebiet einschließlich Softwareprogramme zutrifft. Eine etwas genauere und umfassendere Definition wird hingegen von einer der Pionierinnen in der Forschung auf dem Gebiet der Agententechnologie gegeben. *Pattie Maes* [MAES95] grenzt den Agentenbegriff folgendermaßen ab: "Autonomous agents are computational systems that inhabit some complex dynamic environment, sense and act autonomously in this environment, and by doing so realize a set of goals or tasks for which they are designed." In dieser Begriffsbestimmung wird eine der herausragenden Eigenschaften, die Softwareagenten charakterisieren, erwähnt – die Autonomie. Darüber hinaus werden Agenten gemäß dieser Definition mit einer im Vorfeld festgelegten Aufgabe ins Leben gerufen und sie handeln mit dem Ziel, diese zu erfüllen.

Neben diesen unterschiedlichen Definitionen des Agentenbegriffs wird auch immer wieder die Frage kontrovers diskutiert, nach welchen Kriterien ein Programm als Software oder Agent eingeordnet werden kann. Prinzipiell ist festzustellen, dass jeder Softwareagent auch als Programm bezeichnet werden kann, da er grundsätzlich aus nichts anderem als einer mehr oder weniger umfangreichen Software besteht. Programme können hingegen nicht ohne weiteres als Softwareagenten bezeichnet werden. In Fachkreisen herrscht trotz der unterschiedlichen Begriffsinterpretation zumindest in einem Punkt Konsens. Computerprogramme erfordern zusätzliche spezifische Eigenschaften, um als Agenten bezeichnet zu werden. Diese können sein:

Autonomie und Proaktivität

Agenten agieren ohne direkte Intervention von Menschen und besitzen ein gewisses Maß an Kontrolle über ihre Handlungen. Ihr Verhalten ist *deliberativ*, das bedeutet, sie beobachten ihre Umgebung, und reagieren auf Veränderungen in einer Weise, die zunächst aus dem implementierten Umweltmodell sowie den beobachteten Veränderungen ermittelt wird.

Reaktivität

Agenten nehmen ihre Umgebung mittels Sensoren wahr und reagieren auf Grund des so genannten Stimulus-Response-Prinzips auf Veränderungen, die in ihr stattfinden. Im

Gegensatz zum deliberativen Verhalten kann das reaktive Verhalten als Reflexhandlung in einer vorher festgelegten Form verstanden werden.

Kontinuität
Eine entscheidende Eigenschaft eines Softwareagenten ist die Aufrechterhaltung seiner Identität sowie seines inneren Zustands über einen längeren Zeitraum.

Kommunikationsfähigkeit, Ansätze eines „sozialen Verhaltens“
Agenten besitzen die Fähigkeit mit anderen Entitäten zu kommunizieren und zu kollaborieren.

Adaptivität an neue Umgebungsbedingungen
Durch eigene Erfahrungen kann ein Agent sein Wissen erweitern und sich somit an neue Situationen und Veränderungen in seiner Umgebung anpassen.

Lernfähigkeit als ein gewisser Grad an Intelligenz
Ein Agent versucht, die ihm gestellten Aufgaben in autonomer Weise zu lösen. Hierzu wird ihm „Wissen“ in Form von beispielsweise Regeln und Fakten zur Verfügung gestellt. Für die Anwendung dieses abstrakten Wissens auf konkrete Fälle verfügt der Agent über geeignete Inferenzmechanismen.

Mobilität
Hierunter versteht man die Fähigkeit eines Agenten, innerhalb eines Netzwerks von einem Standort zu einem anderen zu migrieren und die Bearbeitung der zu bewältigenden Aufgaben an anderer Stelle fortzusetzen.

Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Beschreibungen und Definitionen bezüglich Softwareagenten. Beispielhaft wird auf die beiden Literaturstellen [BRZW98] und [BRAD97] verwiesen.

Formen und Einsatzgebiete
Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Einsatz fortschrittlicher bzw. intelligenter Agenten, wobei der Begriff Intelligenz in Bezug auf Agenten in Kapitel 4 näher erläutert wird. Die Einsatzgebiete von Softwareagenten sind sehr unterschiedlich und vielfältig. Wie bereits in Kapitel 1.2.2 erwähnt, besitzen Agenten eine gewisse Anzahl an Eigenschaften und Fähigkeiten, die je nach Anwendung variieren kann. Ohne den

Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen, lassen sich die Anwendungen grob in folgende Gruppen untergliedern:

- Informationsmanagement
  Agenten in diesem Bereich haben die Aufgabe für einen Benutzer gezielt Informationen zu sammeln. Dabei verhalten sie sich deliberativ. Im Speziellen observieren sie einerseits die unterschiedlichen Informationsquellen bezüglich Veränderungen und andererseits das Verhalten des Benutzers auf die gelieferten Informationen. Dadurch passen sie sich an die Präferenzen des jeweiligen Benutzers an und können weitere Aufgaben übernehmen, wie etwa optimiertes Filtern der relevanten Informationen aus der Flut an Suchergebnissen. Eine weitere Aufgabe ist beispielsweise die benutzerspezifische Organisation eingehender E-Mail Nachrichten. Auch hierbei ist die Lernfähigkeit des Agenten eine essentielle Voraussetzung. Es bieten sich insbesondere regelbasierte Systeme an, auf die in Kapitel 3.2 genauer eingegangen wird. Ein Beispiel für ein Forschungsprojekt aus dem Bereich der Informationsagenten ist „Reusable Environment for Task-Structured Intelligent Networked Agents“ (RETSINA). Dieses wurde im Software Agents Lab des Robotics Institutes der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh, Pennsylvania entwickelt [RETS05].

- System- und Netzmanagement
  Die immer komplexer werdenden Systeme und Verfahrensabläufe der heutigen weltweit vernetzten Anwendungen erfordern zur Sicherstellung der Kontinuität automatisierte Überwachungs- und Kontrollmechanismen. Hierbei kommen immer häufiger deliberative Agentensysteme zum Einsatz. Einfache Störungen können von ihnen unmittelbar behoben werden. Bei komplexeren Fehlern können Analysen vorgenommen und gegebenenfalls übergeordnete Instanzen benachrichtigt werden. Durch ihre Lernfähigkeit sind die Agenten bei neu auftretenden Fehlern in der Lage, mit der gesammelten Erfahrung früherer Fehler-Lösungs-Beziehungen an der Behebung der Systemfehler mitzuwirken. Hierbei bieten sich beispielhaft Methoden des Fallbasierten Schließens an, die in Kapitel 3.3 näher erläutert werden. Eine entsprechende Infrastruktur für ein dezentrales Netz- und Systemmanagement in Kombination mit Mobilen Agenten wird innerhalb des Forschungsvorhaben „Asynchronous Message Transfer Agent System“ (AMETAS) an der Universität Frankfurt am Main entwickelt [ZAHG99].

- Planungsagenten
  Die gegenwärtige Businesswelt ist geprägt von zunehmender Mobilität am Arbeitsplatz. Hierzu ist es erstrebenswert, den Nutzer durch die weitgehend automatisierte Übernahme von zahlreichen Routineaufgaben, wie etwa der verlässlichen und erfüllbaren Terminplanung, zu entlasten. Auch für diesen Typus von Agent ist ein deliberatives Agentenverhalten erforderlich. Die Agenten planen zunächst mit Hilfe gewisser Regeln beispielsweise eine Konferenzteilnahme. Hierbei ist neben der Anmeldung auch eine termingerechte An- und Abreise sowie die notwendige Unterkunft zu planen. Darüber hinaus kann der Agent, der die terminlichen Abläufe entweder selbst oder durch Interaktion mit dem Benutzer kontrolliert, bei unvorhergesehener Abweichungen vom Terminplan die Planung umdisponieren und an die geänderten Rahmenbedingungen anpassen (spätere Anreise, Absage oder ähnliches). Ein Forschungsvorhaben, das sich detailliert mit der hier geschilderten Problematik befasst ist MAP21 [MA2105], durchgeführt von einer Reihe deutscher Unternehmen und wissenschaftlicher Institutionen.

- Ein- und Verkaufsagent
  Ein weiteres Anwendungsfeld von Softwareagenten ist der Bereich der Beschaffung. Neben dem C2C-Commerce, wie in zahlreichen Internet-Auktionshäusern realisiert, gewinnt der Einsatz von Softwareagenten im Bereich des Einkaufs auch im B2B-Commerce immer mehr an Bedeutung. Ein wichtiger Sektor für den Einsatz dieser Beschaffungsagenten ist beispielsweise die Automobilindustrie. Diese zeichnet sich aus durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Zulieferunternehmen, deren Produkte zur Sicherstellung der Produktionskontinuität jeweils in ausreichender Stückzahl als Warenbestand vorrätig sein müssen. Folglich werden deliberative Agenten zunächst durch ihr reaktives Verhalten (wenn Lagerbestand von Produkt X kleiner n → Produkt X erneut bestellen) den erforderlichen Lagerbestand sicherstellen. Darüber hinaus können fortschrittliche Agenten selbst in Aktion treten und nach neu registrierten Unternehmen suchen, um über Vergleichsangebote die Wirtschaftlichkeit des Einkaufs fortwährend zu gewährleisten. Schließlich können diese Agenten je nach wirtschaftlicher Lage des Unternehmens und unter Einbeziehung unterschiedlicher Parameter adäquate Verhandlungsstrategien entwickeln und für den Einkauf anwenden. Ein interessantes Forschungsprojekt auf diesem Gebiet ist IMPULSE [IMPU05]. Dieses

wurde entwickelt von der Software Agent Group am Massachusetts Institute of Technology (MIT) Media Lab in Cambridge, Massachusetts.

Sicherheitsaspekte agentenbasierter Ausschreibungen

Ein wesentlicher Aspekt für die Akzeptanz eines agentenbasierten virtuellen Marktplatzes zur Ausschreibung von Bauleistungen seitens der potenziellen Teilnehmer ist die Sicherstellung der Rechtskonformität aller Prozessschritte. Hierzu wurde bereits in früheren Forschungsarbeiten [DENK03] eine Public Key Infrastructure (PKI) entwickelt und beispielhaft auf dem virtuellen Marktplatz SiReAM[2] implementiert. Die PKI ist ein asymmetrisches Signaturverfahren. Dieses basiert auf der Verwendung eines öffentlichen Schlüssels, der allen Marktplatzteilnehmern zugänglich ist, und eines privaten Schlüssels, der zur Gewährleistung der Sicherheit jeweils – von anderen Teilnehmern unzugänglich – sicher aufbewahrt werden muss. In Verbindung mit dem Zertifikat eines Schlüsselinhabers bzw. der entsprechenden Zertifizierungsstelle wird die Identität des Bieters, die Authentizität und Integrität des abgegebenen Angebots und die Unleugbarkeit der ausgeführten Handlung, beispielsweise der Angebotsabgabe, rechtskräftig bewiesen. Für nähere Ausführungen zu den kryptographischen Grundlagen der Verschlüsselung, sowie zu rechtlichen Aspekten der elektronischen Signatur sei hier auf [LIPP00], [BUCH99] und [ROSS02] verwiesen.

JADE – eine Entwicklungsumgebung für Multi-Agentensysteme

Als Grundlage für die Umsetzung eines agentenbasierten virtuellen Marktplatzes dienen so genannte Entwicklungsumgebungen. Dabei handelt es sich häufig um Open Source Software, die neben der Bereitstellung zur Anwendung sogar im Quellcode offen vorliegen und somit neben einer Einbindung in eigene Software auch Modifikationen für die Erfordernisse eigener Forschungsvorhaben ermöglichen. Ein Beispiel für eine solche Entwicklungsumgebung für Agenten und Agentensysteme, das auch im Rahmen dieser Arbeit zur Anwendung kam, ist „Java Agent DEvelopment Framework“ (JADE) [JADE05]. Diese wurde im Jahr 2000 seitens Telecom Italia Lab entwickelt und unter der „Lesser GNU Public License” (LGPL) freigegeben. Neben dem Vorteil der gebührenfreien Nutzung, ist ein entscheidender Vorteil von JADE gegenüber anderen Entwicklungsumgebungen die kontinuierliche Weiterentwicklung (aktuelle Version 3.3 vom 01/03/2005) seitens der weltweiten Anwender sowie seitens des TI Lab selbst.

---

[2] SiReAM steht für „Sicherer und Rechtsgemäßer Agentenbasierter virtueller Marktplatz“; siehe hierzu auch [DENK03].

Mit JADE wird eine Middleware bereitgestellt, die eine Vereinfachung der Erzeugung und Weiterentwicklung von Multiagentensystemen (MAS) ermöglicht. Diese Möglichkeit besteht bei JADE sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen. Im Folgenden werden weitere Merkmale und Vorteile von JADE stichpunktartig aufgeführt:

- JADE ist vollständig in der Programmiersprache JAVA implementiert und somit plattformunabhängig.
- JADE ist weltweit die einzige Agentenplattform seiner Art, die es ermöglicht mobile Agenten auch auf Mobiltelefonen einzusetzen. Hierzu wird die Laufzeitumgebung „JAVA 2 Micro Edition“ (J2ME) verwendet.
- JADE beinhaltet neben einer Bibliothek von Java-Klassen, die zur Erzeugung und Entwicklung von Agenten verwendet werden können, auch als Plattformbasis eine verteilte Laufzeitumgebung, die einen umfangreichen Satz an Systemdiensten zur Verfügung stellt, z.B. life-cycle, yellow page, white page oder message encoding.
- JADE stellt mit verschiedenen Agenten, wie etwa Remote Monitoring Agent (RMA), Directory Facilitator (DF), Dummy Agent, Sniffer Agent oder dem Introspector Agent, Werkzeuge zur Unterstützung der Debugging- und Entwicklungsphase sowie der Fernwartung zur Verfügung. Darüber hinaus ist für die Konfiguration der Agenten eine graphische Benutzeroberfläche verfügbar.
- Für die Kommunikation der Agenten steht mit der Agent Communication Language (ACL) eine Kommunikationssprache zur Verfügung, die den FIPA – Spezifikationen[3] entspricht und somit einen weltweit anerkannten Standard erfüllt. Beispielsweise wurden für den Bereich der Agentenkommunikation seitens der FIPA auf Grundlage der Sprechakttheorie [AUST02] zahlreiche fest definierte Kommunikationsakte bereitgestellt. Darüber hinaus wurde die Struktur dieser Kommunikationsakte standardisiert, mit dem Ziel, plattformübergreifendes Agentenagieren zu ermöglichen.
- Im Gegensatz zur überwiegend vorhandenen Client-Server-Struktur des Internets, setzt JADE für die Agentenplattform auf eine Peer-to-Peer-Struktur. Dadurch kann prinzipiell jeder Agent mit jedem anderen Agenten sowohl direkt eine Kommunikation initiieren, als auch Dienste anbieten bzw. abrufen. Die

[3] Die Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) ist eine 1996 gegründete gemeinnützige Vereinigung unterschiedlicher Unternehmen und Organisationen mit dem Ziel, einheitliche Standards für die Agententechnologie zu entwickeln (http://www.fipa.org/).

Kommunikation wird hierbei als asynchron bezeichnet, da das Senden und Empfangen der Nachrichten zeitlich versetzt stattfinden kann.

- Zur Implementierung der Ontologie als Voraussetzung eines einheitlichen Verständnisses gleicher Begriffe und somit als Grundlage der Kommunikation, ist in JADE das weltweit als Standard anerkannte Format XML einsetzbar. Als Ontologie-Editor diente im Rahmen dieser Arbeit die Open Source Software Protégé. Zwar wird einem JADE-Agenten die Ontologie nicht unmittelbar im XML-Format, sondern in Form von Java-Klassen übertragen, jedoch stellt Protégé die Möglichkeit bereit, eine Ontologie im XML-Format zu im- und exportieren, zu bearbeiten und in entsprechende Java-Klassen zu überführen.

Der JADE-Agent besitzt einen gewissen Grad an Autonomie, das bedeutet, er kontrolliert einzelne Threads bzw. den vollständigen Prozess für seine Ausführung selbst und er entscheidet, wann und welche Mitteilungen er liest und bearbeitet. Darüber hinaus kann er gleichzeitig an mehreren Konversationen teilnehmen sowie ein oder mehrere Verhalten (Behaviour) besitzen und ausführen. In JADE sind vorgefertigte Behaviours verfügbar, die genutzt und verändert werden können. Jede Instanz der Runtime wird Container genannt, weil sie einen oder mehrere Agenten beinhaltet (to contain). Diese Container kommunizieren über RMI[4] miteinander.

1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Die Intention dieser Arbeit liegt in der Entwicklung von Konzepten und Modellen zur Automatisierung komplexer Prozesse von Öffentlichen Ausschreibungen im Bauwesen: Hierdurch kann ein erhebliches Maß an Optimierung, Beschleunigung und Vereinfachung erzielt werden. Wesentlich für einen ganzheitlichen Transfer der dokumentenbasierten Ausschreibung auf einen virtuellen Marktplatz ist neben der Gewährleistung der Rechtskonformität auch die Bereitstellung möglichst aller Sonderformen der Öffentlichen Ausschreibung, wie beispielsweise die Bildung von Bietergemeinschaften, das Auffinden von geeigneten Nachunternehmern, die Durchführung von Verhandlungen sowie das Erstellen und subsumieren von Nebenangeboten. Für diese in hohem Maß dynamischen Prozesse der Öffentlichen Ausschreibung ist der Einsatz von intelligenten

---

[4] Remote Method Invocation (RMI) bezeichnet den Aufruf einer Methode eines entfernten Java-Objekts. Unter „entfernt“ versteht man dabei, dass diese Methoden sich sowohl auf einem anderen Rechner, als auch auf einer anderen Virtuellen Maschine (Laufzeitumgebung) befinden können.

Computersystemen mit einem gewissen Grad an Autonomie, Lernfähigkeit und Adaptivität erforderlich. Hierbei finden Methoden wissensbasierter Systeme aus dem Bereich der klassischen künstlichen Intelligenz (KI) Anwendung. Der Grundgedanke solcher Systeme ist, dass zunächst in einer beliebigen Form sowohl generisches als auch spezifisches Wissen zusammengetragen und in einer strukturierten Wissensbasis gespeichert wird. Das Wissen kann in einem nächsten Schritt mit Hilfe von so genannten Inferenzmechanismen auf konkrete Situationen angewendet werden. Beispiele solcher wissensbasierter Systeme, die hier zum Einsatz kommen, sind Regelbasierte Systeme sowie Fallbasiertes Schließen.

Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an den oben beschriebenen Zielen. In diesem Kapitel wurde bereits ein Überblick über den gegenwärtigen Stand der Forschung und Entwicklung bezüglich virtueller Umgebungen und Softwareagenten bzw. Multiagentensystemen gegeben, soweit dieser für die in der Arbeit behandelten Themenkomplexe relevant ist. Hierbei wurden auch Beispiele vorgestellt und analysiert, in welchen Bereichen bereits Softwaretechnik in den Prozessen der Öffentlichen Ausschreibung eingesetzt wird. Im folgenden Kapitel 2 wird zunächst eine chronologische Abfolge der wesentlichen Prozessschritte der Öffentlichen Ausschreibung von Bauleistungen und deren Interdependenzen analysiert. Darüber hinaus erfolgt eine Zusammenstellung und kurze Erläuterung der gegenwärtig bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen auf nationaler sowie auf europäischer Ebene. Schließlich werden Ansatzpunkte für den Einsatz fortschrittlicher Automatisierungssysteme herausgearbeitet. Daran anschließend erfolgt in Kapitel 3 eine Einführung in Methoden der künstlichen Intelligenz und wissensbasierter Systeme, die für die Entwicklung von fortschrittlichen Automatisierungen essentiell und unumgänglich sind. Kapitel 4 befasst sich mit Lösungskonzepten und Modellen für unterschiedliche Prozessschritte der öffentlichen Ausschreibung, wobei nur die wesentlichen berücksichtigt wurden. Im daran anschließenden Kapitel 5 werden die Implementierung der in Kapitel 4 entwickelten Modelle sowie der Aufbau der Marktplatzarchitektur und hierbei insbesondere die diversen, zur Realisierung der unterschiedlichen Aufgaben entwickelten Agententypen und deren Konstellationen sowohl auf Unternehmensebene, als auch auf Ebene des virtuellen Marktplatzes erläutert. Schließlich werden in Kapitel 6 die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst und es wird ein kurzer Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf gegeben.

Kapitel 2

Prozess der öffentlichen Ausschreibung

2.1 Prinzipieller Ablauf

Der Prozess der öffentlichen Ausschreibung ist durch zahlreiche Rechtsvorschriften stark reglementiert und strukturiert. Diese Formalisierung des Verfahrens erstreckt sich insbesondere auf die Form und den Inhalt der eingereichten Bieterangebote. Abweichungen von der festgelegten Form führen auf Auftragnehmerseite nicht selten zum Ausschluss von der Teilnahme an der Ausschreibung. Auch eine digitalisierte öffentliche Ausschreibung ist zwangsläufig an diese strikte Form gebunden. Deshalb ist es für eine Optimierung und Automatisierung der Ausschreibungsprozesse zunächst erforderlich, alle Teilprozesse detailliert zu analysieren. Im Folgenden werden die wesentlichen Arbeitsschritte der einzelnen am Ausschreibungsprozess Beteiligten in einem Szenario kurz dargelegt sowie in einer Tabelle zusammengestellt (siehe Tabelle 1). Die im Rahmen des Szenarios in Klammern angegebenen Zahlen entsprechen hierbei den Prozessschritten aus Tabelle 1.

Szenario

Für das neue Rathaus (Projekt A) führt das Hochbauamt der Stadt X eine öffentliche Ausschreibung durch. Dazu werden zunächst seitens des Hochbauamtes die Vergabeunterlagen erstellt, deren wichtigster Bestandteil das Leistungsverzeichnis (LV) ist, das jede auszuführende Position – detailliert beschrieben – enthält. Anschließend wird die Ausschreibung in geeigneten Medien, wie etwa Ausschreibungsblättern oder Tageszeitungen, veröffentlicht (1), so dass möglichst alle potenziellen Auftragnehmer diese Informationen erhalten. Die Baufirma M-Bau, die grundsätzlich auf der Suche nach

Tabelle 1: Prozessschritte der Öffentlichen Ausschreibung

Prozess-schritte	Auftraggeber (AG)	Auftragnehmer (AN)	
		Generalunternehmer (GU)	Nachunternehmer (NU)
	Erstellung eines LV für Bauvorhaben A		
1	Veröffentlichung		
2		Suche nach lukrativen Aufträgen	
3	Anfrage		
	Ausschreibungsunter-lagen		
4	CfP		
5		Angebotsbearbeitung	
6		CfP	
7			Angebotsbearbeitung
		Angebot	
8		Nebenangebot? Änderungsvorschlag?	
9		Bietergemeinschaft?	
10	Angebot		
11		S U B M I S S I O N	
12	Auswertung der Angebote		
13	Zuschlag/Vergabe		
		Vertrag	
		Ausführung	

lukrativen Angeboten ist (2), reagiert auf diese Veröffentlichung und fordert die Ausschreibungsunterlagen an (3). Verbunden mit den Unterlagen erhält die Firma M-Bau eine Aufforderung zur Angebotsabgabe (CfP), die an einen festgelegten Zeitpunkt (Submissionstermin) gebunden ist (4). Firma M-Bau wird zunächst kontrollieren, welche Bereiche des Leistungsverzeichnisses aus terminlichen und qualifikationstechnischen Gründen von dem eigenen Unternehmen ausgeführt werden können (5). Preisan-

fragen zu einzelnen Produkten, die nicht zum Lagerbestand der Firma M-Bau gehören, werden direkt an Zulieferunternehmen gestellt. Für die verbleibenden Teile des LV's werden branchenspezifisch Leistungsverzeichnis-Pakete zusammengestellt und Nachunternehmer mit der Aufforderung zur Abgabe eines Angebots kontaktiert (6), die ihrerseits die Teilausschreibungen fristgerecht bearbeiten (7). Die eingehenden Angebote werden im Folgenden evaluiert und in das Angebot integriert. Vor der Abgabe des kompletten Angebots analysiert die Baufirma M-Bau neben dem Leistungsverzeichnis auch die weiteren Ausschreibungsunterlagen wie zum Beispiel die Pläne oder Baubeschreibungen und prüft unter Einbeziehung von unterschiedlichen unternehmensspezifischen Faktoren, ob durch eine Abweichung von der ursprünglichen Ausschreibung hinsichtlich der verwendeten Materialien, der Tragsysteme oder des Bauablaufs bzw. Herstellungsverfahrens, eine Optimierung der Kosten und oder der Bauzeit erzielt werden könnte. Erscheint diese Möglichkeit aussichtsreich, so wird neben dem ursprünglichen Angebot auch ein Änderungsvorschlag oder ein Nebenangebot eingereicht, mit dem Ziel, sich möglichst gegenüber anderen Bietern positiv abzuheben und somit bessere Chancen auf den Zuschlag zu erhalten (8). Weiterhin wird von der Firma M-Bau geprüft, ob die Abgabe des Angebots im Rahmen einer Bietergemeinschaft als lukrativer erachtet und daher bevorzugt wird (9). Schließlich wird das Angebot vor dem Submissionstermin in verschlossener Form eingereicht (10). Die Vergabestelle der Stadt X hat nun bis zum Eröffnungstermin sicherzustellen, dass alle eingegangenen Angebote unter Verschluss verwahrt werden. Am Submissionstermin (11) werden die fristgerecht abgegebenen Angebote geöffnet und in ihren wesentlichen Eckdaten den Mitbewerbern gegenüber veröffentlicht. In der anschließenden Wertungsphase (12) werden vom Hochbauamt der Stadt X die Angebote auf Stimmigkeit kontrolliert und verglichen, um das wirtschaftlichste Angebot herauszufiltern. In unserem Fall erhält die Firma M-Bau auf Grund ihres lukrativen Nebenangebots den Zuschlag (13).

2.2 Anzuwendende Rechtsvorschriften

2.2.1 Europäische Vorgaben

Das deutsche Vergaberecht ist traditionell ein Bestandteil des Haushaltsrechts. Entsprechende Regelungen finden sich im Haushaltsgrundsätzegesetz (§ 30 HGrG), in den Bundes- und Landeshaushaltsordnungen (§§ 55 BHO, LHO) sowie in den Haushaltsordnungen sonstiger öffentlich-rechtlicher Körperschaften. Jedoch hat die Europäische

Gemeinschaft seit 1989 durch den Erlass von Richtlinien den Charakter des Vergabewesens grundlegend geändert. Die EU bezweckt damit zum einen die Verbesserung des Rechtsschutzes von Bietern im Vergabeverfahren, indem sie für Bieter einklagbare Rechte auf Einhaltung des Vergaberechts schafft. Insbesondere gilt dieses zur Gleichbehandlung im Vergabeverfahren, was den Bietern Schutz gegen rechtswidriges Handeln des öffentlichen Auftraggebers gewährt. Zum anderen findet eine fortwährende Anpassung des Rechtsrahmens an die sich ständig ändernden wirtschaftlichen globalen und EU-weiten Rahmenbedingungen statt, die zu einer Flexibilisierung und Modernisierung des Rechtsrahmens geführt haben. Beispielsweise wurde hierdurch erst der Einsatz von IuK-Technologien im Vergabewesen ermöglicht. Aktuell wird für den Bereich der Vergabe von Bauleistungen das Verfahren durch folgende Vergabekoordinierungsrichtlinie (VKR) geregelt:

- Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 31.3.2004 über die Koordinierung der Verfahren zur Vergabe öffentlicher Bauaufträge, Lieferaufträge und Dienstleistungsaufträge, ABl. EG Nr. L 134 vom 30.4.2004.

Für die Sicherstellung der Einhaltung dieser Richtlinie wurden von der Europäischen Gemeinschaft zwei weitere Richtlinien erlassen, die eine Nachprüfung der Vergabeentscheidung vorschreiben. Für Bauaufträge ist die folgende Richtlinie relevant:

- Richtlinie 89/665/EWG zur Koordinierung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Anwendung der Nachprüfungsverfahren im Rahmen der Vergabe öffentlicher Liefer- und Bauaufträge (RML), ABl. EG Nr. L 395 vom 30.12.1989.

Im Rahmen von Kommissionsvorschlägen zur Änderung der Vergaberichtlinien hat der Rat im März 2003 Gemeinsame Standpunkte erarbeitet, wodurch eine deutliche Reduzierung der anzuwendenden Vorschriften erreicht werden soll. Darüber hinaus wurde Anfang September 2005 ein weiteres Vergabeverfahren, der „wettbewerbliche Dialog“, eingeführt. Dabei handelt es sich um ein in § 101 Abs. 1 und Abs. 5 GWB vorgesehenes Verfahren zur Vergabe besonders komplexer Aufträge, wobei sich an die Aufforderung zur Teilnahme an der Ausschreibung Verhandlungen mit ausgewählten Unternehmen über alle Einzelheiten des Auftrags anschließen. Beabsichtigt wird, dadurch eine Flexibilisierung der Auftragsvergabe zu erreichen.

2.2.2 Nationales Vergaberecht

Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB)

In der Bundesrepublik Deutschland ist das aktuell maßgebende Vergaberecht zweigliedrig strukturiert. Für jede beabsichtigte öffentliche Ausschreibung ist zunächst zu überprüfen, ob sie dem auf Grundlage der EG-Richtlinien definierten Anwendungsbereich unterliegt, mit der Konsequenz, dass ein europaweites Ausschreibungsverfahren zu erfolgen hat und, dass andere Rechtsvorschriften im Vergleich zu Vergabeverfahren auf nationaler Ebene anzuwenden sind. Maßgebendes Entscheidungskriterium ist der Wert des Auftrags. Hierzu wurden so genannte Schwellenwerte eingeführt. Für Bauaufträge betrug dieser zunächst gemäß Art. 7 c der BaukoordinierungsRL 6.242.000 Euro. Dieser Schwellenwert wurde durch Art. 1 Nr. 1 b der EG-Verordnung Nr. 1874/2004 vom 28.10.2004, ABl. Nr. L vom 29.10.2004, S. 17 geändert. Er beträgt nunmehr 5.923.000 Euro. Zur Regelung für Lose gibt es in Art. 9 Abs. 5 a die Bestimmung, dass, falls der kumulierte Wert der Lose den in Art. 7 genannten Schwellenwert erreicht oder übersteigt, die Richtlinie für die Vergabe jedes Loses gilt. Der öffentliche Auftraggeber kann jedoch von dieser Bestimmung abweichen, wenn es sich um Lose handelt, deren geschätzter Gesamtwert ohne Mehrwertsteuer bei Bauleistungen unter 1.000.000 Euro liegt, sofern der kumulierte Wert dieser Lose 20 % des kumulierten Werts aller Lose nicht übersteigt.

Für Auftragswerte von öffentlich ausgeschriebenen Bauleistungen, die gemäß der oben genannten Kriterien den Schwellenwert erreichen bzw. übersteigen, gelten die EU-Vergaberichtlinien, die in Deutschland im vierten Teil des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (§§ 97 ff) umgesetzt wurden.

Vergabeverordnung (VgV)

Dem Vergaberecht der Bundesrepublik Deutschland liegt regelungstechnisch ein Kaskadenprinzip mit dreistufigem Aufbau zu Grunde. Während sich auf der obersten Stufe der im vorangegangenen Kaptitel beschriebene Vierte Teil des GWB befindet, wird die nächste Stufe von der Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge (Vergabeverordnung – VgV) gebildet. Ebenso wie der Vierte Teil des GWB ist auch die VgV lediglich für Vergaben anwendbar, deren Wert den in § 2 VgV explizit für die unterschiedlichen Bereiche der öffentlichen Beschaffung aufgeführten Schwellenwert erreicht bzw. übersteigt. Für diese Vergaben enthält die Vergabeverordnung insbesondere Regelungen zum einzuhaltenden Verfahrensablauf. In § 15 VgV wird die elektronische Angebotsabgabe zugelassen. Hierbei ist zu beachten, dass das abgegebene Angebot mit einer

Signatur gemäß Vorgaben des Signaturgesetzes zu versehen ist. Darüber hinaus ist das Angebot zu verschlüsseln, wobei die Verschlüsselung bis zum Eröffnungstermin aufrecht zu halten ist.
Ebenso wie auf europäischer Ebene hat sich auch die Bundesregierung im Februar 2003 auf eine „Verschlankung des Vergaberechts“ verständigt, wodurch der Gesamtumfang des Regelungswerks um zwei Drittel reduziert werden soll. Daraus folgt, dass eine grundlegende Überarbeitung und Neufassung des Vergaberechts, nicht zuletzt hervorgerufen durch die geänderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Zuge der Entwicklung der Europäischen Gemeinschaft, in naher Zukunft zu erwarten sind. Ein entsprechender Entwurf einer neuen VgV wird gegenwärtig auf Bundesebene erarbeitet.

Verdingungsordnungen (VOB, VOL und VOF)
Die unterste Stufe der Kaskade bilden die verschiedenen Verdingungsordnungen, die konkrete Regelungen über die Ausgestaltung des Vergabeverfahrens enthalten und für alle Vergabeverfahren gelten. Auch im Bereich der Vergabeverordnungen werden auf Grund der europäischen Vorgaben in naher Zukunft einschneidende Veränderungen und in diesem Zusammenhang möglichst auch eine Verschlankung des Regelungsumfangs angestrebt. Im Rahmen dieser Arbeit werden nachfolgend die drei bestehenden Verordnungen aufgeführt, wobei im weiteren Verlauf lediglich auf die VOB näher eingegangen wird:

- Verdingungsordnung für Leistungen (VOL),
- Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB),
- Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen (VOF).

Die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) enthält Regelungen für die Vergabe und Abwicklung von öffentlichen Bauaufträgen. Sie setzt sich aus den folgenden drei Teilen zusammen, wobei im Rahmen dieser Arbeit nur Teil A relevant ist, da er das Ausschreibungsverfahren von der Bekanntmachung bis zur Erteilung des Zuschlags regelt:

- Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen,
- Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen,
- Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen.

Die erste Fassung der VOB entstand bereits im Jahr 1926. Seit 1947 gehört es zu den satzungsmäßigen Aufgaben des Deutschen Verdingungsausschusses (DVA), insbesondere durch Fortschreibung der VOB Grundsätze für die sachgerechte Vergabe und Abwicklung von Bauaufträgen zu erarbeiten und weiter zu entwickeln. Gerade in der jüngeren Vergangenheit (1996, 1998, 2000, 2002) wurde die VOB mehrfach geändert und ergänzt. Vorrangige Einflussfaktoren waren hierbei zum einen die Aufnahme der Zulassung digitaler Angebotsabgaben (§ 21 VOB/A) und zum anderen die ergänzenden Regelungen zur Vergabe auf europäischer Ebene. Im Jahr 2000 hat sich der DVA in „Deutscher Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen“ umbenannt. Entsprechend trägt auch die VOB seit ihrer letzten Neufassung im Jahr 2002 die Bezeichnung „Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen“. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Vergabe von Bauleistungen, die im Teil A der VOB geregelt ist. Dieser gliedert sich in vier Abschnitte, wobei der erste Abschnitt so genannte Basisparagraphen enthält, die für die Vergabe auf nationaler Ebene von Bedeutung sind. Die weiteren Abschnitte enthalten ergänzende Paragraphen, die bei Überschreitung der Schwellenwerte, also bei Ausschreibungen auf europäischer Ebene, zusätzlich beachten werden müssen.

2.2.3 Grundprinzipien des Vergaberechts

Die Rechtlichen Rahmenbedingungen des Vergabeverfahrens implizieren auf nationaler sowie auf europäischer Ebene eine Vielzahl von Grundprinzipien. Diese werden im Folgenden einzeln aufgeführt und kurz erläutert:

Wettbewerbsprinzip

Ein wesentliches Ziel des gemeinsamen europäischen Vergaberechts ist die Öffnung der staatlichen Beschaffungsmärkte für einen freien Wettbewerb, um möglichst vielen Bietern die Gelegenheit einer Angebotsabgabe zu offerieren. Dieses ist auch in der Präambel der materiellen Vergaberichtlinien der Europäischen Gemeinschaft als eines der Richtlinienziele aufgeführt.

Grundsatz der Wirtschaftlichkeit

Die zur sparsamen Haushaltsführung angehaltenen öffentlichen Auftraggeber sind dazu verpflichtet, Leistungen zu möglichst günstigen Konditionen zu beschaffen. Dieses wird in aller Regel durch das Prinzip des freien Wettbewerbs garantiert. Der Zuschlag ist gemäß GWB, § 97 (5) dem wirtschaftlichsten Angebot zu erteilen.

Transparenzprinzip

Die Verpflichtung zur Transparenz des Vergabeverfahrens resultiert unmittelbar aus dem primärrechtlichen Diskriminierungsverbot des Art. 12 EG. Hiermit soll die Nachprüfbarkeit der Entscheidung des Auftraggebers für einen bestimmten Bewerber gewährleistet werden. Das Transparenzgebot ist eng verknüpft mit dem Wettbewerbsprinzip, da nur ein transparentes Verfahren der Auftragsvergabe einen echten Wettbewerb ermöglicht.

Grundsatz der Diskriminierungsfreiheit

Das gemeinschaftsrechtliche Diskriminierungsverbot (Art.12 EG) verbietet die Einführung von Vorschriften und Verwaltungspraktiken, die Anbieter aus anderen Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft daran hindern, ihre Leistungen unter den gleichen Bedingungen und mit den gleichen Rechten wie inländische Unternehmen zu erbringen. Die Diskriminierungsfreiheit ist eines der grundlegenden Prinzipien des Verwaltungsrechts, das die Chancengleichheit aller potenziellen Interessenten durch eine Gleichbehandlung seitens des öffentlichen Auftraggebers in allen Phasen des Vergabeverfahrens sicherstellt.

Vertraulichkeit

Ein weiterer, aber nicht minder wichtiger Grundsatz der elektronischen Vergabe ist das Gebot der Vertraulichkeit. Geschützt wird zunächst die Geheimhaltung der Bieter und der Angebote bis zum Eröffnungstermin (Submission). Darüber hinaus muss durch entsprechende Vorkehrungen sichergestellt werden, dass der detaillierte Inhalt von Haupt- und Nebenangeboten und somit unternehmensspezifische Interna auch über den Submissionszeitpunkt hinaus anderen Bietern nicht zugänglich gemacht werden.

Verhandlungsverbot

Die Vergabevorschriften verbieten den öffentlichen Auftraggebern grundsätzlich mit den Bietern über deren Preise und Leistungen des Angebots zu verhandeln. Zulässig sind lediglich Gespräche, die dazu dienen, Unklarheiten und Zweifel beispielsweise bezüglich des abgegebenen Angebots oder bezüglich der technischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit des Bieters auszuräumen.

2.2.4 Verfahrensarten der öffentlichen Ausschreibung

Das deutsche Vergaberecht sieht ähnlich wie das EG-Vergaberecht im Wesentlichen drei Arten der Vergabe öffentlicher Aufträge vor:

a) Öffentliche Ausschreibung

Hierbei können alle an der Ausschreibung interessierten Unternehmen ein Angebot abgeben. Auf EU-Ebene wird dieses Verfahren oberhalb der Schwellenwerte als „Offenes Verfahren“ deklariert, wobei definitionsgemäß vergleichbare Verfahren beschrieben werden.

b) Beschränkte Ausschreibung

Unter bestimmten Voraussetzungen, die in § 3 VOB/A näher spezifiziert sind, ist unterhalb der Schwellenwerte auf nationaler Ebene eine beschränkte Ausschreibung zulässig. Auf europäischer Ebene wird diese Form gemäß § 101 III GWB als „nichtoffenes Verfahren“ bezeichnet. Hierbei können sich zunächst alle Unternehmer in einer ersten Phase nach Bekanntmachung der Ausschreibung darum bewerben, am anschließenden Bieterwettbewerb teilnehmen zu dürfen. In der daran anschließenden zweiten Phase geben nur diejenigen Unternehmen ein Angebot ab, die vom öffentlichen Auftraggeber entsprechend zugelassen und aufgefordert wurden. Entgegen der Vorschriften oberhalb der Schwellenwerte ist auf nationaler Ebene die Durchführung der ersten Phase, die als Teilnahmewettbewerb bezeichnet wird, zwar zulässig, jedoch nicht zwingend, wodurch hinsichtlich der Wettbewerbsoffenheit der Ausschreibung zwei deutlich voneinander abweichende Verfahren bestehen. Darüber hinaus ist nach nationalem Recht der öffentlichen Ausschreibung prinzipiell immer der Vorrang zu geben, während der Auftraggeber auf europäischer Ebene zwischen offenem und nichtoffenem Verfahren wählen kann. Dadurch wird in der gegenwärtigen Situation die vom Gemeinschaftsrecht gewährte Wahlfreiheit zwischen offenem und nichtoffenem Verfahren durch nationales Recht eingeschränkt.

c) Freihändige Vergabe

Als dritte Variante kann der öffentliche Auftraggeber ein oder mehrere Unternehmer ansprechen und mit ihnen über die Auftragsbedingungen verhandeln. Oberhalb der Schwellenwerte wird diese Variante als „Verhandlungsverfahren“ bezeichnet. Hierbei ist im Europäischen Gemeinschaftsrecht wie schon beim nichtoffenen Verfahren die Möglichkeit gegeben, dem Verhandlungsverfahren einen Teilnahmewettbewerb voran-

zustellen. Unterhalb der Schwellenwerte im nationalen Vergaberecht ist im Regelfall kein Teilnahmewettbewerb vorgesehen.

Eine Übersicht über die unterschiedlichen Vergabeverfahren befindet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2: Überblick über die unterschiedlichen Vergabeverfahren

	Offenes Verfahren	Nichtoffenes Verfahren		Verhandlungsverfahren	
		Mit Teilnahme-wettbewerb	Ohne Teilnahme-wettbewerb	Mit Teilnahme-wettbewerb	Ohne Teilnahme-wettbewerb
EG – Vergaberecht	+	+	–	+*	+*
Deutsches Vergaberecht oberhalb der Schwellenwerte	+	+*	– x	+*	+*
Deutsches Vergaberecht unterhalb der Schwellenwerte	+	+*	+*	(+)*	+* Regelfall
	Öffentliche Ausschrei-bung	Beschränkte Ausschreibung		Freihändige Vergabe	

+) möglich -) nicht möglich *) Rechtfertigungs- und Begründungsbedürfnis x) fraglich

Darüber hinaus gibt es Sonderformen, wie etwa das im amerikanischen Rechtsraum oder auch in mehreren Mitgliedstaaten der EU bereits bekannte Präqualifikationsverfahren, bei dem im Vorfeld der Angebotsabgabe zunächst in einem Verfahren ermittelt wird, welche Unternehmen für ein entsprechendes Projekt qualifiziert sind. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch auf solche Sonderformen nicht näher eingegangen.

Der Fokus dieses Forschungsprojekts liegt in der Bearbeitung von öffentlichen Ausschreibungen für Bauleistungen auf nationaler Ebene unterhalb der Schwellenwerte. In Tabelle 2 ist der hier relevante Bereich der Vergabeverfahren grau hinterlegt.

2.2.5 Elektronischer Geschäftsverkehr

Auch im Bereich der elektronischen Vergabe wird durch Richtlinien über den elektronischen Geschäftsverkehr (E-Commerce-Richtlinie, Signaturrichtlinie) seitens der EU-Gesetzgebung starker Einfluss auf die Gestaltung von nationalen rechtlichen Rahmenbedingungen genommen. Die Ziele der europäischen Richtlinien sind zum einen die Zulassung von Vertragsabschlüssen auf elektronischem Weg (Art. 9, E-Commerce-RL) und zum anderen eine Harmonisierung der rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz elektronischer Signaturen in den Mitgliedstaaten durch die Schaffung eines europaweit vergleichbaren Standards für das Angebot und die Nutzung von Signaturverfahren (SigRL). Eine wesentliche Voraussetzung für die rechtskonforme Umsetzung der elektronischen Vergabe war insbesondere die Schaffung von Rechtsregeln zur Verwendung der elektronischen Signatur als Basistechnologie des elektronischen Rechts- und Geschäftsverkehrs. Neben zahlreichen anderen positiven Effekten verbessert die Einführung des elektronischen Geschäftsverkehrs auch die im Vergabeverfahren generell geforderte Gleichbehandlung aller Bieter. Dieses wird gerade bei europaweiten Ausschreibungen im Vergleich zur dokumentenbasierten Variante dadurch erreicht, dass Teilnehmer aus unterschiedlichen Mitgliedstaaten im Prinzip zur gleichen Zeit via Internet ihre Angebote abgeben können.

Signaturgesetz (SigG)

Im Dezember 1996 verabschiedete der Deutsche Bundestag das weltweit erste nationale Gesetz über digitale Signaturen, das die Entwicklung der Europäischen Richtlinien auf diesem Gebiet maßgebend beeinflusste. Die daraus entstandenen europäischen Vorgaben bezüglich der Regelungen der elektronischen Signatur wurden wiederum in der Neufassung des Signaturgesetzes von 2005 umgesetzt. Mit dem Signaturgesetz werden somit technisch-organisatorische Rahmenbedingungen für entsprechende Signaturinfrastrukturen geschaffen mit dem Ziel, erhöhte Rechtssicherheit für den Geschäftsverkehr via Internet (E-Commerce) zu erreichen. Hierzu regelt das Signaturgesetz verschiedene Signaturstufen, Anforderungen an die Anbieter von Zertifizierungsdienstleistungen sowie technische Komponenten und Verfahren. Demnach ist ein Zertifikat von einer akkreditierten Zertifizierungsstelle auszustellen und muss gemäß § 7 SigG einen bestimmten Mindestinhalt an Informationen beinhalten. Das anzuwendende Signaturverfahren ist im SigG nicht genauer spezifiziert. Jedoch beziehen sich die Regelungen im Gesetz auf die zum Zeitpunkt seiner Schaffung gebräuchliche Technologie der asymmetrischen Kryptographie, d.h. auf Signaturverfahren, denen Public Key Infrastrukturen (PKI)

zugrunde liegen. Insofern ist eine Technikoffenheit des anzuwendenden Signaturverfahrens nur theoretisch verwirklicht.

Signaturverordnung (SigV)

Die Signaturverordnung ergänzt das Signaturgesetz neben Einzelregelungen zu den Anforderungen an die Zertifizierungsdiensteanbieter auch um die bei der Zertifikats- und Signaturerstellung einzusetzenden Produkte und Verfahren. In der Anlage 1 der SigV werden darüber hinaus detaillierte Vorgaben für die Prüfung von Produkten qualifizierter elektronischer Signaturen zusammengestellt.

2.2.6 Zivil- und Prozessrecht

Neben dem Vergaberecht bestimmen auch die Formvorschriften des Privatrechts die gesetzlichen Regelungen im Bereich des E-Commerce. Hierbei sind im Wesentlichen die beiden nachstehenden Gesetze zu erwähnen:

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB)

Ziel der Durchführung einer öffentlichen Ausschreibung ist der Abschluss eines Bauvertrags zwischen öffentlichem Auftraggeber und erfolgreichem Bieter als Auftragnehmer. Dabei verpflichten sich der Auftragnehmer einerseits, eine bestimmte Leistung, und der Auftraggeber andererseits, eine dafür festgesetzte Vergütung zu erbringen. Die rechtliche Basis bietet hierfür das Vertragsrecht des BGB. Auf Grund der Tatsache, dass das BGB recht allgemein gehalten ist und folglich nicht auf die spezifischen Belange eines Bauvertrags eingeht, wurden weitere rechtliche Regelungen erarbeitet – beispielsweise die Verdingungsordnungen, die in den vorangegangenen Kapiteln benannt und kurz erläutert wurden. Ferner ist das BGB auch für die E-Vergabe von Bedeutung. Im Rahmen einer Neufassung des BGB im Jahr 2002 wurde mit dem neu eingeführten Paragraphen § 126 a nunmehr die elektronische Form des Vertragsabschlusses geregelt, womit die E-Commerce-Richtlinie[5] umgesetzt wurde. Damit ist die Signierung eines elektronischen Dokumentes mit einer qualifizierten elektronischen Signatur der händischen Unterschrift grundsätzlich gleichgestellt.

---

[5] Richtlinie 2000/31/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2000 über bestimmte rechtliche Aspekte der Dienste der Informationsgesellschaft, insbesondere des elektronischen Geschäftsverkehrs, im Binnenmarkt („Richtlinie über den elektronischen Geschäftsverkehr“ – „e-commerce-Richtlinie“), Amtsblatt Nr. L 178 vom 17.07.2000, S.1-16.

Zivilprozessordnung (ZPO)

Die Zivilprozessordnung findet Anwendung für Rechtschutzverfahren von Bietern, wobei der Vollständigkeit halber zu erwähnen ist, dass für Verfahren oberhalb der bereits unter Kapitel 2.2.2 erwähnten Schwellenwerte spezielle Nachprüfungsverfahren in §§ 101 ff GWB enthalten sind. In der Zivilprozessordnung ist im § 371 a die Beweiskraft elektronischer Dokumente neu geregelt. Demgemäß wird bei einem elektronischen Dokument, das mit einer qualifizierten elektronischen Signatur gemäß SigG signiert ist, zunächst davon ausgegangen, dass die Erklärung vom Signaturschlüssel-Inhaber abgegeben worden ist. Dieses bedeutet eine Beweiserleichterung für den Signaturschlüssel-Inhaber [ROSS06].

2.3 Möglichkeiten für den Einsatz von IT

Für eine effiziente Automatisierung der Prozesse der öffentlichen Ausschreibung von Bauleistungen bieten sich naturgemäß zunächst diejenigen Teilprozesse an, die sehr zeit- und arbeitsintensiv sind. In diesem Kapitel werden die wesentlichen Teilprozesse der Vergabe öffentlicher Aufträge in chronologischer Reihenfolge analysiert und es werden jeweils Möglichkeiten für den effizienten Einsatz von Softwareagenten aufgezeigt.

Die Erstellung eines Leistungsverzeichnisses (LV) seitens des Auftraggebers ist ein sehr zeit- und arbeitsintensiver Vorgang. Hierbei werden alle Positionen des Bauprojekts, ausgehend von der architektonischen Planung und bautechnischen Berechnung, in der Regel mit Hilfe von Standardleistungstextbausteinen beschrieben und in einer strukturierten Auflistung zusammengestellt. Für diesen Prozessschritt ist ein hohes Maß an technischem Verständnis nicht zuletzt für den Bauablauf erforderlich. Erschwerend kommt gerade bei schlüsselfertigen Projekten hinzu, dass häufig erst bei der Erstellung des LV gestalterische Entscheidungen in Interaktion mit dem Architekten, mit dem Gebäudetechniker bzw. Tragwerksplaner und gegebenenfalls mit dem Bauherrn getroffen werden. Schließlich zeichnen sich gerade in der Baubranche Projekte durch einen hohen Grad an Individualität aus. Folglich ist für diesen komplexen Prozessschritt eine Automatisierung nur in Teilbereichen realisierbar. Dieser Abschnitt muss als Vorbereitung bzw. Vorleistung für eine öffentliche Ausschreibung angesehen werden und wird im Folgenden bezüglich möglicher Automatisierungsmechanismen nicht weiter berücksichtigt.

Die fortwährende Suche nach lukrativen Aufträgen zur Sicherstellung einer möglichst maximalen Kapazitätsauslastung und einer ausreichenden ganzjährigen Auftragslage ist auf der Seite des Auftragnehmers ein essentieller, jedoch auch sehr zeitintensiver Arbeitsschritt. Dieser wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt immer noch vorwiegend manuell durchgeführt. Nicht selten verbringen einzelne Mitarbeiter eines Unternehmens einen Großteil Ihrer Arbeitszeit damit, in Zeitungen, wie zum Beispiel dem „Staatsanzeiger“, oder im Internet nach möglicherweise lukrativen Angeboten zu suchen. Erschwerend kommt bei der gegenwärtigen Praxis hinzu, dass die Ausschreibungsunterlagen zur detaillierten Analyse und anschließenden Bearbeitung gegen Bezahlung einer Schutzgebühr angefordert werden müssen und häufig nur in dokumentenbasierter Form postalisch zugestellt werden. Hierdurch verstreicht wertvolle Zeit, die nicht zur eigentlichen Bearbeitung des Angebots genutzt werden kann. Dieser vom Suchprofil zwar für jedes Unternehmen individuell unterschiedliche, aber vom Ablauf her sehr ähnliche Prozess eignet sich in hohem Maße für eine Automatisierung (siehe Kapitel 4.2).

Ein weiterer, sehr zeit- und arbeitsintensiver Prozessschritt auf der Seite des Auftragnehmers ist die Angebotsbearbeitung. Hierbei ist zunächst anhand des vorhandenen Auslastungsgrades und der technischen sowie personellen Ausstattung beziehungsweise Fähigkeiten zu entscheiden, welche Arbeitsbereiche sinnvollerweise auf einen Nachunternehmer übertragen werden sollten. Des Weiteren werden die Preise für die einzelnen Leistungspositionen unter Berücksichtigung saisonaler Schwankungen, aktueller Rohstoff- bzw. Einkaufspreise und projektspezifischer Besonderheiten in das LV eingetragen. Darüber hinaus ist die Möglichkeit der Erstellung eines Nebenangebots aus den Ausschreibungsunterlagen zu identifizieren. Diese Arbeitsschritte im Bereich der Angebotsbearbeitung können zumindest in ihren wesentlichen Grundzügen von Softwareagenten vorbereitet bzw. durchgeführt werden (siehe Kapitel 4.3).

Das Einbeziehen von Nachunternehmern für die Angebotsbearbeitung und folglich für die Ausführung von Bauleistungen kann in der gegenwärtigen Baupraxis als Standard angesehen werden. Üblicherweise wird eine gewisse Anzahl von Nachunternehmern kontaktiert und zur Abgabe eines Angebots für den entsprechenden Teilbereich einer Ausschreibung aufgefordert. Die Vielzahl der eingehenden Angebote wird anschließend in ihrer Gesamtheit evaluiert und miteinander verglichen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Ermittlung eines Nachunternehmers mit einem möglichst wirtschaftlichen Angebot. In der Regel werden diese Angebote vor dem Einbinden in das Gesamtangebot noch mit dem Nachunternehmer preislich und ggf. leistungstechnisch verhandelt. Dieser Arbeits-

schritt ist prädestiniert für eine Automatisierung, da der Ablauf sehr geregelt verläuft und sich somit relativ leicht formalisieren lässt (siehe Kapitel 4.5).

Ein weitaus komplexerer Arbeitsschritt, der sich zumindest in seiner Vollständigkeit nur sehr schwierig automatisieren lässt, ist die Entscheidung zur Beteiligung an sowie das Formieren von Bietergemeinschaften. Hierbei sind neben der Auswahl der Partner und der reinen prozentualen Aufteilung der jeweiligen Projektzuständigkeiten auch unter den Teilnehmern der Bietergemeinschaft wichtige und sehr komplexe vertragsrechtlich relevante Verantwortlichkeiten und Gewährleistungszuständigkeiten auszuhandeln. Dieses erfordert sowohl fundierte Kenntnisse der rechtlichen Zusammenhänge, als die Durchführung und das Verständnis von projektspezifischen Analysen und Risikoabschätzungen. Ein Teilbereich in diesem Prozessschritt, der jedoch automatisiert werden könnte, liegt in der Vorbereitungsphase zur Schließung einer Bietergemeinschaft. Hierbei sind adäquate potenzielle Teilnehmer auszuwählen und zu evaluieren. Neben der faktisch bekannten fachlichen Qualifikation ist die Zuverlässigkeit ein wesentliches Entscheidungskriterium. Dieses ergibt sich bei bereits bekannten Unternehmen aus den Erfahrungen in der Zusammenarbeit früherer Projekte und bei unbekannten Unternehmen über ein objektives Bewertungsprofil, das für jedes abgeschlossene Projekt von den Beteiligten erstellt wird (siehe Kapitel 4.4).

Nach dem Submissionstermin ist es die Aufgabe des öffentlichen Auftraggebers, alle eingegangen Angebote zunächst auf Vollständigkeit und Formkonformität hin zu überprüfen. Anschließend muss aus den verbleibenden Angeboten das wirtschaftlichste herausgefiltert werden. Hierbei ist ein wesentlicher Entscheidungsfaktor natürlich zunächst der Preis, jedoch sind auch weitere Kriterien zu berücksichtigen. Durch eine Automatisierung dieses Prozessschrittes ist gerade bei umfangreichen Ausschreibungen ein deutlich detaillierterer Vergleich aller Angebote möglich, als dieses in der gegenwärtigen manuellen Form realisierbar wäre. Immer wieder auftretende, rechtswidrige Preisabsprachen können mit einer deutlich höheren Wahrscheinlichkeit aufgedeckt werden. Für diese Aufgabe wurde im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls ein Konzept für die Möglichkeit der Automatisierung und folglich zum Einsatz von Softwareagenten erarbeitet, das in Kapitel 4.6 vorgestellt wird.

Kapitel 3

Methoden der Künstlichen Intelligenz

3.1 Allgemeines

Künstliche Intelligenz (engl. Artificial Intelligence, AI) ist eine fachübergreifende wissenschaftliche Disziplin mit einem Schwerpunkt in der Informatik. Die Bestrebungen dieser Wissenschaft bestehen darin, menschliches intelligentes Verhalten im Computer zu simulieren. Unter intelligentem Verhalten versteht man hierbei unter anderem die Fähigkeit der Wahrnehmung, Informationsverarbeitung und daraus resultierender Schlussfolgerung sowie des Lernens und der damit verbundenen selbstständigen Erweiterung des Wissens [GORS03].

Die Künstliche Intelligenz (KI) umfasst ein weites Spektrum von Methoden und Prinzipien. Grundsätzlich können diese in zwei Hauptrichtungen unterteilt werden. Die eine Richtung wird als „Computerintelligenz“ (engl. Computational Intelligence, CI) bezeichnet. Hierzu zählen Methoden wie etwa Künstliche Neuronale Netze (KNN), Evolutionäre Algorithmen (EA) und Fuzzy Logik. KNN sind in Aufbau und Funktionsweise ihrem natürlichen Vorbild, dem menschlichen Gehirn, nachgebildet. Sie sind durch ihre Lernfähigkeit besonders für sich häufig wiederholende komplexe Problemstellungen einsetzbar. Evolutionäre Algorithmen aus der Gruppe der heuristischen Suchverfahren werden unter anderem zur Lösung komplexer Optimierungsprobleme eingesetzt. Durch Nachahmen der natürlichen Evolution wird die Findung globaler Maxima in großen und komplexen Suchräumen ohne explizite Zielfunktionen beschleunigt. Methoden der Fuzzy Logik ermöglichen die Verarbeitung unscharfer Informationen, wie sie gerade im Bereich der Tragwerksplanung auftreten.

Die andere Hauptrichtung der KI kann als die Klassische Künstliche Intelligenz bezeichnet werden. Einen Schwerpunkt dieser Richtung stellen die im Rahmen dieser Ar-

beit relevanten Wissensbasierten Systeme dar. Sie umfassen Formalismen für die Repräsentation von Wissen sowie Inferenzmechanismen für den, auf diesem Wissen basierenden Schlussfolgerungsprozess in konkreten Situationen. Auf diesen Aspekt wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit näher eingegangen.
Darüber hinaus fällt in den Bereich der KI das Prinzip der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI). Dieses ermöglicht die Lösung komplexer Aufgaben durch Kooperation von intelligenten, autonom agierenden Systemen, so genannten Software-Agenten. Hierbei zeigt sich ein Phänomen, bei dem sich eine gewisse Anzahl von recht einfachen und wenig intelligenten Systemeinheiten mit Hilfe von Kommunikation und Kooperation zu einer kollektiven Intelligenz zusammensetzen. Durch dieses Zusammenwirken einer gewissen Anzahl an Einzelelementen können neue Strukturen oder Eigenschaften bzw. Verhaltensweisen der Agenten entstehen. Dieser Effekt wird als Emergenz bezeichnet. Ein klassisches Beispiel für solch ein VKI-System aus der Natur ist der Ameisenstaat.

3.2 Regelbasierte Systeme

Im Bereich der wissensbasierten Systeme existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Arten der Wissensrepräsentation. Aufgrund dessen unterscheidet man beispielsweise in Regelbasierte, Logikbasierte, Fallbasierte oder Objektorientierte Systeme. Im Folgenden werden zwei dieser Typen näher betrachtet – die Regelbasierten und die Fallbasierten Systeme.
Regelbasierte Systeme bestehen zum einen, wie aus dem Namen bereits hervorgeht, aus einer im Prinzip beliebig großen Anzahl an Regeln. Diese lassen sich gewöhnlich als formalisierte Konditionalsätze in folgender Form darstellen:

Wenn Bedingung A erfüllt ist, **dann** folgt daraus, dass auch B wahr ist. (If A then B.)

Der „Wenn-Bereich“ der Regel wird dabei als Prämisse oder auch left hand side (LHS) und der „Dann-Bereich“ als Konklusion oder auch right hand side (RHS) bezeichnet. Neben den Regeln besteht die Wissensbasis aus Fakten. Dabei handelt es sich um Elemente, die im Allgemeinen durch eine endliche Menge an diskreten Werten beschrieben werden können. Die Zusammenhänge zwischen den Elementen werden hierbei durch die Regeln präsentiert. Beide Bestandteile, Regeln und Elemente, bilden das abstrakte Wissen bzw. die Wissensbasis des Regelbasierten Systems.

Für die Anwendung des abstrakten Wissens auf eine neue Aufgabe bedarf es sowohl einer Aufgabenbeschreibung, die auch als konkretes oder fallspezifisches Wissen bezeichnet werden kann, als auch eines Inferenzmechanismus. Dieser kann je nach Anwendungsfall entweder datengetrieben (vorwärtsverkettet) oder aber zielorientiert (rückwärtsverkettet) eingesetzt werden. Im ersten Fall wird das fallspezifische Wissen als Ausgangspunkt für den Schlussfolgerungsprozess angesehen. Mit Hilfe der Regeln wird von erfüllten Prämissen auf die Wahrheit der jeweiligen Konklusionen der Regeln geschlossen. Die somit deduzierten Fakten werden wiederum als Ausgangspunkt für den weiteren Inferenzprozess verwendet. Bei zielorientiertem Vorgehen hingegen ist der Startpunkt ein bestimmter Ergebniszustand im Schlussfolgerungsprozess. Daher werden Regeln gesucht, die in ihrer Konklusion diesen Ergebniszustand enthalten. Über die entsprechenden Prämissen gelangt man zu einem früheren Zustand im Schlussfolgerungsprozess. Sehr anschaulich ist hierbei die Verwendung einer Baumstruktur, um das Regelnetzwerk graphisch darzustellen, siehe Abbildung 1, wobei der Kreisbogen zwischen Bedingung A und B eine konjunktive Verknüpfung darstellt.

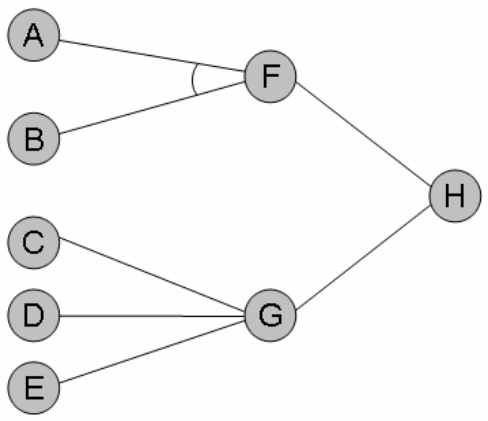


Abbildung 1: Darstellung eines Regelnetzwerks in Baumstruktur

Ein Maß für die Qualität der Regelbasis ist für einen Benutzer sowohl deren Konsistenz als auch deren Transparenz. Im Hinblick auf die Transparenz kommt der Kompaktheit der Regelbasis eine besondere Bedeutung zu. Eine Möglichkeit, die gerade beim nicht automatisierten Aufstellen von Regeln eine recht einfache Kontrolle von Konsistenz und Transparenz verspricht, wird von Beierle und Kern-Isberner [BEKE03] vertreten. Für den Einsatz eines regelbasierten Systems ist es demnach von Vorteil, möglichst einfach gehaltene und in ihrer Syntax klar strukturierte Regeln zu verwenden, um Widersprüchlichkeiten für die Konklusionen bei der Anwendung der Regeln auf konkrete

Situationen zu vermeiden. Hierbei bietet es sich an, beim Aufstellen der Regeln die folgenden beiden Bedingungen zu beachten:

- Die Verknüpfung V (oder) sollte nicht in der Prämisse stehen,
- Die Konklusion einer Regel sollte nur aus einer atomaren Aussage mit entweder positivem oder negativem Wert bestehen.

Regelbasierte Systeme arbeiten sehr gut in Domänen, für die umfangreiches Erfahrungswissen vorliegt. Die Interpolationsfähigkeit in weniger gut erkundeten Bereichen der Domäne, sowie die Extrapolationsfähigkeit sind hierbei jedoch stark begrenzt.

3.3 Fallbasiertes Schließen

Nicht immer ist es möglich, menschliches Wissen mit Hilfe von Regeln vollständig zu erfassen und somit zu formalisieren. Neben dem formalisierbaren Wissen gibt es einen weiteren, nicht weniger wichtigen Bereich für die Akkumulation und Darstellung von Wissen, der als Erfahrungswissen bezeichnet werden kann. Hierunter versteht man Wissen, das gewöhnlich mit konkreten Anwendungsfällen verknüpft ist. Ein Beispiel hierfür aus dem Bereich der Angebotsbearbeitung ist etwa die Erstellung eines Nebenangebots, für das auf die Erfahrung aus ähnlichen Projekten zurückgegriffen wird. Für den Bereich der Aufbereitung und Anwendung des Erfahrungswissens hat sich eine weitere Methode wissensbasierter Systeme entwickelt – das fallbasierte Schließen (engl. Case-Based Reasoning, CBR).
Der Grundgedanke des CBR ist, dass ähnliche Fälle in aller Regel ähnliche Lösungen besitzen, wobei ein Fall in erster Näherung als eine in irgendeiner Form vorliegende Erfahrung beim Lösen eines früheren Problems angesehen werden kann. Ein konkreter Fall besteht immer mindestens aus der Beschreibung eines Problems und der hierzu angewandten Lösung. Des Weiteren ist es sinnvoll, mit dem Fall in der Fallbasis auch Angaben zur Qualität der jeweils verwendeten Lösung zu verknüpfen. Darüber hinaus können weitere Erfahrungen, die beim Lösen des Problems gemacht wurden oder Rechtfertigungen, warum gerade diese Lösung für den vorliegenden Fall angewendet wurde, den Fall komplettieren. Die einzelnen Fälle werden in einer Fallbasis gespeichert und vergrößern mit jedem neu abgelegten Fall das Erfahrungswissen, auf das zurückgegriffen werden kann. Im Allgemeinen erscheint es als systematische Vorgehensweise, nur die zu einer Lösung führenden Fälle in die Fallbasis aufzunehmen. Jedoch gibt es auch andere Ansätze, nach denen Informationen aus nicht zu einer Lösung führenden

Fällen ebenfalls gespeichert werden. Dadurch kann auf der Suche nach einer geeigneten Lösung im Vorfeld durch Ausschlussverfahren die Anzahl an möglichen Lösungswegen reduziert werden.
Für den grundsätzlichen Prozessablauf des Fallbasierten Schließens wurde von Aamont und Plaza [AAPL94] ein 4R-Zyklus entworfen, der aus vier Phasen besteht, die aus dem Englischen abgeleitet jeweils mit dem Buchstaben R beginnen (siehe Abbildung 2):

Retrieve – Reuse – Revise – Retain

Retrieve

In einer ersten Phase wird versucht, für ein konkretes neues Problem aus der Fallbasis einen ähnlichen, oder eine Menge n ähnlicher Fälle aufzufinden. Hierbei ist der Ähnlichkeitsbegriff zwischen den Problembeschreibungen von zentraler Bedeutung. Bei zweiwertigen Merkmalen, wie etwa ja-nein oder wahr-falsch ist die Bestimmung der Ähnlichkeit noch recht einfach – bei Übereinstimmung 100 % andernfalls 0 %. Bei nicht binären Merkmalen wie etwa Längen- bzw. Preisangaben, unterschiedlichen Merkmalen von Produkten oder sogar unterschiedlichen Eigenschaften von Personen ist die Bestimmung der Ähnlichkeit deutlich schwieriger. Je nach Anwendungsgebiet und zu beurteilenden Parametern sind hier adäquate Mechanismen zur quantitativen oder auch qualitativen Ähnlichkeitsbestimmung festzulegen.

Reuse

Im Idealfall kann die in einem ähnlichen Fall angewandte Lösung unmittelbar auf den neuen Fall übertragen und folglich wieder verwendet werden. Dieses stellt jedoch eher einen Ausnahmefall dar. Die weitaus häufigere Variante besteht darin, aus der Menge n der gefundenen ähnlichen Fälle durch Adaption an die Problemstellung des neuen Falls eine geeignete Lösung bzw. einen geeigneten Lösungsvorschlag zu kreieren. Je nach Ähnlichkeitsgrad der Fälle aus der Fallbasis zum aktuell zu untersuchenden Fall und je nach Komplexität des Problems kann diese Phase sehr aufwendig sein und ggf. den Einsatz weiterer Methoden, wie etwa regelbasiertes Schließen oder auch Benutzerinteraktion erfordern.

Revise

Nachdem ein Lösungsvorschlag unterbreitet und ggf. auch auf das neue Problem angewendet worden ist, muss überprüft werden, wie gut der Lösungsvorschlag war. Hierbei gibt es je nach Domäne der Anwendung unterschiedliche Beurteilungsmöglichkeiten.

Beispielsweise kann bei der Behebung eines Konfigurationsfehlers in einem Netzwerk der Vorschlag leicht daran beurteilt werden, ob der Fehler mit dem Lösungsvorschlag behoben wurde. In jedem Fall ist jedoch ein Feedback zum System erforderlich.

Retain

In der letzten Phase des Zyklus nach Aamont und Plaza [AAPL94] wird darüber entschieden, ob und in welcher Form der Fall einschließlich der letztendlich angewandten Lösung in die Fallbasis aufgenommen wird, mit dem Ziel, einen stetigen Zuwachs an Erfahrungswissen zu erzielen.

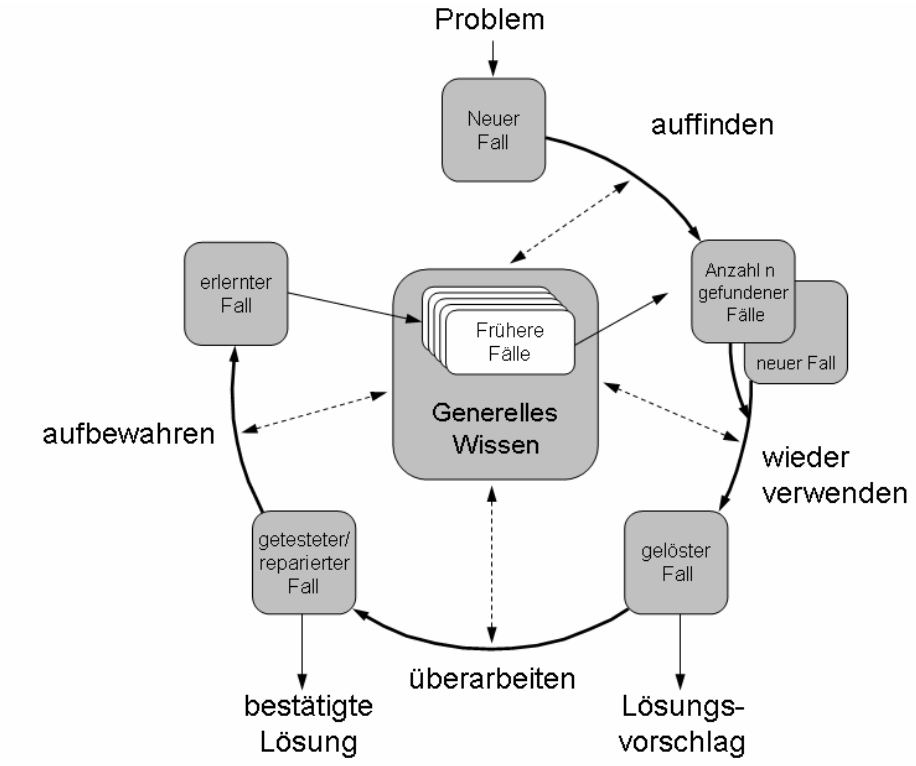


Abbildung 2: 4R - Zyklus des Fallbasierten Schließens

Weiterführende Ansätze gehen von einem erweiterten Modell, dem 6-Phasen-Modell aus [ROIG01]. Hierbei werden die Phasen in zwei Hauptgruppen eingeteilt. Die erste Gruppe ist die Anwendungsphase (Application Phase), die aus den bereits im 4-Phasen-Modell eingesetzten Prozessschritten Retrieve, Reuse und Revise besteht. Die zweite Gruppe ist die Instandhaltungsphase der Fallbasis (Maintenance Phase), die neben der Phase Retain aus dem 4-Phasen-Modell noch die Phasen Restore und Review beinhaltet. Darüber hinaus werden in diesem 6-Phasen-Modell sowohl die Phase Review in

Measure und Monitor, als auch die Phase Restore in Select und Modify weiter untergliedert. Durch dieses erweiterte 4-Phasen-Modell sollen für einen der wesentlichen Schritte des Fallbasierten Schließens – die Aufrechterhaltung und Anwendbarkeit der Fallbasis und hierbei insbesondere die Entscheidung über die Aufnahme neuer Fälle – die erforderlichen Prozessschritte und Werkzeuge bereitgestellt werden.

Die Vorteile des CBR liegen in der Vermeidung eines hohen Aufwandes zur Wissensakquisition, da das Fallwissen recht einfach zu erwerben ist, bzw. oftmals sogar schon vorliegt. Darüber hinaus ist die Wartung einer Fallbasis recht einfach, da die Fälle voneinander unabhängig und auch für Laien leicht zu verstehen sind. Die Anpassung der Fallbasis an geänderte Rahmenbedingungen kann durch gezieltes Hinzufügen, Modifizieren oder Löschen von Fällen erreicht werden.

Ein dediziertes Anwendungsgebiet für CBR sind komplexe Domänen, für die das zur Lösung erforderliche Wissen nicht oder nur unvollständig mit Regeln abgebildet werden kann. Dieses kann für die Fälle der Fallbasis ebenso gelten, wie für die Problembeschreibung eines neuen Falls.

3.4 Ontologie

Die Formulierung und Verwendung einer Ontologie ermöglicht es, das Wissen innerhalb eines Fachgebiets von den Prozessabläufen zu trennen. Somit kann das Wissen abgekoppelt von den Prozessen analysiert, erweitert und verarbeitet werden. Intelligente Softwareagenten kommunizieren über ihr Wissen. Folglich muss dieses vollständig in der Ontologie repräsentiert sein.
Im Rahmen dieser Arbeit kommunizieren Softwareagenten in der FIPA ACL. Die einzelnen Kommunikationselemente entsprechen hierbei Sprachkonstrukten, die in einer einheitlichen, exakt vorgegebenen Form aufgebaut sind. Dem Kommunikationspartner werden außer dem Inhalt der Nachricht auch Informationen über Sender, Empfänger, verwendete Sprache und Ontologie sowie die Intention der Kommunikation, beispielsweise Information, Anfrage oder Aufforderung, mitgeteilt. Neben der fest vorgegebenen Form der Sprachelemente, ist auch der Inhalt der Nachrichten mehr oder weniger stark eingeschränkt. Agenten können lediglich Wörter oder Sätze verstehen und verwenden, die genau so in der Ontologie hinsichtlich ihrer Bedeutung festgelegt bzw. formalisiert wurden. Vergleichbar ist dieses mit der menschlichen Sprache. Sinnvolle Kommunikation ist nur dann möglich, wenn die teilnehmenden Personen mit gleichen Begriffen

gleiche Bedeutungen assoziieren. Die Definition der Sprache der Agenten geschieht in der Ontologie, die auf Grund der Komplexität und des Umfangs sprachlicher Möglichkeiten meist auf ein sehr spezielles Gebiet, eine Domäne, begrenzt ist. Im Bereich der öffentlichen Ausschreibungen von Bauleistungen bieten sich als Ontologie die Textbausteine aus den Standardleistungstextbüchern an. Jedoch wird bei der Erstellung von Leistungsverzeichnissen in realen Ausschreibungen nicht selten von diesen Standardleistungstexten abgewichen. Stattdessen werden so genannten Freitexten, also eigene Leistungsbeschreibungen eingesetzt. Hierfür sind die Bausteine der Standardleistungstexte auf Grund ihrer fest vorgegebenen Form wenig hilfreich. Daraus resultiert der generelle Wunsch nach Verallgemeinerung der eingesetzten Ontologie beziehungsweise der Ontologiebausteine, um die Kombination der möglichen Sprachkonstrukte deutlich zu erhöhen.

3.5 Semantische Netze

Einen möglichen Lösungsansatz für dieses in Kapitel 3.4 beschriebene Defizit der sprachlichen Möglichkeiten, der im Rahmen dieser Arbeit nicht näher berücksichtigt wird, stellen semantische Netze dar. Diese entstanden im Bereich der künstlichen Intelligenz, mit dem ursprünglichen Ziel, natürliche Sprache mittels Computern zu verstehen und zu verarbeiten.

Bei semantischen Netzen handelt es sich um Modelle von begrifflichen Einheiten und den zwischen ihnen bestehenden einfachen Relationen. Dargestellt werden semantische Netze häufig in Form verallgemeinerter Graphen. Hierbei stellen die Knoten die einzelnen Begriffe und die Verbindungslinien die Relationen zwischen den Begriffen dar. In Abbildung 3 wird ein Ausschnitt aus einem solchen möglichen Semantischen Netz beispielhaft für eine Mauerwerkswand aufgezeigt.

Durch die Erstellung und Verwendung semantischer Netze für die Begrifflichkeiten des Bauingenieurwesens, insbesondere der für Ausschreibungen notwendigen Terminologie, wird Softwareagenten die Fähigkeit gegeben, neben den Standardleistungstexten auch frei formulierte Texte zu verstehen und im Rahmen beispielsweise einer Angebotserstellung zu verarbeiten. Darüber hinaus kann der Softwareagent fehlerhafte beziehungsweise unvollständige Angaben in einem Ausschreibungstext erkennen, da er mittels semantischer Netze in der Lage ist, die Komponenten einzelner Leistungspositionen und deren Relationen zueinander zu erfassen.

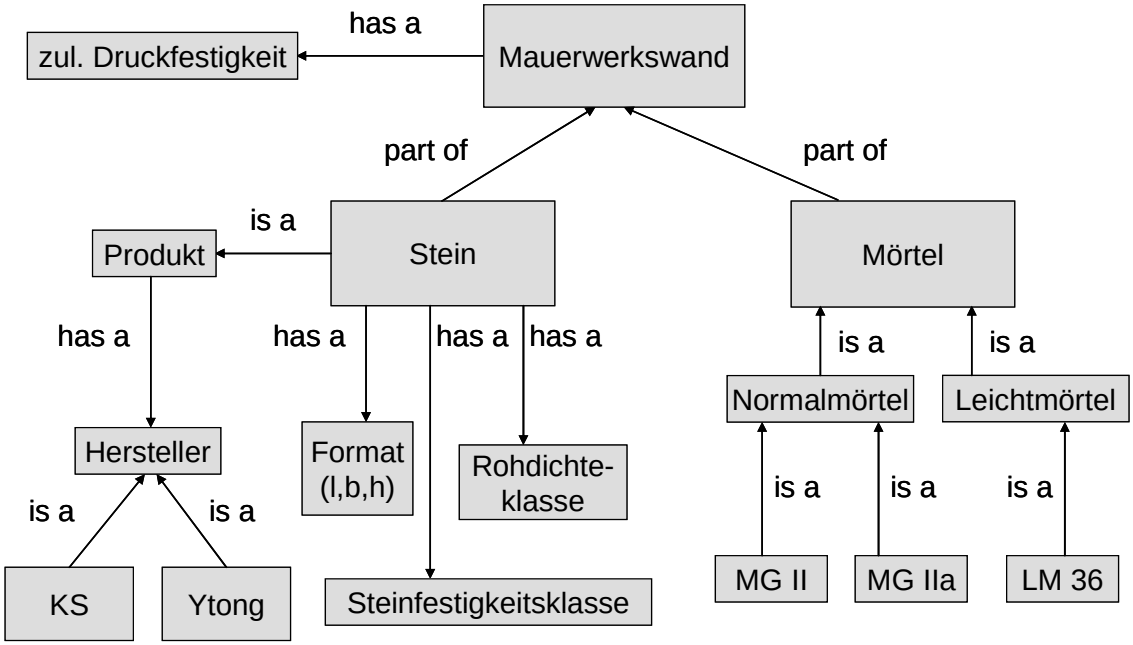


Abbildung 3: Ausschnitt eines semantischen Netzes

Kapitel 4

Modelle zum Einsatz von KI in den Prozessen der öffentlichen Vergabe

4.1 Allgemeines

In Kapitel 2.3 wurden Möglichkeiten für den sinnvollen Einsatz fortschrittlicher Softwareagenten in verschiedenen Prozessschritten der öffentlichen Ausschreibung aufgezeigt. Die Grundlagen für die Fortschrittlichkeit der Agenten wurden mit ausgewählten Methoden der Künstlichen Intelligenz in Kapitel 3 vorgestellt. In diesem Kapitel werden nun darauf aufbauend Modelle und Konzepte für den Einsatz von KI in unterschiedlichen Prozessen der öffentlichen Ausschreibung entwickelt. Dabei wurde darauf geachtet, die Modelle möglichst allgemeingültig zu konzipieren, um eine Übertragung auf unterschiedliche Einsatzgebiete sicherzustellen. Darüber hinaus lag die Zielsetzung in der Optimierung und insbesondere in der Automatisierung dieser einzelnen zeitaufwendigen und arbeitsintensiven Teilschritte, so dass diese auf intelligente Software-Agenten übertragen werden können. Im Rahmen dieser Arbeit werden vier Teilbereiche in chronologischer Reihenfolge ihres Auftretens bei öffentlichen Ausschreibungen vorgestellt.

4.2 Suche nach lukrativen Ausschreibungen

Der Einstieg eines Auftragnehmers als potenzieller Bieter in den Prozess der öffentlichen Ausschreibung beginnt mit der Suche nach für ihn lukrativen Ausschreibungen. Hierbei ist es erstrebenswert, möglichst alle vorhandenen Ausschreibungen zu betrachten und aus der Gesamtmenge diejenigen zu identifizieren, die für das eigene Unternehmen als am besten geeignet erscheinen. Jedoch ist dieses Vorgehen mit den Mitteln der gegenwärtigen, oftmals ausschließlich dokumentenbasierten Praxis nur mit unge-

rechtfertigt hohem Aufwand zu erreichen. Die Folge ist, dass in vielen Fällen Bieter aus Zeitmangel nur solange in den entsprechenden Medien suchen, bis sie eine für das Unternehmen mehr oder weniger adäquate Ausschreibung gefunden haben, mit dem Risiko, womöglich lukrativere Aufträge zu übersehen. Für diesen Arbeitsschritt bieten sich intelligente Softwareagenten an, die kontinuierlich nicht nur alle bereits laufenden Ausschreibungen, sondern auch die neu erscheinenden Projekte mit Hilfe der Zielvorstellungen aus den eigenen Profildaten analysieren und somit über eine mögliche Teilnahme an der Ausschreibung befinden.

4.2.1 Vorrausetzungen für die Automatisierung einer Suche

Die wichtigste Voraussetzung für eine agentenbasierte Ausschreibungssuche ist die generelle Existenz aller ausschreibungsrelevanten Dokumente in digitaler Form. Dieses ermöglicht eine Übertragung und Verteilung der entsprechenden Ausschreibungsunterlagen in elektronische Netzwerke, z.B. das Internet. Wie in Kapitel 1.2 dargestellt, wurde diese Variante der Ausschreibung gegenwärtig bereits vereinzelt auf Bundes- bzw. auf Landesebene durch die Einführung virtueller Marktplätze realisiert. Essentielle Voraussetzung für das Einbeziehen aller Ausschreibungen in die Auswahl geeigneter Projekte ist sicherlich in naher Zukunft die Festlegung und Verwendung eines einheitlichen, marktplatzübergreifenden Standards. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass digital ausgeschriebene Projekte weitere, über den üblichen Rahmen der Veröffentlichung von Ausschreibungen in Papierform hinausgehende Projektinformationen in einer einheitlich strukturierten und somit von allen beteiligten Agenten erfassbaren Form beinhalten. Diese werden für die Beurteilung der Lukrativität und somit zur Entscheidung für die Teilnahme an der jeweiligen Ausschreibung herangezogen. Im Einzelnen sind dies:

- Größenordnung des Projekts (BGF, umbauter Raum),
- Standort des Projekts,
- Zeitraum der Ausführung,
- Dreidimensionales, digitales Gebäudemodell,
- Leistungsverzeichnis in digitaler Form (zumindest wichtige Eckdaten),
- Rahmenbedingungen des Vertrags (Vertragserfüllungsbürgschaften, etc.).

Der Vorteil, dass Softwareagenten diese umfangreichen Projektdaten bereits im Vorfeld der Ausschreibung auswerten können, liegt im Vergleich zur gegenwärtigen Praxis in

der Vermeidung unnötigen Datentransfers. Ausschreibungsunterlagen werden demnach erst auf die Arbeitsumgebung des Agenten geladen, wenn nach einer Auswertung der relevanten Projektdaten seitens des Agenten eine Entscheidung für die Teilnahme an der Ausschreibung getroffen wird.

4.2.2 Profilierung eines Agenten

Die bereits bestehenden virtuellen Marktplätze bieten den Benutzern die Möglichkeit, darin integrierten Suchmaschinen eine gewisse Anzahl an einschließlichen sowie ausschließlichen Parametern vorzugeben. Je nach Fortschrittlichkeit dieser Search Engines wird dem Benutzer eine nach beliebigem Parameter sortierte Liste mit Suchergebnissen ausgegeben, die zu einem Mindestmaß die vorgegebenen Suchkriterien erfüllen. Die tatsächliche Auswahl eines geeigneten Projekts bleibt jedoch auch hier dem Benutzer überlassen, was je nach Anzahl der Suchtreffer sehr aufwendig sein kann. Um diesen immer noch recht aufwendigen und wenig automatisierten Prozess generell zu optimieren, wird einem Softwareagenten bei dessen Initiierung ein Identitätsprofil implementiert, das wesentliche Merkmale seines Unternehmens enthält und aus dem bereits grundlegende Suchkriterien abgeleitet werden können. Damit ist der Agent im Prinzip generisch einsetzbar und nicht auf die spezifischen Charakteristika eines einzigen Auftragnehmers begrenzt. Das verwendete Identitätsprofil eines Suchagenten enthält entsprechend des jeweiligen Unternehmens folgende Informationen:

Auftretensform:	Generalunternehmer, Nachunternehmer, Bietergemeinschaft,
Hauptdomäne:	Hochbau, Tiefbau, Ingenieurbau,
Subdomäne:	Massivbau, Stahlbau, Glasbau, Holzbau, Wasserbau, usw.,
Spezialdomäne:	Spannbeton, Fertigteile, Faserbeton,
Wirkungsgebiet:	regional, bundesweit, Umkreis X vom Unternehmenssitz, PLZ-Bereich,
Unternehmensgröße:	Anzahl der Arbeiter/Kolonnen,
Vertragserfüllungs-bürgschaft:	maximales Kontingent.

Hierbei ist für die einzelnen Kriterien natürlich auch eine Berücksichtigung mehrerer Angaben möglich. Neben diesen allgemeinen Basisdaten, die möglicherweise zu einer zu hohen Trefferanzahl an Suchergebnissen führen können, sind für die Identifikation geeigneter Projekte weitere unternehmensspezifische Informationen erforderlich, auf die

der Softwareagent jederzeit Zugriff hat. In diesem Zusammenhang ist zunächst ein Auslastungsprofil des eigenen Unternehmens zu nennen, das kontinuierlich auf dem neuesten Stand zu halten ist. Daraus geht hervor, wann welche Unternehmenskapazitäten zu welchem Grad durch bereits akquirierte Projekte gebunden sind. Aus dieser Information ermittelt der Suchagent wiederum, für welche Ausführungszeiträume vorrangig Ausschreibungen zu suchen sind, um ein möglichst ganzjährig konstant verteiltes Auftragsvolumen zu erzielen. Darüber hinaus ist dieses Auslastungsprofil auch für die Angebotsbearbeitung erforderlich, um zu entscheiden, für welche Teilbereiche des Leistungsverzeichnisses vorsorglich wegen möglicher Kapazitätsengpässe vor der Angebotsabgabe Nebenangebote einzuholen sind. Das Auslastungsprofil hat die folgende tabellarische Form, wobei das Wochenraster nach Bedarf auch zu einem Tagesraster verfeinert werden kann (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Ausschnitt aus dem prozentualen Auslastungsprofil eines Unternehmens

KW	...	20	21	22	23	24	25	...
Projekt 1	...	20	17	0	7	0	3	...
Projekt 2	...	13	20	17	7	10	7	...
Projekt 3	...	17	20	20	20	20	13	...
Projekt 4	...	7	10	3	10	13	0	...
Summe	**...**	**57**	**67**	**40**	**44**	**43**	**23**	**...**

Als weitere Information sind dem Agenten unternehmensinterne Daten bereitzustellen, die der Auswahl potenzieller Ausschreibungsprojekte entgegenstehen. Beispielhaft sei hier ein nur begrenzt vorhandenes finanzielles Budget für die zu hinterlegenden Vertragserfüllungsbürgschaften erwähnt.

Diese Informationen, die dem Softwareagenten im Vorfeld der Suche bereitgestellt werden, bilden das Wissen des Suchagenten. Dieses kann auch als deklaratives Wissen bezeichnet werden, da es den aktuellen Zustand des Unternehmens, sozusagen die Ausgangsbasis für die Suche nach geeigneten Ausschreibungen beschreibt.

4.2.3 Erstellung von Regeln zur Ausschreibungssuche

Mit Hilfe der Informationen aus dem bereitgestellten Wissen erstellt der Softwareagent Regeln für die Suche nach geeigneten Ausschreibungen. Dabei handelt es sich zunächst um relativ einfach abzuleitende Regeln, wie etwa:

- Wenn als *Hauptdomäne* ***Hochbau*** ausgewählt ist, dann suche ausschließlich nach Ausschreibungen im Bereich des Hochbaus.
- Wenn als *Wirkungsgebiet* das ***Rhein-Main-Gebiet*** gewählt wurde, dann suche nach Ausschreibungen im PLZ-Gebiet 6.

Neben diesen gibt es auch Regeln, die nicht unmittelbar aus den Angaben im Identitätsprofil des Agenten abgeleitet werden können. Hierzu ist für den Agenten weiteres Wissen erforderlich. Beispielsweise sind hier die Angaben aus dem möglichen Auftreten des Unternehmens im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung zu nennen:

- Wenn als *Auftretensform* ***Generalunternehmer*** vorgegeben wurde, dann suche nach Ausschreibungen, bei denen vom eigenen Unternehmen ein Mindestanteil X der Leistungen des Leistungsverzeichnisses selbst ausgeführt werden kann.

Als nächster vorbereitender Schritt vor der eigentlichen Suche nach lukrativen Ausschreibungen werden diese in der einfachen Form mit jeweils einer Prämisse und einer Konklusion erstellten Regeln in logischer Form miteinander kombiniert. Hierbei wird die Mehrfachauswahl innerhalb eines Parameters mit einer Oder-Verknüpfung berücksichtigt, während die einzelnen Parameter mit einer Und-Verknüpfung aneinandergekettet werden. Ein einfaches Beispiel hierfür ist:

Wenn die gefundene Ausschreibung:

	aus der	Hauptdomäne:	*Hochbau*
und	aus der	Subdomäne:	*Stahlbau* **oder** *Glasbau*
und	aus dem	Wirkungsgebiet:	*Stadt Essen + Umkreis 50 km*

hervorgeht, dann sind die Ausschreibungsunterlagen auf die Arbeitsumgebung des Agenten zu laden und ein Angebot zu erstellen.

Darüber hinaus können dem Suchagenten auch vom Initiator weitere Regeln mit inklusiven oder exklusiven Suchkriterien explizit vorgegeben werden. Diese könnten beispielsweise sein:

- Wenn Ausschreibung aus Bereich *Ingenieurbau* **und** *Brückenbau* **und nicht** *Schrägkabelbrücke*, dann erstelle ein Angebot.

Mit Hilfe der so entstandenen Regeln durchsucht der Agent die bestehenden Ausschreibungsplattformen, und filtert aus allen verfügbaren Ausschreibungen diejenigen heraus, die für das Unternehmen am lukrativsten erscheinen. Im Idealfall findet der Agent eine überschaubare Anzahl an Ausschreibungen, die exakt seinen Zielvorstellungen entsprechen.
In der Realität ist es jedoch eher wahrscheinlich, dass der Suchagent beispielsweise keine oder nur wenige Ausschreibungen findet, für die alle Regeln feuern. In diesem Fall weitet der Agent selbstständig seine Suchkriterien aus, ohne jedoch sein ursprüngliches Profil endgültig zu verwerfen. Er wird beispielsweise das Einzugsgebiet für die Suche nach Ausschreibungen sukzessive vergrößern oder das maximale Kontingent für die Vertragserfüllungsbürgschaft erhöhen. Außerdem besteht die Möglichkeit, die Bandbreite der Angebotsgröße nach unten bzw. oben zu erweitern oder auch das Auslastungsprofil des Unternehmens bei der Ausschreibungssuche etwas weniger stark zu berücksichtigen und stärker auf die Einbeziehung von Nachunternehmern auszuweichen. Ausschließliche Suchkriterien bleiben von diesen Veränderungen jedoch sinnvollerweise unberücksichtigt.
Die andere ebenfalls realistische Variante ist eine zu große Anzahl von Suchergebnissen, wie es häufig auch bei der manuellen Suche mit Hilfe von wenig fortschrittlichen Suchmaschinen im Internet der Fall ist. Dieses lässt darauf schließen, dass die dem Agenten zur Verfügung stehenden Regeln zu allgemein gefasst sind. Dementsprechend werden seitens des Agenten die Suchkriterien sukzessive eingeengt, beispielsweise, indem er das mögliche Gebiet für die Ausführung verkleinert. Eine andere bzw. je nach Erfolg der ersten Maßnahme zusätzliche Vorgehensweise zur Reduzierung der Suchergebnisflut ist das Einbeziehen weiterer Regeln. Dieses geschieht in Interaktion mit dem Initiator. Vom Agenten werden generell alle verwendeten Regeln und Regelkombinationen in einer tabellarischen Übersicht zusammengestellt. Damit hat der Initiator die Möglichkeit, gezielt neue Regeln hinzuzufügen bzw. vorhandene Regeln zu modifizieren oder sogar zu löschen. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass der Initiator seinem Agenten neue Regeln explizit mitteilt, die der Agent übernimmt und für den weiteren

Verlauf der Suche nach lukrativen Ausschreibungen berücksichtigt. Die Gesamtheit der Suchregeln kann hierbei als prozedurales Wissen bezeichnet werden, da hiermit die Vorgehensweise für die erfolgreiche Suche und damit das Erreichen des Ziels eines Suchagenten beschrieben wird.
Ein wesentlicher Garant für die Identifikation adäquater Ausschreibungen ist darüber hinaus die Sicherstellung der kontinuierlichen Aktualisierung aller Ausgangsdaten, sowohl des Agentenidentitätsprofils, des Auslastungsprofils sowie der Zusatzregeln. Zusätzlich ist es erforderlich, dass der Agent vom Initiator ein Feedback zu seinen Suchergebnissen erhält. Gerade für den Fall, dass sein Vorschlag vom Initiator verworfen wird, muss der Agent den Grund dafür „verstehen“ können, was ggf. mit Hilfe einer Interaktion zwischen Agent und Initiator geschieht. Ist der Grund für die Ablehnung des Vorschlags ein genereller, so wird dieser in der Erstellung einer weiteren Regel oder in der Modifikation einer bestehenden Regel resultieren.
Durch das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren zur Übertragung der Suche nach lukrativen Ausschreibungen auf einen Agenten werden zwei wesentliche Anforderungen an einen generischen Agenten gelöst. Zum einen ist ein solcher Suchagent durch das individuell konfigurierbare Identitätsprofil im Prinzip für jedes Unternehmen einsetzbar, das im Bereich der öffentlichen Ausschreibung von Bauleistungen nach lukrativen Aufträgen sucht. Zum Zweiten ist der Suchagent durch die beschriebene Lernfähigkeit sowie durch das Interaktionsvermögen in der Lage sich an dynamische Veränderungen im Anforderungsprofil seines Bauunternehmens anzupassen und somit zu jeder Zeit aus den vorhandenen Ausschreibungen diejenigen herauszufiltern, die am lukrativsten für das eigene Unternehmen erscheinen.

4.3 Erkennen von möglichen Nebenangeboten

Nebenangebote sind Abänderungen des gesamten oder eines wesentlichen Teils des vom öffentlichen Auftraggeber in den Vergabeunterlagen vorgegebenen Leistungsinhalts. Im Bereich der Bauvergabe kommt dieser Gestaltungsmöglichkeit bei der Angebotsabgabe eine große Praxisbedeutung zu. Bietern dient dieses Instrument insbesondere zur Verbesserung ihrer Wettbewerbschancen, da individuelle Kenntnisse und Kompetenzen in die Angebotserstellung einfließen können. Hierdurch wird ein positives Abheben von konkurrierenden Wettbewerbern ermöglicht. Die Umsetzung dieser Option wurde daher auch im Rahmen der Entwicklung des umfassenden agentenbasierten virtuellen Marktplatzes berücksichtigt.

Vorgehen:
Der Bieter wird zunächst die Ausschreibungsunterlagen, insbesondere die Planzeichnungen, ausführlich analysieren, um eine möglichst umfassende Vorstellung von dem auszuführenden Projekt zu erhalten. Anschließend überprüft der Bieter mit Hilfe seines Fachwissens und seiner beruflichen Erfahrung, ob Möglichkeiten bestehen, das Projekt zu einem günstigeren Gesamtpreis, in einer kürzeren Bauzeit oder mit anderen Vorteilen für den Auftraggeber, wie beispielsweise unter ökologischen Aspekten, zu realisieren. Die möglichen Modifikationen des ausgeschriebenen Projekts beziehen sich hierbei im Wesentlichen auf den Einsatz von anderen als den ursprünglich im LV vorgesehenen Baustoffen, auf eine abgeänderte Konstruktion oder auch auf einen geänderten Bauablauf. Diese Abänderungen vom ausgeschriebenen Projekt resultieren in einem modifizierten Leistungsverzeichnis, das zusammen mit dem ursprünglichen LV subsumiert wird.

Dieses Vorgehen zur Identifikation und Erstellung eines Nebenangebots ist für Bieter sehr zeit- und arbeitsintensiv und wird folglich aus terminlichen Gründen nicht immer in seiner ganzen Möglichkeit ausgeschöpft. Mit einer automatisierten Identifikation möglicher Nebenangebote könnte eine wesentliche Vorarbeit auf dem Weg zur Erstellung eines Nebenangebots auf Softwareagenten übertragen werden.

4.3.1 Voraussetzungen

In Kapitel 4.3 wurde bereits ausführlich dargelegt, dass in einem ersten Schritt auf dem Weg zur Erstellung eines Nebenangebots die Ausschreibungsunterlagen, und hier insbesondere die zeichnerischen Darstellungen, zu analysieren sind. Beim Übertragen dieses Arbeitsschrittes auf Softwareagenten müssen diese Informationen zunächst in einer strukturierten, vom Agenten erfassbaren Form vorliegen. Eine logische Weiterentwicklung der heute noch vorherrschenden dokumentenbasierten Ausschreibungsform hin zu einer ausschließlich in digitaler Form durchgeführten Ausschreibung bedeutet, dass alle Unterlagen, also auch die zeichnerischen Darstellungen, in digitaler Form bereitgestellt werden. Um jedoch dem Agenten zu ermöglichen, aus den digitalen Plänen die erforderlichen Informationen zu entnehmen, ist es unzureichend, hierbei lediglich eine Ausgabedatei einer zwei- oder dreidimensionalen CAD-Zeichnung mit Punkt- und Strichdarstellung zur Verfügung zu stellen, sondern es müssen semantische Informationen aus den digitalen Plänen entnommen werden können. Eine adäquate Lösung hierfür liegt in der Verwendung des „Industry Foundation Classes” (IFC)-Standards. Dabei handelt es

sich um ein von der „International Alliance for Interoperability" (IAI) [INAI05] entwickeltes modellbasiertes Format, in dem für jedes einzelne Bauteil neben den geometrischen Angaben zu den Abmessungen weitere Objektinformationen enthalten sein können. Im Einzelnen sind dies:

- Informationen über die Art des Bauteils (Decke, Wand, Stütze, Fenster, etc.),
- Schichtenaufbau der Bauteile (beispielsweise Außenwand),
- Semantische Informationen (Eigenschaften von Baustoffen und Bauteilen),
- Relationen unter Bauteilen (Zuordnung von Wänden und Decken zu Räumen),
- Zusatzinformationen (Hersteller, Bearbeiter, Termine, etc.),
- Ergänzungen (Raum- bzw. Gebäudenutzung).

Durch eine konsequente Anwendung der IFC könnten nicht nur in der Ausschreibungsphase, sondern weit darüber hinaus in allen Phasen der Projektabwicklung deutliche Vorteile erzielt werden, da einmal digital erfasste Bauteildaten medienbruchfrei verarbeitet werden können, was das Eingabefehlerrisiko drastisch reduziert.

Als nächster Schritt für die Erstellung eines Nebenangebots wurde in Kapitel 4.3 der Einsatz von Wissen bzw. von beruflicher Erfahrung aufgeführt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass ein regelbasierter Ansatz, wie er für die Suche nach lukrativen Ausschreibungen verwendet wurde, aus folgenden Gründen für diesen Prozessschritt nicht sinnvoll bzw. nicht möglich ist:

- Die vorliegende Domäne ist gekennzeichnet durch eine hohe Merkmalsanzahl und Komplexität.
- Das erforderliche Erfahrungswissen ist in aller Regel nur für Teilbereiche der Domäne verfügbar.
- Kein Projekt gleicht im Bauwesen exakt einem zweiten.
- Die Informationen zu einem betrachteten Projekt sowie zu bereits bekannten Fällen sind oftmals unvollständig.

Zur Entscheidungsfindung in solchen wenig strukturierten Domänen haben sich Methoden des Fallbasierten Schließens als äußert robust erwiesen [SESN02], weshalb im Rahmen dieses Prozessschrittes auch darauf zurückgegriffen wurde. Die Intention ist dabei, mit jedem ausgeführten Projekt weiteres Erfahrungswissen zu erwerben und für

den Prozess der Entscheidungsfindung hinsichtlich eines für die Angebotsabgabe zu erstellenden Nebenangebots zu berücksichtigen.

4.3.2 Erstellung einer Fallbasis

Jedes Unternehmen zeichnet sich durch ein individuelles Unternehmensprofil aus und besitzt, bedingt durch seine technische Ausstattung sowie die spezifische Qualifikation der Mitarbeiter unterschiedliche Stärken. Diese Tatsache trifft insbesondere in der sich durch eine hohe Produktindividualität auszeichnenden Branche des Bauwesens zu. Darüber hinaus spielen die unterschiedlichen Einkaufskonditionen mit verschiedenen Zulieferunternehmen für die Preisgestaltung der jeweiligen Positionen eines Angebots eine wichtige Rolle. Dieses hat zur Folge, dass verschiedene Bauunternehmen in den unterschiedlichsten Bereichen oder zumindest auf unterschiedliche Art und Weise von der Möglichkeit der Erstellung von Nebenangeboten Gebrauch machen. Übertragen auf die Fallbasis als Grundlage für den Einsatz der Methode des Fallbasierten Schließens bedeutet dieses, dass auch die hierin enthaltenen Fälle von Bauunternehmen zu Bauunternehmen ganz unterschiedlich sein können. Enthalten ist in den Fällen, die nichts anderes als die ausgeführten Projekte darstellen, letztendlich das gesamte Erfahrungswissen eines Bauunternehmens für einen bestimmten Bereich.
Im Rahmen dieser Arbeit wird beispielhaft für eine Domäne die Erstellung und Anwendung sowie die Pflege einer Fallbasis untersucht. Als sehr anschauliches Beispiel eignet sich hierbei insbesondere der Bereich der Geschoßdecken. Zum einen stellen die Deckenplatten im Wohnungs- und Industriebau ein sehr wesentliches Konstruktionselement dar [PAUS98]. Darüber hinaus ist die Vielfalt der unterschiedlichen Deckensysteme sowohl hinsichtlich der Konstruktionshöhe und der Kosten, als auch hinsichtlich der erforderlichen Bauzeiten enorm, so dass hier nicht selten erhebliches Einsparpotenzial vorhanden ist. Eine projektspezifische Auswahl eines geeigneten Deckensystems erfolgt seitens des Auftraggebers bereits im Zuge der Planung und Erstellung des Leistungsverzeichnisses. Jedoch ist eine kritische Überprüfung des vorgeschlagenen Deckensystems durch den Bieter vor dem Hintergrund der unterschiedlichen unternehmensspezifischen Liefer-, Herstell- und Einbaukonditionen sinnvoll.
Zur Erstellung einer Fallbasis im Bereich von Geschoßdecken sind zunächst die zur Entscheidung für ein bestimmtes System charakteristischen Parameter festzulegen. Im vorliegenden Fall sind dies:

- Spannweite in x- oder y-Richtung sowie das Längenverhältnis lx / ly,
- Nutzlast,
- Konstruktionshöhe (einschließlich eventueller Unterzüge),
- Bauzeit,
- Kosten,
- Gesamtfläche,
- Bauzeit-Kosten-Index,
- Geometrie (zur Beurteilung des Schalungsaufwands).

Die ersten sechs hier aufgeführten Parameter ergeben sich unmittelbar aus den Ausschreibungsunterlagen (digitales Gebäudemodell und Leistungsverzeichnis) sowie aus den Angaben unternehmensinterner Projektabschlussdaten (tatsächliche Bauzeit und Kosten). Diese können von einem Softwareagenten entweder aus den ihm zur Verfügung stehenden Dokumenten oder über Interaktionen mit anderen unternehmensinternen Softwareagenten bzw. dem Initiator ermittelt werden. Darüber hinaus muss es dem Auftragnehmer auch selbst möglich sein, manuell auf die Fallbasis zuzugreifen bzw. geeignete ähnliche Fälle zur Beurteilung des aktuellen Projekts aus der Fallbasis zu filtern. Hierzu wurde eine Eingabemaske erstellt, um diesen Zugriff zu erleichtern (siehe Abbildung 5).

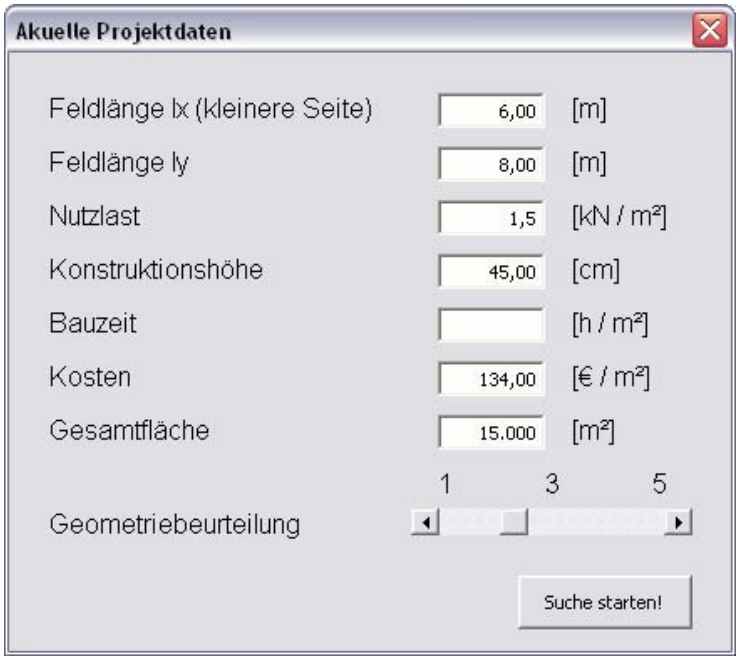


Abbildung 4: Eingabemaske für die manuelle Anwendung von CBR

Ein weiterer Parameter für die Beurteilung eines für den Auftraggeber attraktiven Nebenangebots ist ein so genannter Bauzeit-Kosten-Index. Hiermit wird die Interdependenz der Kosten und der Bauzeit betrachtet. Beispielsweise kann ein Deckensystem trotz höherer Erstellungskosten durch seine geringere Bauzeit gegenüber dem im Leistungsverzeichnis vorgesehenen Deckensystem als vorteilhaft erachtet werden und in der Erstellung eines Nebenangebots resultieren. Schließlich kann je nach Deckensystem der Parameter Geometrie für die Preisermittlung eines Angebots eine mehr oder weniger wichtige Rolle spielen. Dieser Parameter berücksichtigt, wie stark der Grundriss der Decke von einer simplen Rechteckform abweicht, wobei fünf Kategorien zur Auswahl stehen (1 = rechteckig bis 5 = sehr stark verwinkelt). Je stärker der Grundriss von der einfachen Rechteckform abweicht, desto höher sind der Schalungs- und Bewehrungsaufwand und folglich die Herstellungskosten der Geschoßdecken, wobei auch die Größenordnung der Deckenfläche in der Preisermittlung zu berücksichtigen ist. Bei affiner Geometrie ist demnach bei größeren Flächen der Einfluss des komplexen Grundrisses auf die Herstellungskosten im Vergleich zu kleineren Flächen geringer. In Abbildung 5 ist ein Beispiel für eine einfache und eine verwinkelte Geometrie einer Geschoßdecke angegeben. Die Klassifizierung der Decke in eine Geometriekategorie kann vom Agenten mit Hilfe der Angaben aus dem digitalen Gebäudemodell und einem Mustererkennungsalgorithmen vorgenommen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde sie jedoch in Interaktion mit dem Initiator determiniert.

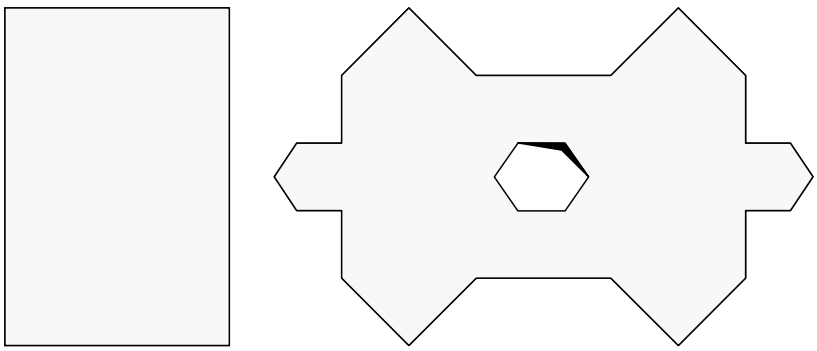


Abbildung 5: Deckengrundriss mit einfachem und verwinkeltem Querschnitt

Darüber hinaus sind in der Fallbasis für jeden Fall noch drei weitere Parameter verfügbar. Zum einen muss natürlich eine Projektbezeichnung zur Identifikation dieses Projekts berücksichtigt werden, da nach der Erteilung des Zuschlags ggf. weitere Informationen dieses ähnlichen Projekts eingesehen werden müssen. Zum zweiten ist die Möglichkeit vorgesehen, den Fall mit einem zusätzlichen Kommentar bzw. mit einer Erklä-

rung zu versehen. Hiermit kann beispielsweise berücksichtigt werden, dass der Fall zwar bezüglich des Preises und der Bauzeit nicht die optimale Lösung für das Bauprojekt darstellte, das Deckensystem jedoch trotzdem realisiert wurde. Gründe hierfür können sein, dass dieses System dem ausdrücklichen Wunsch des Bauherrn entsprach, oder etwa, dass die Forderung nach einer sehr leichten Konstruktion, einer sehr niedrigen Bauhöhe oder einer schnellen Bauzeit als Zwangsvorgaben kein kostengünstigeres Deckensystem zuließen. Schließlich ist der Fallbasis auch zu entnehmen, ob ein Fall zum Erfolg, das heißt zum Erhalt des Zuschlags im Rahmen der öffentlichen Ausschreibung geführt hat oder nicht. In Abbildung 6 ist beispielhaft ein Ausschnitt für eine Geschoßdecke dargestellt.

Nr.	lx [m]	ly [m]	ly/lx [-]	Nutzlast [kN/m²]	Höhe [cm]	Bauzeit [h/m²]	Kosten [€/m²]	B-K-Index Verhältnis	Fläche [m²]	Geometrie (1=rechteckig bis 5=stark verwinkelt)	Komentar	Deckentyp	BV	Erfolg
1	5	5	1,00	3,5	20,0	10	74,45	314,45	4500	1		Flachdecke aus NC	Maier	ja
2	5	7,6	1,52	3	22,4	10	85,2	325,2	30000	4		Flachdecke aus NC	Müller	ja
3	5	7,5	1,50	3,5	30,2	18	78,18	510,18	2000	2		UZ - Decke ohne NU	Schulz	ja
4	5	12,4	2,48	7,5	34,9	17	87,47	495,47	9000	2		UZ - Decke ohne NU	Müller 2	ja
5	7,6	15	1,97	4,75	100,6	20	140,02	620,02	500	2	Wunsch, Bauherr	UZ - Decke mit NU	Inter	ja
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

Abbildung 6: Ausschnitt aus einer unternehmensinternen Fallbasis für Geschoßdecken

Nach Abschluss eines jeden Projekts ist zu entscheiden, ob und ggf. in welcher Form der Fall in die Fallbasis aufgenommen wird. Hierbei ist zunächst zu überprüfen, ob das Angebot, oder der für ein Nebenangebot ermittelte Vorschlag, dem tatsächlich verwendeten System entspricht, beziehungsweise, welche Gründe zur Abweichung vom Vorschlag geführt haben. Mit jedem neuen Projekt kann das Erfahrungswissen der Fallbasis erweitert werden. Dieses trägt dazu bei, dass die Operabilität des wissensbasierten Systems stetig verbessert wird. Bei der Erstellung einer Fallbasis im Bereich von Deckensystemen ist neben der Aktualitätsprüfung eines Projekts und dem dabei eingesetzten Deckensystem auch ein Plausibilitätscheck der aus dem Projekt verfügbaren Parameter durchzuführen. Hierbei ist es wahrscheinlich, dass die Informationen zu den einzelnen Fällen nicht immer vollständig verfügbar sind. Im Rahmen dieser Arbeit wurden für den sinnvollen Einsatz des Fallbasierten Schließens im Bereich von Deckensystemen drei Parameter als essentiell identifiziert. Diese Informationen sind erforderlich, um ein Projekt als neuen Fall in die Fallbasis aufzunehmen:

- Feldlänge lx oder ly,
- Kosten der Decke [Euro / m^2],
- verwendetes Deckensystem.

Darüber hinaus versucht der Agent in Interaktion mit dem Initiator (siehe Abbildung 7) fehlende Informationen eines Falls zu ergänzen, um möglichst vollständige Fälle in die Fallbasis aufzunehmen. Parameter, die auf diese Weise nicht ermittelt werden können, bleiben in der Fallbasis als leere Felder enthalten und werden für die Ähnlichkeitsbetrachtung mit der Übereinstimmung 0 % berücksichtigt.

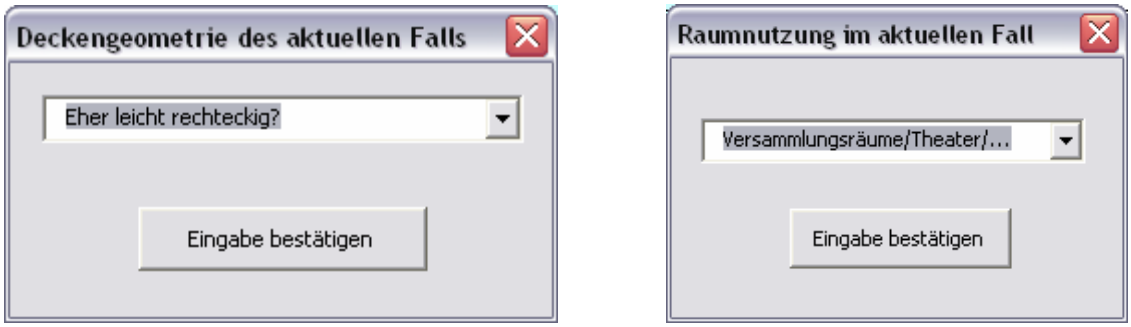


Abbildung 7: Beispiele logischer Abfragen zur Ergänzung der Fallinformationen

Anschließend ist ggf. in Interaktion mit dem Benutzer zu klären, ob der Fall die Fallbasis wirklich sinnvoll ergänzt, oder ob er als „Exot“ die Operabilität des Systems negativ beeinflussen könnte. Das Ziel ist hierbei, als Entscheidungsgrundlage für ein spezielles Deckensystem möglichst charakteristische Fälle aufzunehmen, die nicht zu widersprüchlichen Analyseergebnissen führen. Zur Wahrung der Aktualität des abgelegten Erfahrungswissens hat der Initiator die Möglichkeit, einzelne Fälle gezielt zu modifizieren oder zu löschen.

4.3.3 Beurteilung der Fallbasis

In Kapitel 4.3.2 wurde beschrieben, dass vor der Aufnahme eines Falls in die Fallbasis ein entsprechender Plausibilitätscheck durchzuführen ist. Auf diese Weise erfolgt eine Überprüfung, in wieweit jeder einzelne Fall in sich konsistent ist. Ein weiterer, jedoch nicht weniger wichtiger Kontrollmechanismus liegt in der Überprüfung der Güte und Anwendbarkeit der gesamten Fallbasis. Ein erster Ansatz ist hierbei die Untersuchung der Vielfältigkeit (engl. diversity) der Fallbasis. Wie bereits in [BRSM01] beschrieben, wird hierbei die „Nichtähnlichkeit“ aller Fälle jeweils paarweise untereinander mit nachfolgender Formel bewertet:

$$\mathrm{div}(c_1 \ldots c_n) = \frac{\Sigma_{i=1}^{n} \Sigma_{j=i}^{n} (1 - \mathrm{sim}(c_i, c_j))}{\frac{n}{2} \cdot (n-1)} \tag{1}$$

Mit:

$\mathrm{div}(c_1 \ldots c_n)$	Vielfältigkeit der Fälle c_1 bis c_n
$\mathrm{sim}(c_i, c_j)$	Ähnlichkeit des Falls c_i und des Falls c_j
n	Anzahl der Fälle in der Fallbasis

Je weniger ähnlich sich die einzelnen Fälle der Fallbasis sind, desto größer ist die Vielfältigkeit. Ein Grenzfall ist, dass kein Fallvergleich eine Ähnlichkeit hinsichtlich wenigstens eines Parameters aufweist. Dabei läuft der Wert der Vielfältigkeit gegen 1. Im anderen Grenzfall, wenn eine Fallbasis ausschließlich aus exakt gleichen Fällen bestehen würde, läge die Vielfältigkeit bei 0. Insgesamt werden in Formel (1) für die Anzahl n der in der Fallbasis enthaltenen Fälle:

$$n + (n-1) + (n-2) + \ldots + 1 = \frac{n}{2} \cdot (n+1) \tag{2}$$

Ähnlichkeitsvergleiche geführt und aufsummiert. Erstrebenswert ist zur sinnvollen Anwendung einer Fallbasis ein hohes Maß an Vielfältigkeit, um für neu zu beurteilende Fälle möglichst ähnliche und eindeutige Lösungsvorschläge aus der Fallbasis aufzufinden.

Eine hohe Diversität der Fallbasis bedeutet, dass die einzelnen Fälle über den möglichen Ergebnisraum verstreut und weniger an einzelnen Punkten konzentriert angeordnet sind. Dies bedeutet auch, dass für die Operabilität des CBR überwiegend essentielle Fälle in der Fallbasis enthalten sind. Umgekehrt verhält es sich bei niedrigen Diversitätswerten, wo mehrere Fälle an wenigen Punkten des Ergebnisraums konzentriert sind. Hier ist zu kontrollieren, ob gegebenenfalls „überflüssige“ Fälle in der Fallbasis enthalten sind, die zu annähernd gleichen Ergebnis führen und die Fallbasis unnötig aufblähen. Solche Fälle sind aus der Fallbasis möglichst zu entfernen.

Diese Überprüfung der Fallbasisdiversität liefert jedoch keine Aussage über die flächige Abdeckung des möglichen Ergebnisraumes. Hierfür wäre es erforderlich, entsprechend der eingesetzten Anzahl an Parametern (p) einen p-dimensionalen Ergebnisraum aufzuspannen und darin die möglichst vollständige Abdeckung zu überprüfen. Weniger gut

abgedeckte Bereiche könnten anschließend mit fiktiv zu kreierenden Projekten ergänzt werden. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter verfolgt.
Eine eher pragmatische Vorgehensweise besteht darin, in die Fallbasis generell nur diejenigen Projekte aufzunehmen, die tatsächlich ausgeführt bzw. für die zumindest ein Angebot erstellt und die im Rahmen einer Ausschreibung eingereicht wurden. Werden bei der Anwendung der Fallbasis keine oder nur Fälle mit geringer Ähnlichkeit zum aktuellen Fall gefunden, so ist daraus zu schließen, dass die Fallbasis in diesem Bereich noch nicht ausreichend mit Informationen abgedeckt ist. Folglich liegt es nahe, den aktuellen Fall zur Erweiterung der Fallbasis zu verwenden.

4.3.4 Ähnlichkeitskriterien

Zur Beurteilung der Ähnlichkeit eines aktuell zu untersuchenden Falls mit Fällen aus der Fallbasis werden zunächst die einzelnen Parameter jeweils miteinander verglichen. Hierbei ist es nicht sinnvoll, für die vorliegenden Kriterien mit zweiwertigen Merkmalen, im Sinne von entweder „ähnlich“ oder „nicht ähnlich“ zu operieren. Stattdessen werden analog zum Ansatz aus der Fuzzy Logic unscharfe Merkmale zur Ähnlichkeitsermittlung herangezogen. Als Beurteilungsfunktion konnte im Rahmen dieser Arbeit eine asymmetrische Trapezform als geeignet identifiziert werden. Das Plateau des Trapezes im Bereich der 100 % - Ähnlichkeit kommt dadurch zustande, dass zwei Parameter auch bei geringen Unterschieden noch als „gleich“, d.h. 100 % ähnlich, angesehen werden können. Beispielhaft seien hier die um wenige Prozentpunkte voneinander differierenden Feldlängen einer Decke erwähnt. Mit der Asymmetrie der Funktion wird der Unterschied eines Parameters zweier Fälle in statischer Hinsicht berücksichtigt. Bei einer gegebenen Feldlänge X ist ein Fall aus der Fallbasis, der bei vergleichbarer Deckenstärke sogar für eine Feldlänge $X + \Delta X$, also statisch gesehen ungünstigeren Randbedingungen, ausgeführt wurde, zweifelsohne als ähnlicher anzusehen, als der umgekehrte, statisch günstigere Fall (siehe Abbildung 8).

Auch für den Parameter „Konstruktionshöhe“ wurde eine asymmetrische Trapezfunktion verwendet (siehe Abbildung 9), jedoch erscheinen die beiden abfallenden Äste sowie das Plateau spiegelverkehrt zu der Ähnlichkeitskurve des Parameters „Feldlänge l_x“. Die architektonisch vorgesehene Deckenkonstruktionshöhe h (einschließlich eventuell vorhandener Unterzüge) ist in der Regel als Maximalwert anzusehen. Eine größere

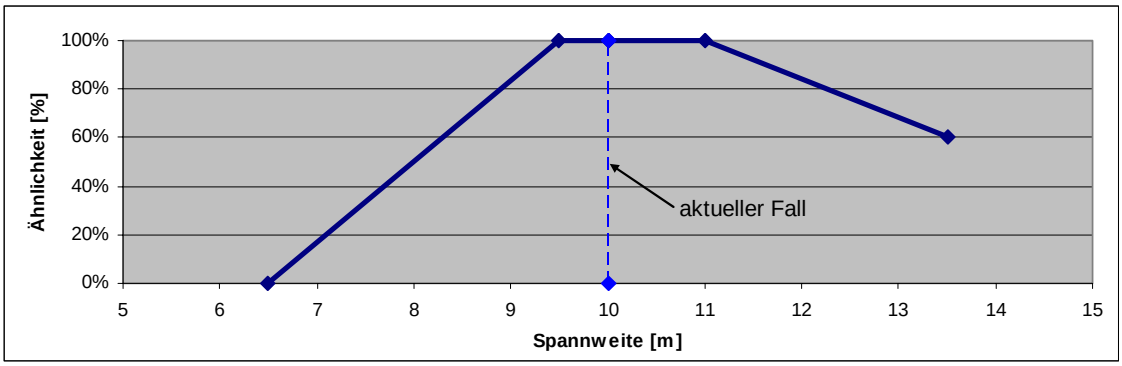


Abbildung 8: Ähnlichkeitsabschätzung am Beispiel des Parameters Feldlänge l_x

Bauhöhe der Decke bedeutet als Konsequenz, dass entweder die Nutzhöhe der Stockwerke reduziert, oder die Gebäudehöhe vergrößert wird. Diese gravierenden Veränderungen stellen in der Regel keine interessante bzw. ausführbare Alternative für die Entscheidungsträger, Architekt sowie Bauherr, dar. Hingegen ist ein ähnlicher Fall aus der Fallbasis, der aufgrund eines anderen oder geänderten Deckensystems mit einer geringeren Deckenstärke als der ausgeschriebenen Variante auskommt, positiv zu bewerten. Demgemäß ist für den Parameter „Konstruktionshöhe“ diese geänderte asymmetrische Ähnlichkeitskurve vorgesehen.

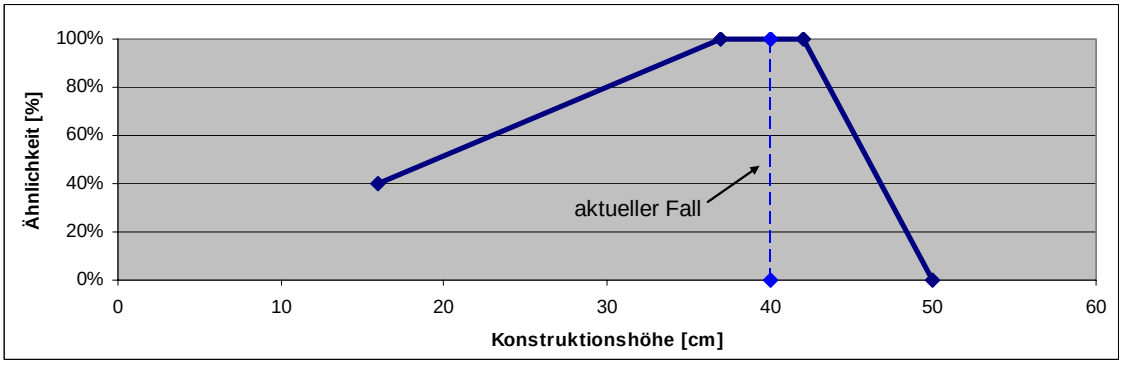


Abbildung 9: Ähnlichkeitsabschätzung am Beispiel des Parameters Konstruktionshöhe

Für alle Parameter wurden entsprechende Beurteilungsfunktionen entwickelt, so dass die jeweiligen Ähnlichkeiten der Parameter des aktuellen Falls mit denen der einzelnen Fälle aus der Fallbasis ermittelt werden können. Anschließend wird für jedes Paar eine Gesamtähnlichkeit berechnet. Hierbei ist zu beachten, dass unterschiedliche Parameter unterschiedlich starke Bedeutung in der Ähnlichkeitsbetrachtung haben, weshalb die einzelnen Parameter zusätzlich mit spezifischen Gewichtungsfaktor w versehen werden. Während Kriterien wie der Bauzeit-Kosten-Index sowie die Feldlängen eine sehr wich-

tige Rolle spielen und deshalb hohe Gewichtungsfaktoren erhalten, spielt beispielsweise die Geometriebeurteilung eine eher untergeordnete Rolle in der Ähnlichkeitsbestimmung und wird mit einem geringeren Gewichtungsfaktor versehen. Schließlich erfolgt die Ermittlung der Gesamtähnlichkeit über den Merkmalsvektor, d.h. über alle in die Betrachtung einfließenden Merkmale, als gewichtete Hamming-Ähnlichkeit (siehe Formel 3).
Auf Grund unterschiedlicher unternehmensspezifischer Voraussetzungen ist es wahrscheinlich, dass je nach Unternehmen die Gewichtungsfaktoren und ggf. auch die Größe des jeweiligen Merkmalsvektors variieren.

$$\mathrm{sim}(x,y) = \frac{\Sigma_{i=1}^{n} w_i \mathrm{sim}(x_i, y_i)}{\Sigma_{i=1}^{n} w_i} \tag{3}$$

Mit:

w	individueller Gewichtungsfaktor
sim(x,y)	Ähnlichkeit gemäß der spezifischen trilinearen Ähnlichkeitsfunktion

4.3.5 Identifikation eines geeigneten Nebenangebots

Als Ergebnis der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Ähnlichkeitsanalyse eines aktuellen Falls mit den Fällen aus der Fallbasis ermittelt ein Softwareagent zunächst zwei Listen – eine Negativ- und eine Positivliste. Die Negativliste enthält frühere Projekte aus der Fallbasis mit vergleichbaren Randbedingungen, die nicht erfolgreich verliefen und die es daher zu vermeiden gilt. Vorstellbar ist für das Zustandekommen der negativen Fälle in der Fallbasis ebenfalls, nicht nur konkrete negative Projekterfahrungen in Form von Fällen aufzunehmen, sondern auch mit Hilfe von Erfahrungswissen fiktive negative Fälle zu konstruieren, wie etwa Fälle mit vorgespannten Flachdecken oder Unterzugsdecken mit Nebenunterzügen für kleine Spannweiten. Hierdurch kann bei der Anwendung des fallbasierten Schließens in Bereichen ohne positive Beispielsfälle zumindest eine Einschränkung der möglichen Lösungsmenge erfolgen. Die Positivliste enthält mit vergleichbaren Fällen aus der Fallbasis mögliche Informationen, die zur Erstellung eines Nebenangebots führen. Hierzu erfolgt noch ein Abgleich dieser Aufstellung mit der Negativliste, wodurch gegebenenfalls die Größe der Positivliste reduziert wird. Die somit verbleibende Auflistung von den zum aktuellen Fall ähnlichen positiven Fällen ist entsprechend der jeweiligen Gesamtähnlichkeit absteigend sortiert. Im Rahmen einer solchen Fallbasis „Geschossdecken“ bleibt in der Regel sowohl die

Anzahl an vorhandenen Fällen – entspricht maximal der Anzahl an Ausschreibungsteilnahmen – als auch die Anzahl der jeweils zu vergleichenden Parameter relativ gering, so dass hier bei jeder CBR-Anwendung alle Fälle in die Suche nach ähnlichen Fällen einbezogen werden. Darüber hinaus wird hierdurch ausgeschlossen, dass Informationen früherer Projekte, die durch das Raster einer strukturierten, jedoch auf einzelne Parameter fokussierten Suche irrtümlicherweise nicht erfasst werden, für die Entscheidungsfindung unberücksichtigt bleiben.
Zur Auswertung dieser Suchergebnisliste und zur Identifikation eines geeigneten Nebenangebots wird der Agent anschließend mehrere Kriterien überprüfen:

Deckensystem
Ein essentielles Kriterium für die Erstellung eines Nebenangebots ist, dass der oder die als ähnlich identifizierten Fälle der Fallbasis hinsichtlich des Deckensystems vom vorgesehenen System der Ausschreibung abweichen. Andernfalls, wenn die Deckensysteme aus der Ausschreibung und aus den selektierten Fällen der Fallbasis identisch sind, besteht die Möglichkeit eines Nebenangebots nicht. Jedoch können ggf. Erfahrungen des bereits ausgeführten Falls aus der Fallbasis hinsichtlich Preisermittlung und Realisierung auf den ausgeschriebenen Fall übertragen werden.

Bauzeit-Kosten-Index
Zur Erlangung eines Vorteils gegenüber anderen Bietern im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung ist die Möglichkeit der Abgabe eines Nebenangebots nur dann sinnvoll, wenn dadurch dem Auftraggeber ein Vorteil gegenüber der ausgeschriebenen Variante offeriert werden kann. Dieser Vorteil bezieht sich in der Regel auf den Preis oder gegebenenfalls auch auf die Bauzeit. Für eine sichere Beurteilung beider Kriterien und deren Abhängigkeit voneinander wird der Bauzeit-Kosten-Index des als ähnlich identifizierten Falls aus der Fallbasis mit dem aktuellen Fall verglichen. Liegt dieser Indexwert des Falls aus der Fallbasis unter dem Wert des aktuellen Falls, so besteht prinzipiell die Möglichkeit einer kostengünstigeren bzw. schnelleren Projektrealisierung. In diesem Fall gibt der Softwareagent seinem Initiator die Empfehlung, ein Nebenangebot zu erstellen.

Mindestwert der Gesamtähnlichkeit
Ein weiteres wichtiges Kriterium zur Beurteilung eines zur Erzielung des Zuschlags aussichtsreichen Nebenangebots ist die Gesamtähnlichkeit. Hierbei werden zum einen die Anzahl der verglichenen Parameter, sowie die prozentuale Ähnlichkeit jedes be-

rücksichtigten Parameters eines Falls aus der Fallbasis betrachtet. Dieser unternehmensspezifisch variierende Wert ist im Einzelfall festzulegen. Im Rahmen der prototypischen Implementierung erwiesen sich zur Entscheidung für ein attraktives Nebenangebot Mindestwerte der Gesamtähnlichkeit von 65 % bis 85 % als sehr sinnvoll. Während niedrigere Werte oft zu einer zu großen Anzahl an Vorschlägen bezüglich eines Nebenangebots führen, die stark differieren und somit keine sinnvolle Entscheidungshilfe bieten, wird bei Mindestwerten oberhalb des angegebenen Bereichs in vielen Fällen keine Möglichkeit für ein Nebenangebot identifiziert.

Im Anschluss an diese Ähnlichkeitsanalyse übermittelt der Softwareagent seinem Initiator den oder die Vorschläge für die Erstellung eines Nebenangebots. Hierin enthalten sind auch die zu den Fällen in der Fallbasis enthaltenen Kommentare. Mit diesen Informationen entscheidet der Benutzer schließlich über die Abgabe eines Nebenangebots und stellt ggf. hierfür die erforderlichen Leistungspositionen zusammen, die er dem Agenten wiederum zur erweiterten Angebotsbearbeitung übermittelt.

Mit der in diesem Kapitel vorgestellten Fallbasis für unterschiedliche Deckensysteme wurde im Rahmen der Dissertation ein Beispiel dafür gegeben, wie ein Softwareagent – in einer zu einem hohen Grad automatisierten Form – zur Empfehlung für ein mögliches Nebenangebot gelangt. Zu beachten ist hierbei, dass unterschiedliche Unternehmen bedingt durch ihre spezifischen Unternehmensprofile zu verschiedenartigen Nebenangebotsvarianten kommen können. Darüber hinaus werden nicht alle Bieter ein Nebenangebot im Bereich von Geschoßdecken erstellen, sondern auch andere Bereiche analysieren, wie etwa Wände, Stützen oder auch Gründungssysteme.

4.4 Schließen von Bietergemeinschaften

Durch den Zusammenschluss von zwei oder mehreren Bietern zu einer Bietergemeinschaft kann das unternehmerische Risiko für den einzelnen Bieter reduziert werden. Darüber hinaus geben Bietergemeinschaften dem Auftraggeber eine höhere Sicherheit der Vertragserfüllung sowie der Garantieleistung, weshalb für die Angebotsabgabe in öffentlichen Ausschreibungen ein gemeinsames Angebot im Rahmen einer Bietergemeinschaft in vielen Fällen ausdrücklich erwünscht ist. Im Vorfeld einer Bietergemeinschaft müssen zunächst geeignete Vertragspartner als solche identifiziert, überprüft und ausgewählt werden. Hierbei können intelligente Softwareagenten in autonomer Weise die Unternehmensprofile der am Marktplatz registrierten Teilnehmer analysieren und

vergleichen, um geeignete Mitglieder für eine Bietergemeinschaft zu identifizieren. Die besten Analyseergebnisse sendet der Agent zur Entscheidung an seinen Initiator weiter. Sobald dieser sich für eine mögliche Bietergemeinschaftskonstellation festgelegt hat, werden oft in langwierigen Sondierungsgesprächen mit den potenziellen Teilnehmern an der Bietergemeinschaft umfangreiche inhaltliche sowie vertragsrechtliche Rahmenbedingungen abgesteckt – ein Arbeitsschritt, der nicht ohne weiteres auf Softwareagenten übertragen werden kann.

4.4.1 Auswahl von Partnern für eine Bietergemeinschaft

Gemäß § 21 Nr. 5 Abs. 1 VOB/A ist ein Mitglied der Bietergemeinschaft als bevollmächtigter Vertreter für den Abschluss und die Durchführung des Vertrages zu bestimmen. Dieses kann beispielsweise der Initiator der Bietergemeinschaft sein, aber auch das Mitglied, das den größten Anteil des Auftrags ausführen wird. Zur Auswahl geeigneter Mitglieder einer Bietergemeinschaft stehen dem Initiator prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

a) Der potenzielle Teilnehmer an der Bietergemeinschaft ist in der unternehmenseigenen Datenbank bereits enthalten, da in der Vergangenheit Projekte gemeinsam mit diesem durchgeführt wurden. Ist das bekannte Bauunternehmen für das aktuelle Projekt ausreichend qualifiziert und wurden mit diesem Unternehmen in der Vergangenheit positive Erfahrungen im Hinblick auf die Zusammenarbeit gemacht, so ist sicher das vorrangige Bestreben, dieses in die mögliche Bietergemeinschaft aufzunehmen.

b) Für das aktuelle Projekt ist keine der bereits bekannten Unternehmen ausreichend qualifiziert. Folglich muss auf ein bisher für das eigene Unternehmen noch unbekanntes Bauunternehmen ausgewichen werden. Dabei sind neben der fachlichen Qualifikation der potenziellen Teilnehmer an der Bietergemeinschaft auch weitere Aspekte, wie beispielsweise Verlässlichkeit zu berücksichtigen. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde hierfür ein Bewertungssystem entwickelt, das in Kapitel 4.4.2 ausführlich erläutert wird. Hierin werden alle auf dem Marktplatz registrierten Unternehmen entsprechend der ausgeführten Projekte bewertet. Dieses kann als Entscheidungshilfe für die Auswahl von geeigneten Unternehmen verwendet werden.
Im Folgenden wird ein Szenario aufgezeigt und in Abbildung 10 graphisch dargestellt, das den Ablauf einer Suche nach einem oder mehreren geeigneten Partnern für das Schließen einer Bietergemeinschaft verdeutlichen soll:

Szenario

Auf der Suche nach lukrativen Angeboten im PLZ-Gebiet 4 stößt der AN-Agent „Beton“ auf eine ihm als lukrativ erscheinende Ausschreibung eines Bauvorhabens der Stadt Essen. Nach einer eingehenden Analyse der auszuführenden Positionen des Leistungsverzeichnisses, entscheidet der Agent zunächst unter Berücksichtigung der unternehmenseigenen Ressourcen, ob es für sein Unternehmen lukrativ erscheint bzw. realisierbar ist, als Generalunternehmer ein Angebot zu erstellen, oder, ob es sinnvoller erscheint, für dieses Projekt eine Bietergemeinschaft zu gründen. Hierbei bietet sich dem Agenten auch die Möglichkeit, in Interaktion mit seinem Initiator zu einer Entscheidung zu gelangen. Im Fall der Bietergemeinschaft sucht der Agent „Beton“ zunächst in der unternehmenseigenen Datenbank nach möglichen Partnern. Er wählt für das Projekt die Firma „Stahl 2“ aus, die grundsätzlich zur Teilnahme bereit wäre. Die Firma „Stahl 1“

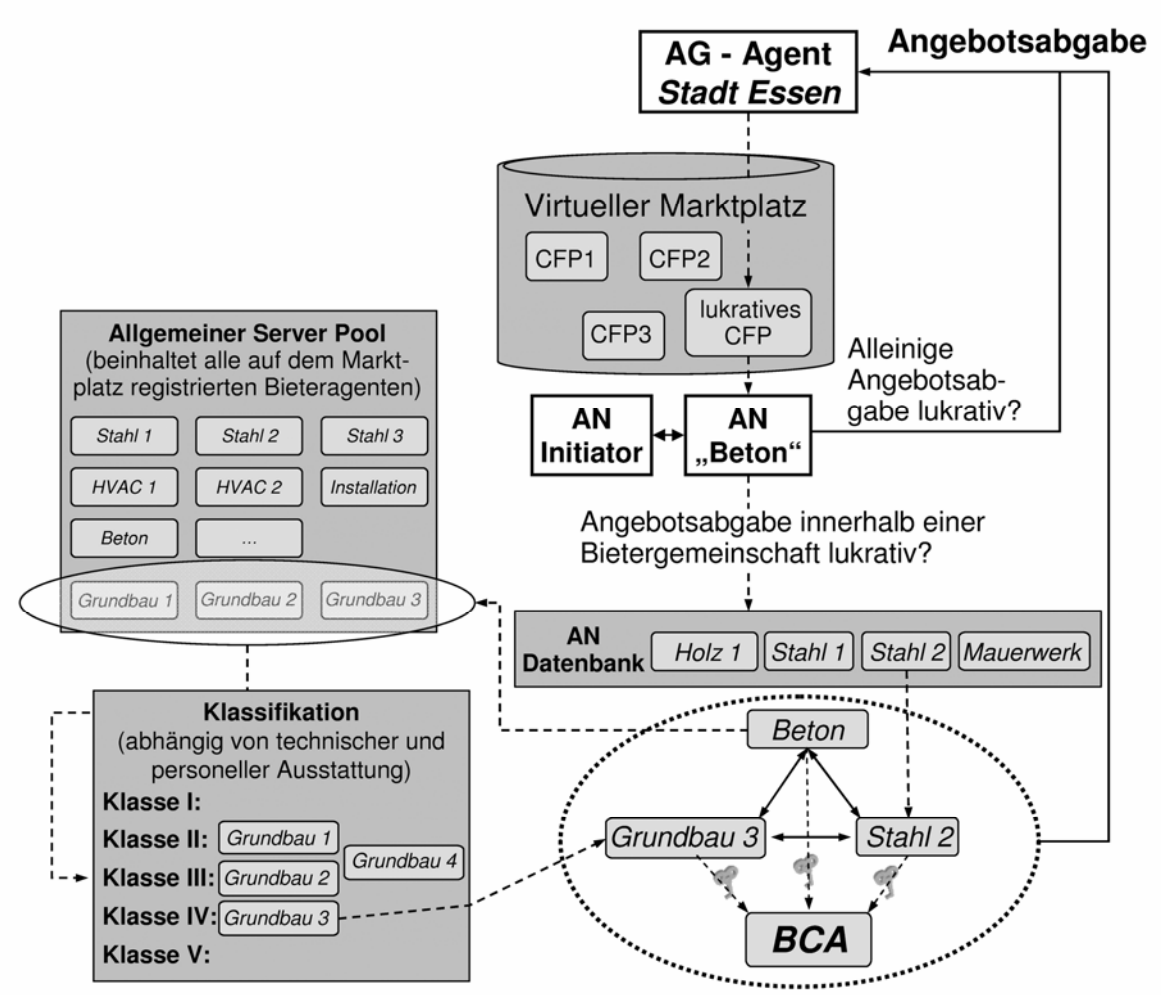


Abbildung 10: Ablaufschema zur Formierung einer Bietergemeinschaft

ist in diesem Fall auf Grund der Größenordnung des Auftrags und der technischen Anforderungen eher weniger geeignet. Darüber hinaus ist für den Auftrag ein Unternehmen aus dem Bereich des Grundbaus erforderlich, das infolge der umfangreichen Gründungsarbeiten ebenfalls in die Bietergemeinschaft aufgenommen werden sollte. Da die Firma „Beton“ bisher keine Erfahrung hinsichtlich Zusammenarbeit mit Grundbauunternehmen hat, durchsucht der Beton-Agent zunächst den Allgemeinen Server Pool nach geeigneten Grundbauunternehmen. Für eine gezielte Suche nach einem für die Anforderungen eines Projekts qualifizierten Unternehmen, sind diese auf dem Allgemeinen Server Pool gemäß ihrer personellen Qualifikation und technischen Ausstattung klassifiziert. In diesem Szenario wird ein Unternehmen mit der Klassifizierung IV gesucht. Diese entspricht beispielsweise speziellen Kenntnissen im Bereich von Gründungen mit Großbohrpfählen. Da die Firma „Grundbau 3“ als Einzige die Voraussetzungen für die Realisierung des Projekts und somit für die Teilnahme an der Bietergemeinschaft erfüllt, wird diese als potenzieller Teilnehmer an der Bietergemeinschaft kontaktiert. Auf diese Weise wird seitens des Softwareagenten ein Vorschlag für eine mögliche Konstellation der Bietergemeinschaft erstellt und seinem Initiator zur Entscheidung vorgelegt. Anschließend werden die vertraglichen Einzelheiten je nach Umfang entweder durch die jeweiligen Agenten in Interaktion mit ihren Benutzern, oder von den Initiatoren selbst durchgeführt. Für den weiteren Verlauf der Bietergemeinschaft wird mit dem BCA (Bidding Consortium Coordinaton Agent) ein weiterer Agent zur Koordination der Angebotsabgabe initiiert.

In diesem Szenario wurde ein Beispiel für die Auswahl geeigneter Teilnehmer an einer Bietergemeinschaft dargestellt. In der Realität wird häufig der Fall eintreten, dass für einen Teilbereich eines auszuführenden Projekts eine große Anzahl an qualifizierten Bauunternehmen vorhanden ist, für die noch keine Erfahrungswerte vorliegen. Hierfür wurde das nachfolgend beschriebene Bewertungssystem in die Struktur des virtuellen Marktplatzes implementiert.

4.4.2 Bewertungssystem

Zur Beurteilung der Verlässlichkeit einer unbekannten Person bzw. eines Unternehmens, ist es erforderlich, im Vorfeld von Vertragsverhandlungen Meinungen von möglichst neutralen Dritten einzuholen, die bereits mit diesen potenziellen Vertragspartnern Erfahrungen gesammelt haben. Eine sehr sinnvolle Variante ist hierbei, ein Bewertungssystem aufzubauen, bei dem sich Geschäftspartner, ähnlich der gängigen Praxis

vieler virtueller Marktplätze des C2C-Commerce, nach Abschluss jeder Transaktion gegenseitig bewerten. Während sich beim C2C-Commerce diese Bewertungen jedoch meist nur auf ein Kriterium beschränken und diese im Regelfall unabhängig vom Produkt sowie der Höhe des Verkaufspreises mit gleicher Gewichtung in das jeweilige Bewertungsprofil einfließen, ist im Rahmen des hier betrachteten B2B-Commerce ein weitaus umfangreicherer Kriterienkatalog in einer deutlich differenzierteren Weise zu berücksichtigen [ETBA01]. Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Randbedingungen des C2C-Commerce im Vergleich zum B2B-Commerce ist in Tabelle 4 aufgelistet.

Aus dieser Übersicht wird deutlich, dass es für ein sinnvolles und anwendbares Bewertungssystem im B2B-Commerce unerlässlich ist, eine vertrauenswürdige Instanz des Marktplatzes zur Administration der einzelnen Bewertungen einzusetzen. Somit können Manipulationen ausgeschlossen werden und das Bewertungssystem ist allen Marktteilnehmern gleichsam nützlich. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass nach Abschluss eines Projekts alle Beteiligten sich gegenseitig möglichst wahrheitsgemäß bewerten. Für diese Bewertung wurde auch ein Feld vorgesehen, in dem ergänzende Kommentare bzw. Begründungen für die abgegebene Bewertung hinterlegt werden können (siehe Abbildung 11).

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Randbedingungen von C2C- und B2B-Commerce

	C2C – Commerce	B2B – Commerce
Anzahl der Bewertungskriterien	in der Regel 1	multikriteriell
Anzahl der Marktteilnehmer	hoch	eher überschaubar
Identität der Teilnehmer	anonym	bekannt
Einfluss der abgegebenen Bewertung auf den Bewerter	in der Regel nicht vorhanden	eher wahrscheinlich
Wahrheitsgehalt der Bewertung	hoch	möglicherweise opportunistisch
Abhängigkeit der Bewertung von der Größe der Transaktion	nicht vorhanden	sehr wichtig
Nutzen für die Markteilnehmer	hoch	ohne vertrauenswürdige Instanz ggf. fraglich

Zur Modellentwicklung eines adäquaten Bewertungssystems sind, wie bereits von Björnsson und Ekström beschrieben [BJEK02], neben der Qualität der multikriteriellen Bewertung weitere wichtige Aspekte zu berücksichtigen. Ein entscheidender Gesichtspunkt ist hierbei, welche Entität die Bewertung abgegeben hat und welche Glaubwürdigkeit und Zuverlässigkeit diesem Bewerter gegenüber aufgebracht wird. Beispielsweise hat eine durchweg positive Bewertung eines Generalunternehmers sicherlich einen anderen Stellenwert, abhängig davon, ob sie vom Auftraggeber oder von einem der zahlreichen Nachunternehmer abgegeben wurde. Darüber hinaus sind für unterschiedliche Parteien einer Ausschreibung unterschiedliche Kriterien wichtig. Für den Auftraggeber sind insbesondere die Zuverlässigkeit des Auftragnehmers bezüglich der Qualität der auszuführenden Arbeiten und bezüglich der Terminvorgaben sowie eine gute Kooperation für den Fall von Schwierigkeiten bzw. Planungsänderungen während des Bauablaufs wichtig. Für den Auftragnehmer sind hingegen die gute Zahlungsmoral des Auftraggebers – Pünktlichkeit und Vollständigkeit des in Rechnung gestellten Betrags – sowie dessen ausführbare Planungsgrundlage einschließlich realistischer Zeitvorgaben für die Ausführung von besonderer Bedeutung. Schließlich sind für einen Auftraggeber-Agenten, der einen Generalunternehmer-Agenten beauftragt, Einflussparameter, wie beispielsweise die Unternehmensgröße und technische Ausstattung, das Auftragsvolumen der jüngeren Vergangenheit, die aktuelle Auslastung des Unternehmens, die Qualifikation des beschäftigten Personals sowie die auftragsspezifisch vorhandene Kompetenz wichtig. Weitere Kriterien in der Berücksichtigung eines Bewertungsprofils sind darüber hinaus:

a) Größe und Art des Auftrags

Es ist nachvollziehbar, dass die Größe eines Projekts, das zu einer positiven Bewertung seitens der Projektbeteiligten geführt hat, einen starken Einfluss auf das Vertrauen hat, das dem potenziellen Geschäftspartner entgegengebracht wird. Darüber hinaus hat auch die Kategorie des Projekts einen wichtigen Stellenwert für die Berücksichtigung der einzelnen Bewertungen. Für einen möglichen Partner in einer Bietergemeinschaft für ein Hochbauprojekt hat dessen positive Bewertung aus einem vergleichbaren Hochbauprojekt eine größere Gewichtung zur Entscheidung für eine künftige Zusammenarbeit, als beispielsweise eine positive Bewertung aus einem anderen Bereich, etwa einem Straßen- oder Tiefbauprojekt.

b) Konstellation der Ausführenden (General- oder Nachunternehmer, BG)

Die Konstellation der Vertragspartner aus einem früheren Projekt und die daraus resultierenden Bewertungen haben ebenfalls einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das mögliche Vertrauen in einen zukünftigen Geschäftspartner. Beispielsweise wird auf der Suche nach einem adäquaten Partner zur Bildung einer Bietergemeinschaft die Entscheidung für einen Kandidaten dadurch erleichtert, dass dieser bereits positive Bewertungen aus vergleichbaren Konstellationen mit anderen Vertragspartnern erhalten hat. Schließlich darf auch die menschlich-soziale Komponente nicht außer Acht gelassen werden. Sind die maßgeblichen Personen im Vorfeld eines Projekts bekannt, die als Bauleiter oder auch Oberbauleiter fungieren, so kann auch dieses auf der Suche nach einem Nachunternehmer oder einem geeigneten Partner für eine Bietergemeinschaft Einfluss auf die Entscheidung haben.

c) Zeitpunkt der Ausführung (wie weit liegt das bewertete Projekt zurück)

Der Zeitpunkt der Ausführung einer als positiv bewerteten Projektarbeit ist für die Beurteilung der Verlässlichkeit eines Bauunternehmens von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Im Rahmen von Untersuchungen wurde festgestellt, dass positive Bewertungen, die mehr als etwa zwei Jahre zurückliegen, für die Beurteilung der Glaubwürdigkeit und Verlässlichkeit eines potenziellen Vertragspartners als weniger gewichtig im Vergleich zu positiven Bewertungen resultierend aus aktuellen Projekten angesehen werden [BJEK02].

In Abbildung 11 ist ein mögliches Bewertungsschema für die Beurteilung eines Auftragnehmers aus Sicht eines Auftraggebers dargestellt. Um sicher zu stellen, dass tatsächlich nach jeder Transaktion alle Beteiligten die jeweiligen Vertragspartner bewerten – eine Voraussetzung für ein sinnvolles und verlässliches Bewertungssystem, ist das Formular möglichst kurz und übersichtlich zu halten. Darüber hinaus ist es für den Bewerter komfortabler, im Vergleich zur Festlegung auf eine Bewertung zwischen beispielsweise den diskreten Werten 1 bis 5, für die einzelnen Bewertungskriterien die Leistungen mit stufenlosen Reglern zwischen den beiden Randwerten „sehr gut“ bis „mangelhaft“ zu beurteilen. Zur Verarbeitung der über Regler eingegebenen Bewertungen wurde eine sehr feine Unterteilung des Wertebereichs hinterlegt, so dass je nach Reglerstellung die entsprechenden Zwischenwerte unmittelbar ausgelesen werden können.

Die Auswertung eines solchen Bewertungsprofils kann von unterschiedlichen Unternehmen individuell erfolgen. Hierbei besteht die Möglichkeit, zum einen die Bewertungen innerhalb eines Projekts mit unterschiedlichen Gewichtungen zu berücksichtigen. Zum anderen gibt es die Möglichkeit, zur Beurteilung eines Bauunternehmens die einzelnen Projektbewertungen beispielsweise unter Berücksichtigung der Vertrauenswürdigkeit des Bewerters oder der Projektgröße unterschiedlich zu gewichten. Folglich können verschiedene Unternehmen denselben Nachunternehmer als unterschiedlich vertrauenswürdig einstufen. Das Bewertungssystem ist für alle am Marktplatz registrierten Agenten zugänglich. Die jeweiligen Profile sind dabei zur differenzierten unternehmensspezifischen Auswertung im XML-Format zum Download verfügbar.

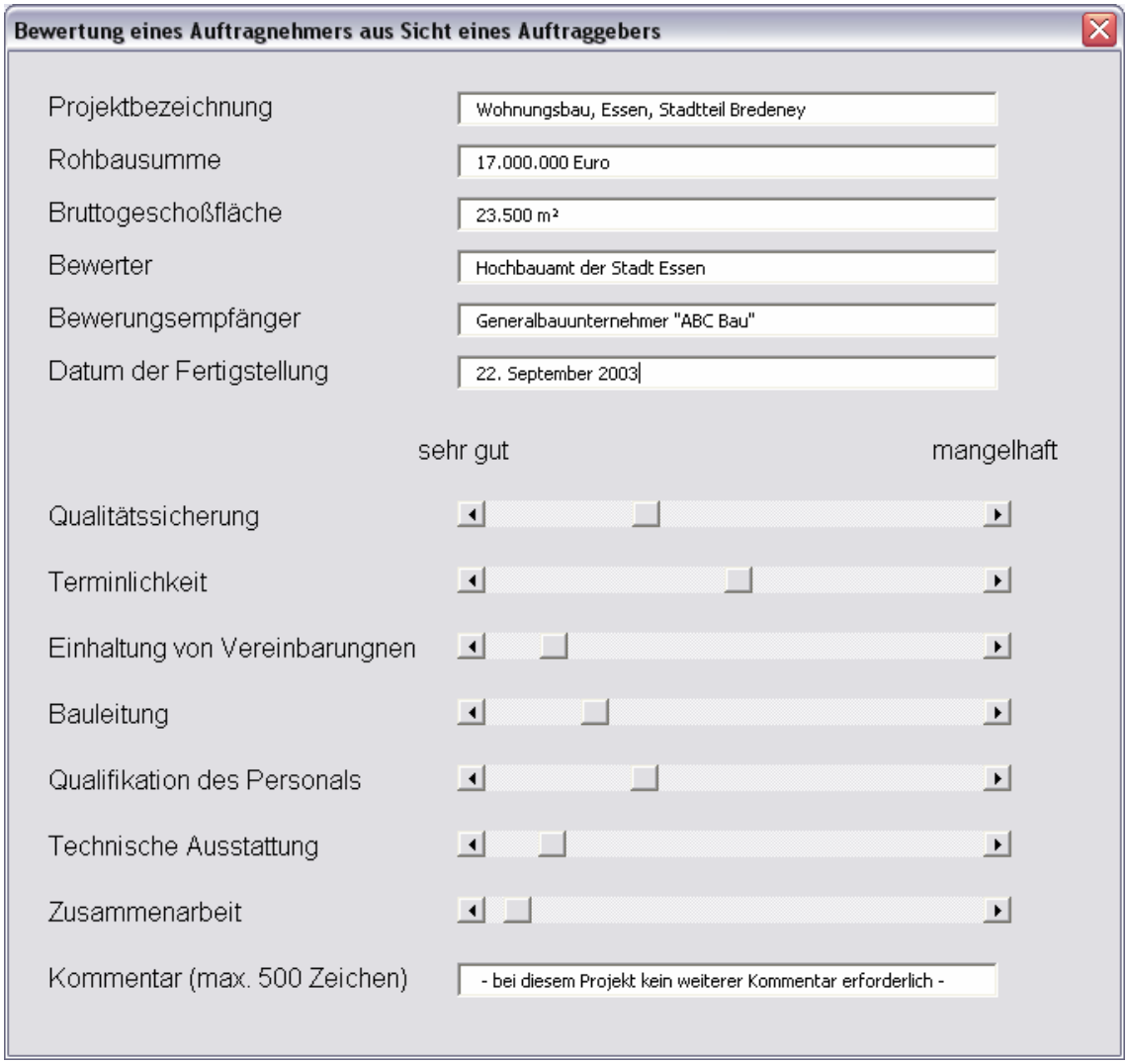


Abbildung 11: Bewertungsschema zur Bewertung eines AN aus Sicht des AG

Unabhängig von der individuellen Auswertungsmöglichkeit gilt jedoch besonders für Unternehmen, die noch wenig eigene Erfahrungswerte mit bereits registrierten Unternehmen des Marktplatzes haben, folgender Grundsatz:
Je größer die Anzahl und das Volumen der von einem Bauunternehmen in jüngerer Vergangenheit ausgeführten Projekte und je besser die Qualität der von unterschiedlichen Unternehmen erhaltenen Bewertungen ist, desto vertrauenswürdiger kann dieses Unternehmen sowohl im Hinblick auf eine Zusammenarbeit, als auch im Hinblick auf Verlässlichkeit und Ehrlichkeit in der Rolle des Bewerters angesehen werden.

4.5 Agentenbasierte Verhandlungen

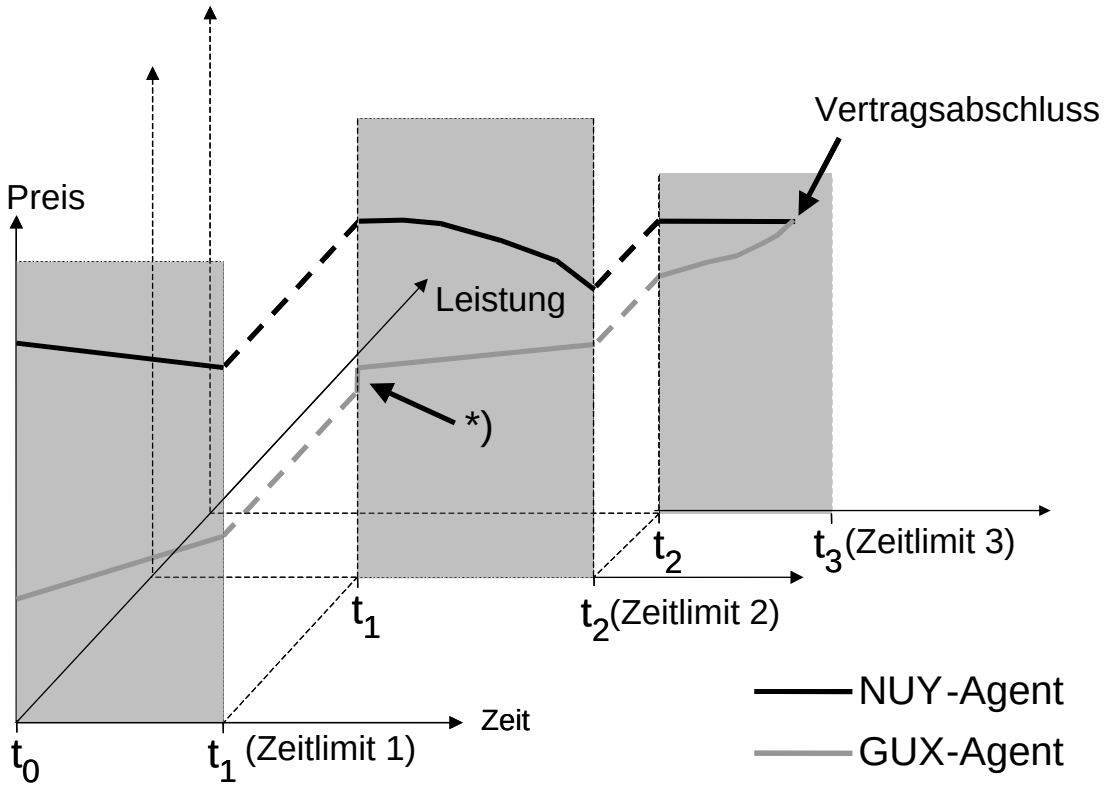
Zwischen öffentlichem Auftraggeber und Auftragnehmer besteht gemäß § 24 Nr. 1 Abs. 1-3 VOB/A nach Öffnung der Angebote lediglich die Möglichkeit eines so genannten Bietergespräches. Darin können bestehende Unklarheiten bezüglich des abgegebenen Angebots – beispielsweise in Bezug auf die mit dem Angebot eingereichten Nebenangebote oder Änderungsvorschläge – oder Fragen hinsichtlich der jeweiligen Preisermittlungen (Kalkulationen) im Leistungsverzeichnis sowie Bezugsquellen für die vorgesehenen Baustoffe und –teile beseitigt werden. Darüber hinaus kann der Auftraggeber sich einen Eindruck über die technische sowie wirtschaftliche Leistungsfähigkeit eines Bieters verschaffen. Verhandlungen über Preise sowie über die ausgeschriebenen Leistungen im eigentlichen Sinne sind jedoch untersagt.
Demgegenüber ist die Möglichkeit von Vertragsverhandlungen zwischen Generalunternehmern auf der einen und Nach- bzw. Zulieferunternehmen auf der anderen Seite sehr wohl gegeben und bedeutet insbesondere für den Generalunternehmer einen wichtigen Bestandteil in der wirtschaftlichen Auswahl adäquater Vertragspartner. Für das Zustandekommen eines entsprechenden Vertrages ist zunächst die Einigung über die Vertragskonditionen zwischen beiden Parteien erforderlich. Diese gestaltet sich gewöhnlich in einer stufenweisen Annäherung beider Ausgangspositionen. Je geringer dabei das für den Nachunternehmer zu vergebende Auftragsvolumen ausfällt, desto stärker konzentrieren sich in aller Regel die Verhandlungen ausschließlich auf den Angebotspreis. Hierbei können, bedingt durch unterschiedliche unternehmensspezifische Voraussetzungen, unterschiedliche Vorgehensweisen, d.h. unterschiedliche Strategien, angewandt werden. Dieses führt folglich zu unterschiedlichen Verhandlungsergebnissen. Bei größeren Auftragsvolumina oder bei sehr stark differierenden Ausgangspositionen der potenziellen Vertragspartner ist die Wahrscheinlichkeit deutlich größer, dass innerhalb eines für die Verhandlungen vorgesehenen Zeitraumes keine Einigung unter den Ver-

tragspartnern erzielt wird. Die Konsequenz aus dem Scheitern der Vertragsverhandlungen kann dazu führen, dass ein möglicher neuer Vertragspartner identifiziert werden muss, mit dem neue Verhandlungen gestartet werden. Die Alternative ist, dass mit dem ersten Vertragspartner die Verhandlungen nach einer Modifikation der Rahmenbedingungen fortgesetzt werden. Diese Variante kann als eine in der Praxis häufig vorkommende Alternative angesehen werden.

Die Verhandlungen selbst gestalten sich in der Regel sehr zeit- und arbeitsintensiv. Neben der eigentlichen Verhandlung sind je nach Größenordnung des Projekts in einer mehr oder weniger umfangreichen Vorbereitungsphase unter Berücksichtigung der unternehmens- und projektspezifischen Rahmenbedingungen geeignete Vorgehensweisen zu entwickeln. Dabei ist weiterhin im Vorfeld zu analysieren, wie die eigene Strategie im Laufe der Verhandlung zu modifizieren ist, wenn der Verhandlungspartner sich mit seinen Verhandlungsschritten anders verhält, als dies im Hinblick auf das Erreichen des eigenen Verhandlungsziels erwartet wird. Darüber hinaus wurde im Rahmen dieser Arbeit das Einbeziehen von unterschiedlichen Verhandlungsparametern in einem mehrstufigen Ablauf untersucht. Das Ziel ist dabei, neue Konzepte für einen in hohem Grad automatisierten Verhandlungsablauf zu entwickeln, der auf Softwareagenten übertragen werden kann. In Abbildung 12 sowie in dem folgenden Szenario wird ein möglicher Ablauf kurz aufskizziert:

Szenario

Der Agent des Generalunternehmers „GUX“ hat für einen Teil des Leistungsverzeichnisses, der an einen Nachunternehmer vergeben werden soll, mehrere Bauunternehmen als ausreichend qualifiziert identifiziert. Diesen übermittelt er in einem ersten Schritt ein entsprechend zusammengestelltes Teilleistungsverzeichnis (Teil-LV), verbunden mit der Aufforderung zur Abgabe eines Angebots. Hierbei kann durch eine gewisse Anzahl an kontaktierten Nachunternehmern in der Regel ein besseres Preis-Leistungs-Verhältnis erzielt werden. Die Nachunternehmeragenten erstellen jeweils unter Berücksichtigung von unternehmensspezifischen Konditionen und Auftragslage ein Angebot und senden dieses nach Genehmigung durch ihren Initiator als rechtlich verbindlich an den Agenten der Firma „GUX“ zurück. Dieser analysiert die eingehenden Angebote auf Plausibilität und vergleicht sie untereinander. In einem weiteren Schritt werden die 3 bis 5 lukrativsten Angebote ausgewählt – hierbei wurde auch das Angebot der Firma „NUY“ als sehr geeignet identifiziert. Der GUX-Agent, der mit marküblichen Preisen ein eigenes Vergleichsangebot erstellt hat, entwickelt anschließend individuelle, auf die



*) Preisliches Entgegenkommen bei geänderten Leistungen des Vertrages

Abbildung 12: Schematisierter Ablauf von Verhandlungen

jeweiligen Angebote der Nachunternehmer angepasste Verhandlungsstrategien. Hierzu bereitet er jeweils Gegenangebote vor und übersendet diese zeitlich versetzt – ebenfalls nach Genehmigung durch seinen Initiator – als rechtlich verbindliche Vorschläge an die entsprechenden Nachunternehmer. Da der Auftrag letztendlich nur einmal vergeben werden kann, sendet der GUX-Agent jeweils immer nur einem Nachunternehmer einen verbindlichen Vorschlag zu, der zeitlich befristet ist. Jedoch können die Verhandlungen parallel geführt werden, in dem Sinne, dass der Agent der Firma „GUX“ vor der Unterbreitung eines Gegenangebots zunächst andere Nachunternehmer kontaktiert. Für die erste Phase der Verhandlungen wurden mit der Aufforderung zur Angebotsabgabe die vertraglichen und inhaltlichen Rahmenbedingungen seitens der Firma GUX vorgegeben – der Verhandlungsgegenstand bezieht sich zunächst lediglich auf den Angebotspreis.

Im weiteren Verlauf dieses Szenarios soll der Fokus auf die Verhandlungen zwischen den Agenten der Unternehmen GUX und NUY gerichtet werden:

Von beiden Seiten (GUX und NUY) können mehrere Gegenangebote übermittelt werden. Als Abbruchkriterium wird für diese erste Phase neben einer möglichen Einigung der Vertragspartner auch eine zeitliche Begrenzung der Verhandlungsdauer Δt festge-

legt. Falls die Verhandlungen über den Preis innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens nicht zu einer Einigung führen, wird die Möglichkeit gegeben, einzelne Bestandteile oder Rahmenbedingungen des Vertrages zu modifizieren. In Abbildung 12 ist dieser Ablauf vereinfacht in einem dreidimensionalen Koordinatensystem dargestellt. Hierbei ist in der dritten Dimension die Komponente „Leistung“ aufgetragen. Nachdem nun das Zeitlimit für die erste Verhandlungsphase ohne Ergebnis erreicht ist, kann das vertragliche Leistungsbild abgeändert werden. Dieses betrifft beispielsweise Modifikationen der vertraglichen Rahmenbedingungen, jedoch sind auch Änderungen oder Ergänzungen einzelner Positionen des Leistungsumfangs möglich. Solche Änderungsvorschläge der Rahmenbedingungen des Vertrages können sowohl von der Firma GUX als auch von der Firma NUY vorgeschlagen werden. Dieses geschieht entweder durch die Agenten selbst, sofern es sich um Änderungen handelt, die sie mit ihrer jeweiligen Ontologie erfassen und innerhalb ihrer jeweiligen Vollmachten akzeptieren können, oder in Interaktion mit ihren jeweiligen Initiatoren.
Unter den modifizierten Rahmenbedingungen starten die Agenten der Firma GUX und NUY erneut mit den Verhandlungen. Der Startpunkt dieser Verhandlungen ist jeweils das Endergebnis der vorangegangenen Verhandlungsphase. Im Rahmen dieses Szenarios erzielen die Softwareagenten in der dritten Verhandlungsrunde eine Einigung. Aus Abbildung 12 wird ersichtlich, dass die Strategien beider Agenten in den einzelnen Verhandlungsrunden unterschiedlich sind. Beispielsweise hängt die Strategie des GUX-Agenten für eine bevorstehende Verhandlungsphase mit dem NUY-Agenten davon ab, ob er bereits von anderen Nachunternehmern, mit denen parallel verhandelt wird, lukrativere Angebote erhalten hat, oder ob die Verhandlungen mit den übrigen Nachunternehmeragenten bereits gescheitert sind. Darüber hinaus ist es während einer Verhandlungsphase sinnvoll, analog der Vorgehensweise bei persönlichen Verhandlungen, nicht starr an der eigenen Strategie festzuhalten, sondern vor der Abgabe eines Gegenangebots das Angebot des Verhandlungspartners zu analysieren und seine Strategie gegebenenfalls daran anzupassen. Hierauf wird in Kapitel 4.5.3 bzw. 4.5.4 näher eingegangen. Durch diese erweiterte Möglichkeit der Verhandlung besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, das in seiner Gesamtheit günstigste Angebot zu ermitteln.

Wie bereits zur Beurteilung eines potenziellen Partners für eine Bietergemeinschaft erforderlich, ist auch für die hier beschriebenen Vertragsverhandlungen das dem Gegenüber entgegengebrachte Vertrauen für die Entwicklung einer Strategie sowie das Verhalten innerhalb der Verhandlungen von essentieller Bedeutung. Die Grundlage hierfür bildet ebenfalls das bereits ausführlich unter 4.4.2 beschriebene Bewertungssystem, das

zur Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit eines Verhandlungspartners herangezogen wird.

Für solche recht aufwändigen Verhandlungsabläufe wurden im Rahmen dieser Forschungsarbeit Modelle und Konzepte für die Übertragung auf Softwareagenten entwickelt. Hierbei werden auch hohe Anforderungen an die Vertraulichkeit und Unleugbarkeit der Prozessschrittes gestellt, so dass potenzielle Nutzer dazu bereit sind, derart sensible Geschäftsabläufe wie Verhandlungen auf Softwareagenten zu übertragen. Aus rechtlicher Sicht werden alle verbindlichen Entscheidungen, aus denen eine Rechtsfolge entsteht, ausschließlich von menschlichen Nutzern ausgeführt beziehungsweise freigegeben.

4.5.1 Analyse der Verhandlungsparameter

Wie bereits im Szenario beschrieben, werden zunächst im Vorfeld von Verhandlungen im Rahmen einer Wertungsphase die drei bis fünf als am lukrativsten erscheinenden Angebote herausgefiltert. Entscheidend ist hierbei, dass es sich bei den eingegangenen Angeboten bereits um rechtsverbindliche, durch den jeweiligen menschlichen Nutzer der Nachunternehmen digital signierte Angebote handelt, die durch den Generalunternehmer unmittelbar angenommen werden können. Darüber hinaus hat der Generalunternehmer durch sein eigens erstelltes Vergleichsangebot eine Vorstellung der Preisgrößenordnung des an den Nachunternehmer zu vergebenden Teil-LV.
Neben der Auswahl der lukrativsten und somit für weitere Verhandlungen prädestinierten Angebote sind auch die unternehmenseigenen Rahmenbedingungen für weitere Verhandlungen zu analysieren. Hierbei sind je nach Verhandlungsseite unterschiedliche Parameter zu berücksichtigen. Der Generalunternehmer wird in erster Linie daran interessiert sein, den Auftrag mit möglichst kostengünstigen, jedoch qualitativ hochwertig arbeitenden Nachunternehmern auszuführen, um einerseits den Auftraggeber zufrieden zu stellen, aber auch seinen Gewinn zu maximieren. Für den Nachunternehmer liegt der Schwerpunkt der Auftragsannahme dagegen eher in einer ganzjährigen kontinuierlich hohen Auslastung seiner Kapazitäten zu einem auskömmlichen Preis, der ihm neben dem Gewinn und der Deckung der laufenden Kosten auch Spielraum für künftige Investitionen lässt. Während also der Generalunternehmer in der Verhandlung versuchen wird, den Angebotspreis zu drücken, wird der Nachunternehmer bemüht sein, seinen ersten Angebotspreis möglichst zu halten.

Aus Sicht des *Generalunternehmers* stellen sich demnach im Rahmen der Vorbereitungen auf ein Verhandlungsgespräch und der damit einhergehenden Entwicklung einer adäquaten Strategie folgende Fragen, die von dem entsprechenden Softwareagenten zu evaluieren sind:

- Wie stark ist die Abhängigkeit von einem speziellen Nachunternehmer? Liegen gegebenenfalls andere aussichtsreichere Angebote vor?
- Wie weit differieren die eigenen Preisvorstellungen für den zu vergebenden Teil des LV und das eingegangene Nachunternehmerangebot? Ist das Angebot realistisch?
- Liegen bereits Erfahrungen mit dem Verhandlungspartner aus früheren Projekten vor? Bestehen mit dem Nachunternehmer langjährige gute Geschäftsbeziehungen, auf die aufgebaut werden kann?
- Wenn bereits Erfahrungen mit diesem Nachunternehmer vorliegen, ist zu überprüfen, wie die vorangegangenen Verhandlungen verlaufen sind. Wurden dabei im Hinblick auf weitere Verhandlungen bereits Zugeständnisse gemacht, die für die kommenden Verhandlungen zu berücksichtigen sind?
- Welcher Betrag kann maximal an den Nachunternehmer gezahlt werden, um das Projekt auch in diesem Teilbereich möglichst ohne Verluste abzuwickeln?

Demgegenüber stellen sich aus Sicht eines *Nachunternehmers* ähnliche Fragen zur Entwicklung einer geeigneten Verhandlungsstrategie, die im Folgenden vom entsprechenden Verhandlungsagenten analysiert werden:

- Wie stark ist das Unternehmen im vorgesehenen Zeitrahmen der Projektausführung personell ausgelastet? Daraus ergibt sich unmittelbar die Frage, wie dringend das Unternehmen von dem Auftrag abhängig ist?
- Hat das eigene Unternehmen bereits mehrfach für den Generalunternehmer gearbeitet und plant dieses auch in Zukunft, oder ist der GU noch relativ unbekannt? Wie sehr wird diesem GU dann vertraut?
- Wie ist die letzte Verhandlung mit diesem Generalunternehmer verlaufen? Wurden hierbei Preisnachlässe gewährt – im Hinblick auf mögliche künftige gemeinsame Projekte? Ist dieses nun zu berücksichtigen?
- Welches ist der mindestens zu erzielende Preis für die Leistungen, um eine kostendeckende und möglichst gewinnbringende Ausführung der Arbeiten zu erzielen?

- Nach dem ersten Gegenangebot ergibt sich die Frage, ob der Generalunternehmer bereit ist, die ihm offerierte Qualität zu bezahlen, oder ob es ihm einzig darum geht, den Angebotspreis zu drücken? Ist das Gegenangebot realistisch?

Die Analyse dieser Rahmenbedingungen bildet die Grundlage für die im folgenden Abschnitt beschriebene Erstellung einer adäquaten Strategie im Vorfeld der vertraglichen Verhandlungen.

4.5.2 Entwicklung adäquater Verhandlungsstrategien

Die Strategie für eine Verhandlung ist sehr individuell und von vielen Einflussfaktoren abhängig. Im Rahmen dieser Arbeit wird zunächst die Seite des Nachunternehmers im Hinblick auf das prinzipielle Vorgehen betrachtet. In einem ersten Schritt werden hier die preislichen Grenzbereiche festgelegt, wobei die obere Grenze vom rechtsverbindlich abgegebenen ersten Angebotspreis gebildet wird. Das untere Preislimit ergibt sich aus dem errechneten Preis, zu dem das Projekt vom Nachunternehmer ohne Verluste gerade noch realisierbar ist. Das Ziel der Verhandlung besteht nun darin, eine Einigung innerhalb der beiden Grenzen zu erzielen. Im Folgenden wird die für das Erreichen des Verhandlungsziels geeignete Strategie unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen ermittelt. Hierzu wird zunächst aus dem bereits erwähnten Bewertungssystem ein Basisvertrauen ermittelt, das gegenüber dem jeweiligen Verhandlungspartner besteht. Dieses geht als ein wesentlicher Parameter in die Auswahl einer adäquaten Strategie ein. In Abbildung 13 werden drei mögliche Varianten für die unterschiedlichen Vorgehensweisen graphisch dargestellt.

Variante 1

Eine recht einfache Strategie besteht darin, im Verlauf der Verhandlung dem Partner schrittweise entgegen zu kommen, in der Erwartung, dass der Gegenüber sich ähnlich verhält. Hierbei ist eine Einigung „in der Mitte“ zu erwarten – beide Parteien gehen vergleichbar große Kompromisse ein. Diese Variante ist aus Sicht des Auftragnehmers anzuwenden, wenn nicht unmittelbar eine Abhängigkeit, jedoch beispielsweise aus Prestigegründen ein Interesse am Auftrag vorhanden ist.

Variante 2

Dieser Funktionsverlauf wird dann erreicht, wenn eine hohe Abhängigkeit vom Auftrag besteht, um beispielsweise ein bevorstehendes Defizit an Aufträgen zu kompensieren. Hierbei kann je nach Analyse der Rahmenbedingungen eine „Feinjustierung“ zu einem steileren oder flacheren Funktionsverlauf der geplanten Verhandlungsstrategie führen. Durch die hohe Abhängigkeit vom Auftrag wird sich der Agent in der Verhandlung relativ schnell an den unteren Grenzwert annähern, wobei dieser Wert nicht zwangsläufig am Zeitlimit der ersten Verhandlungsphase erreicht werden muss (siehe Abbildung 13).

Variante 3

Im Gegensatz zur Variante 2 liegt bei Variante 3 eine sehr geringe Abhängigkeit vom Auftrag vor. Folglich verbleibt der Agent zunächst über mehrere Verhandlungsschritte auf dem Niveau seines ersten Angebotspreises. Erst kurz vor Ablauf des Zeitlimits bewegt sich der Verhandlungsagent dem Partner entgegen. Darüber hinaus kann der Agent auch bis zum Ablauf einer Verhandlungsphase auf dem Niveau seines ersten Angebotspreises verharren, wenn beispielsweise die Abhängigkeit vom entsprechenden Auftrag gegen Null geht.

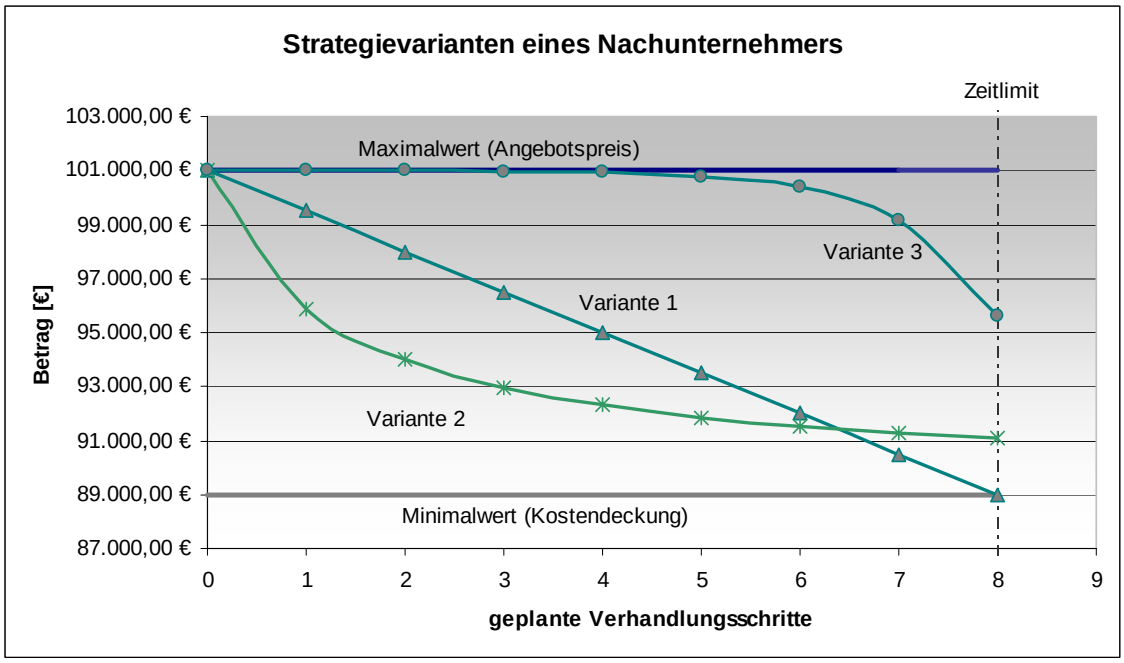


Abbildung 13: Verhandlungsstrategien eines Nachunternehmers

Mit den drei vorgestellten Varianten wurden lediglich prinzipielle Möglichkeiten beispielhaft aufgezeigt. Zweifelsohne ist es ebenfalls möglich, die einzelnen Varianten zu kombinieren. Zu beachten ist allerdings, dass die Funktionen für die Strategie des Nachunternehmers monoton fallend verlaufen, was bedeutet, dass der Preis zwar über mehrere Verhandlungsschritte auf einem Niveau stagnieren kann, aber sich nicht von der Position des Verhandlungspartners entfernen darf.

Aus Sicht des Generalunternehmers ist ebenfalls die Monotonie des Funktionsverlaufs gefordert, jedoch in steigender Form, da dieser zunächst versucht, einen möglichst niedrigen Preis für die Leistung zu bezahlen. Darüber hinaus verhandelt der Generalunternehmeragent im Unterschied zum Nachunternehmeragenten in der Regel mit mehreren Nachunternehmeragenten gleichzeitig über denselben Teilbereich eines Projekts. Hierzu werden vom Generalunternehmeragenten im Vorfeld der Verhandlungen aus allen subsumierten Angeboten die lukrativsten Offerten identifiziert. Es ist zu beachten, dass dem Generalunternehmer-Agenten mit den ausgefüllten Teil-Leistungsverzeichnissen der potenziellen Nachunternehmen mehrere Angebote in rechtlich verbindlicher Form vorliegen. Im Rahmen der Verhandlungen kann der Generalunternehmeragent jedoch immer nur ein Gegenangebot an einen Nachunternehmer abgeben, das ebenfalls rechtlich verbindlich ist. Je nach Strategie und unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen hat der Generalunternehmer-Agent gegebenenfalls in Interaktion mit seinem Initiator zu entscheiden, in welcher Reihenfolge und in welchen zeitlichen Abständen – einschließlich der Bindefristen an das eigene Angebot – die entsprechenden Gegenangebote den beteiligten Nachunternehmeragenten unterbreitet werden.

Solange sich die Agenten beider Seiten dabei in den von ihren jeweiligen menschlichen Nutzern autorisierten Bereichen bewegen, können sie die Verhandlung in autonomer Weise führen.

Für die Implementierung einer automatisierten Strategieentwicklung in die Struktur eines Softwareagenten wurde als Ausgangsbasis eine geschlossene mathematische Funktion der folgenden Form gewählt:

$$f(x) = (1 - x^p) \cdot (S - E) + E \tag{5}$$

$$p(A) = E^{-(A - 0{,}5)} \tag{6}$$

Mit:

x auf 1 normierter zeitlicher Verhandlungsablauf; Wertebereich [0 ; 1]

p Hilfsvariable, errechnet aus der Gesamtabhängigkeit (A) vom Auftrag

A aus mehreren gewichteten Einflussgrößen ermittelte Abhängigkeit vom Auftrag; Wertebereich [0 % ; 100 %]

S Startwert, entspricht dem Wert des ersten Angebots

E Endwert, entspricht dem zur Kostendeckung minimal zu erzielenden Preis

In Abbildung 14 sind drei unterschiedliche Verläufe der Hilfsfunktion p zur Veranschaulichung aufgetragen. Der Wertebereich der Ordinate kann hierbei je nach Endwert E stark variieren.

Für die Strategiefunktion selbst gilt:
Je stärker die Abhängigkeit von einem Auftrag ist, je näher also der Parameter A an dem Grenzwert 100 % liegt, desto kleiner wird der Parameter p und umso schneller nähert sich der Verlauf der Verhandlungskurve dem unteren Grenzwert an. Somit ergibt sich der degressive Verlauf (vergleiche Variante 2 in Abbildung 13). Analog dazu führt

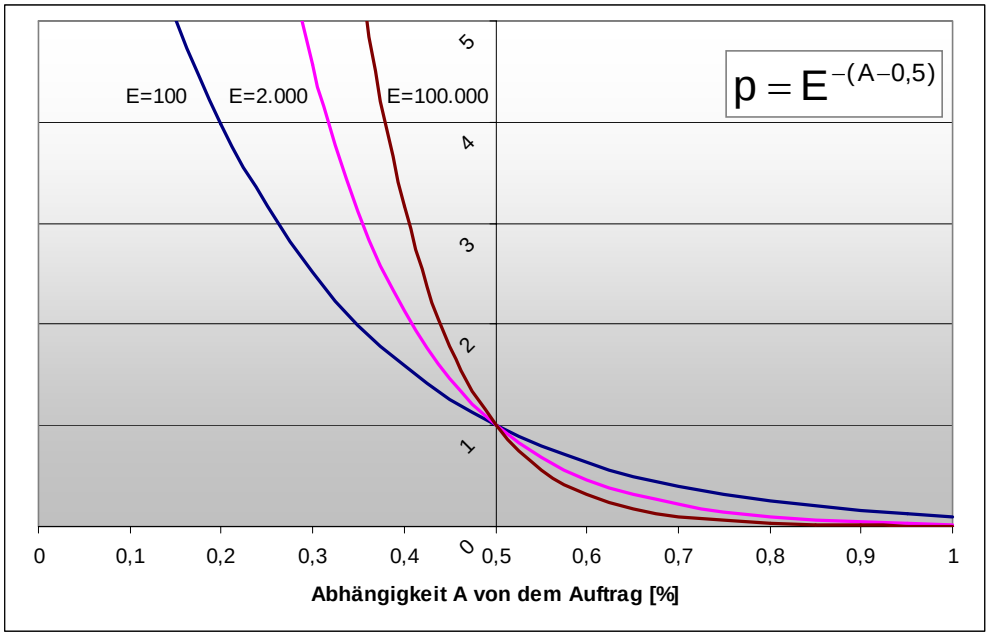


Abbildung 14: Funktionsverlauf des Parameters p für drei unterschiedliche Endwerte E

eine geringe Abhängigkeit – A geht gegen 0 % – zu einem sehr hohen Wert von p und damit zu einem progressiven Verlauf der Funktion (vergleiche hierzu Variante 3 in

Abbildung 13). Entsprechend führt eine mittlere Abhängigkeit von 50 % zu dem in Abbildung 13 aufgezeigten linearen Verlauf der Variante 1. Für diese geschlossene Lösung zur Erstellung einer Strategie wurden im Rahmen dieser Arbeit die folgenden beiden Abweichungen implementiert:

- Für den Fall, dass das erste Gegenangebot S_{GU} des Generalunternehmeragenten preislich über dem vom Nachunternehmeragenten für seine Strategie errechneten Endwert E_{NU} liegt, kann der Wert des Gegenangebots S_{GU} vom Nachunternehmeragenten als eigener neuer Endwert $E_{NU,neu}$ angesetzt werden. Folglich berechnet der Nachunternehmeragent eine aus seiner Sicht optimierte Strategiekurve. Darüber hinaus ist es für den Nachunternehmer realisierbar und sinnvoll, den eigenen Endwert E_{NU} mit jedem weiteren Gegenangebot des Generalunternehmers zur Ermittlung seiner Strategie nach oben zu korrigieren.
- Bei einem sehr stark progressiven Verlauf der Strategiefunktion sollte der letzte Verhandlungsschritt nicht zwangsläufig dem errechneten Endwert E entsprechen. Dieses wäre jedoch der Fall bei konsequenter Anwendung des geschlossenen Lösungsansatzes. Folglich kann die absolute Differenz des preislichen Entgegenkommens vom aktuellen zum nächsten Verhandlungsschritt ($Step_n$ zu $Step_{n+1}$) in Abhängigkeit von der Differenz des vorangegangenen Verhandlungsschritts zum aktuellen Verhandlungsschritt ($Step_{n-1}$ zu $Step_n$), beispielsweise auf den zweifachen Wert, begrenzt werden. Mit dieser Ausnahme ist es auch in der geschlossenen Lösung möglich, bei einer Abhängigkeit vom Auftrag von 0 % während der kompletten Verhandlung auf einem preislichen Niveau zu verbleiben. Darüber hinaus wird verhindert, dass der Agent bei sehr geringer Abhängigkeit vom Auftrag bis zum vorletzten Verhandlungsschritt annähernd auf dem Niveau des Startwerts verbleibt und im letzten Schritt ein unrealistisch großes preisliches Entgegenkommen bis auf das festgelegte untere Preislimit (Endwert E) ausführt.

Analog zu Nachunternehmeragenten wird die gleiche geschlossene Form der Funktion auch für Generalunternehmeragenten verwendet. Hierbei ist lediglich der Startwert S mit dem Endwert E zu vertauschen, da der GU zunächst mit einem niedrigeren Preis beginnt und diesen im Verlauf der Verhandlung anhebt. Für die Ermittlung des Startwerts liegen dem GU-Agent in der Regel neben dem eigenen Vergleichsangebot auch alle Nachunternehmerangebote und somit preisliche Richtwerte vor. Der Generalunternehmeragent kann mit diesen Informationen individuell für die Verhandlungen mit den

einzelnen Nachunternehmern jeweils eine eigene Strategie erstellen. Darüber hinaus legt der GU-Agent in Interaktion mit seinem Initiator fest, in welcher Reihenfolge er mit den einzelnen Nachunternehmeragenten verhandelt. Im Regelfall wird der GU-Agent zunächst die Verhandlungen mit NU-Agenten starten, die eher weniger lukrative Angebote abgegeben haben. Durch die damit verbundene hohe Anzahl an Möglichkeiten und Kombinationen wird deutlich, dass bei Verhandlungen auf Seiten des Generalunternehmers im Vergleich zum Nachunternehmer ein deutlich höherer Koordinations- und damit Rechenaufwand zu bewältigen ist.

4.5.3 Durchführung der Verhandlungen

Die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellten Strategien bilden die Grundlage für das geplante automatisierte Vorgehen. Ermittelt werden diese aus der Analyse der aktuellen Rahmenbedingungen unmittelbar vor dem Start der Verhandlung. Zweifelsohne ist der Einsatz von Softwareagenten hierbei wenig hilfreich, wenn diese lediglich ihre Strategiefunktion jeweils unabhängig vom Verhalten des Verhandlungspartners anwenden, da so ihre Strategie vom Verhandlungspartner recht leicht antizipierbar ist und folglich zu ihrem Nachteil verwendet werden kann.
Demzufolge entscheidet der Agent im Rahmen einer Verhandlung vor der Abgabe eines jeden Angebots, ob er an der geplanten Strategie festhält, diese modifiziert oder verwirft. Hierzu ermittelt der Agent nach der Abgabe eines Angebots einen Erwartungswertbereich für ein mögliches Gegenangebot, wobei er sich innerhalb seiner vom Benutzer autorisierten preislichen Grenzbereiche orientiert. Sobald ein entsprechendes Gegenangebot beim Agenten eintrifft, kann er im Rahmen seines Verhandlungsspielraumes zwischen folgenden Varianten entscheiden:

- Die geplante Strategie wird planmäßig weitergeführt. Dieses ist der Fall, wenn das Gegenangebot in dem ermittelten Erwartungswertbereich liegt.
- Die Strategie wird modifiziert, wenn das Gegenangebot an Grenzen des Erwartungswertbereichs liegt oder geringfügig von diesen abweicht.
- Die Strategie wird verworfen, beziehungsweise die Verhandlungen werden abgebrochen. Diese Möglichkeit wird dann angewendet, wenn ein Gegenangebot erheblich vom erwarteten Wertebereich abweicht oder als unrealistisch identifiziert wird.

Für die Adaption der eigenen Strategie an das Verhalten des Verhandlungspartners besteht während einer Verhandlung für den Softwareagenten eine Vielzahl von Möglichkeiten. Diese unterschiedlichen Varianten entsprechen verschiedenen Taktiken, die in verhaltens-, zeit- und ressourcenorientiert eingeteilt werden können. Ein Beispiel für eine verhaltensgesteuerte Taktik innerhalb einer Verhandlung ist die Tit-for-tat-Variante, die in [FASJ98] näher erläutert ist. Entsprechend der Bedeutung „wie du mir, so ich dir“, richtet sich das Verhalten des einen Agenten nach dem Verhalten des Verhandlungspartners. Kommt der eine Verhandlungsagent um den Schritt Δx entgegen, so geht der andere Agent, der diese Taktik anwendet, ebenfalls um den Schritt Δx auf den Verhandlungspartner zu. Dementsprechend verbleibt der Agent auf seinem preislichen Verhandlungsniveau, wenn auch der andere sich nicht auf ihn zu bewegt. Die Schrittweite Δx hängt davon ab, ob eine relative, eine absolute oder auch eine durchschnittliche Tit-for-Tat-Taktik zum Einsatz kommt, wobei für die relative Variante das prozentuale Entgegenkommen errechnet und für die Erstellung des Gegenangebots angewendet wird. Bei der durchschnittlichen Form dieser Taktik werden alle zurückliegenden Angebote des Verhandlungspartners berücksichtigt, um ein geeignetes Gegenangebot zu ermitteln.

Während die errechnete Strategiefunktion eher als übergeordnete Leitrichtung gesehen werden kann, um ein Verhandlungsziel zu erreichen, wird das innerhalb der Verhandlungsphase gewählte Vorgehen als Taktik bezeichnet, die von Verhandlungsschritt zu Verhandlungsschritte sehr flexibel geändert werden kann. Die Intention des Einsatzes von unterschiedlichen Taktiken ist, durch eine willkürlich erscheinende Abweichung von der eigenen Strategiefunktion eine gegnerische Antizipation des eigenen Vorgehens möglichst zu verhindern. Eine sehr anschauliche Darstellung von Taktik und Strategie ist in Abbildung 15 gegeben.

Ein wesentlicher Vorteil eines Softwareagenten im Vergleich zum Nutzer ist hierbei, dass dieser mit Hilfe von Inferenzmechanismen alle vorgegebenen Randbedingungen einschließlich der Historie von Verhandlungen mit dem gleichen Partner parallel berücksichtigen kann. Je komplexer sich also die Verhandlungen, beispielsweise mit verschiedenen Agenten gestalten, umso mehr können durch den Einsatz von Agenten positive Effekte erzielt werden. Dieses setzt voraus, dass der Agent Zugriff auf alle entscheidungsrelevanten Daten hat und auf Grund seiner Struktur in der Lage ist, alle er-

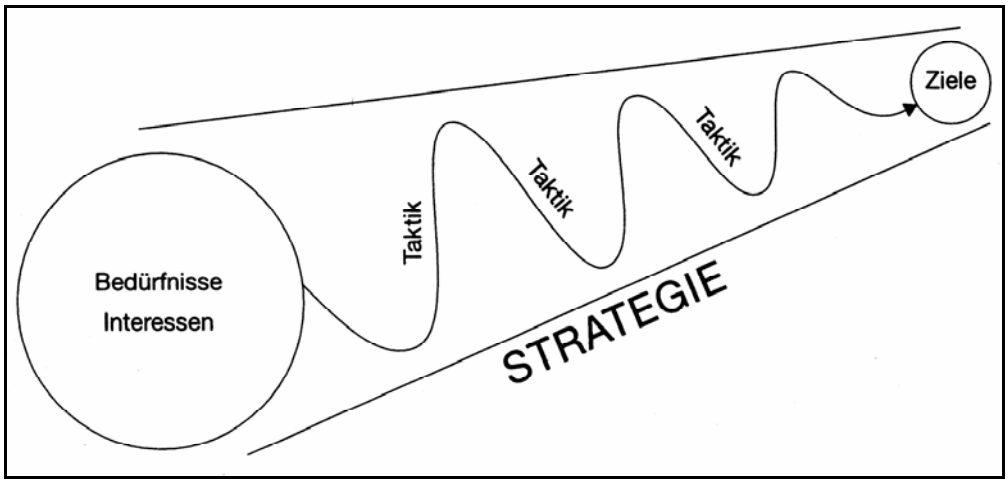


Abbildung 15: Das strategische Umfeld der Verhandlung nach [SANE97]

forderlichen Zusammenhänge zu erfassen. Für zielgerichtete Verhandlungen wurde im Rahmen des Forschungsprojekts für die Verhandlungsdauer ein fester Zeitrahmen festgelegt. Dementsprechend wird mit einem Angebot auch eine entsprechende Bindefrist vereinbart. Dieses ist gerade für den Generalunternehmeragenten wichtig, der mit mehreren Nachunternehmeragenten gleichzeitig verhandelt, da er zu jedem Zeitpunkt t immer nur ein rechtsverbindliches Angebot an einen Nachunternehmeragenten unterbreitet haben darf. Erfolgt unter den verhandelnden Agenten keine Einigung vor dem Erreichen des festgesetzten Zeitlimits, so besteht die Möglichkeit, die Verhandlungen unter der Modifikation von vertraglichen Rahmenbedingungen erneut aufzunehmen (siehe Kapitel 4.5.5). Ausgangslage für die weiteren Verhandlungen ist die jeweilige Position der Agenten beim Scheitern der vorangegangenen Verhandlungsphase.

Entscheidend für den Einsatz von Softwareagenten für solch sensitive Geschäftsprozesse wie Verhandlungen ist, dass ein Benutzer nur dann zu einer Delegation dieser Aufgabe bereit sein wird, wenn er mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit davon ausgehen kann, dass der Agent ein vergleichbar gutes oder sogar besseres Verhandlungsergebnis erzielt.

4.5.4 Antizipieren gegnerischer Verhandlungsschritte

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnt und in [Teut02] ausführlich beschrieben, ist es erforderlich, während der gesamten Verhandlungsdauer die eigene Strategie zu überprüfen und daraus resultierende Modifikationen für die Erstellung eines neuen

Gegenangebots zu berücksichtigen. Die Proaktivität der Agenten während des Verlaufs der Verhandlung wird hierbei unter anderem bestimmt von der Dringlichkeit, mit der ein Unternehmen aus finanziellen Gründen oder auch aus Prestigegründen von einem Auftrag abhängig ist.
Für den Verlauf einer Verhandlung ist insbesondere derjenige Verhandlungspartner im Vorteil, der das Vorgehen sowie die Strategie des anderen durchschaut oder recht einfach ermitteln kann. Folglich wird es immer ein Bestreben des Agenten sein, durch das Beobachten des Verlaufs der einzelnen Verhandlungsschritte auf die Strategie des Verhandlungspartners zu schließen. Dieses kann gerade bei sehr brisanten und für den Einzelnen außerordentlich wichtigen Verhandlungen für das Ergebnis entscheidend sein. Während der Verhandlungen sind demnach beide Seiten bemüht, sowohl die eigene Strategie hinsichtlich Antizipation zu schützen, als auch die Strategie des anderen auszuspähen, wobei der Schutz der eigenen Strategie als wichtiger anzusehen ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden hierfür die folgenden Methoden entwickelt und eingesetzt:

- Beiden Verhandlungspartnern ist zwar bekannt, dass für die Erstellung einer Strategie jeweils mit einer geschlossenen Lösung gearbeitet wird, jedoch fehlen zur Bestimmung der Strategie des anderen Teilnehmers zwei von drei in die Funktion eingehenden Parameter. Im Regelfall kennt ein Verhandlungspartner weder den angestrebten Endwert des Gegenüber – der GU kennt nicht das untere Preislimit des NU und dem NU ist nicht bekannt, welchen Preis der GU maximal bereit ist, für die ausgeschriebene Leistung zu bezahlen – noch die Abhängigkeit vom Auftrag des jeweils anderen Partners. Mit den wenigen Funktionswerten – diese entsprechen den eingegangenen Angebotswerten – gestaltet es sich recht schwierig, gerade in der Anfangsphase der Verhandlung, in der die Kenntnis der gegnerischen Strategie von großem Nutzen ist, das Vorgehen des Verhandlungspartners zu antizipieren.
- Zusätzlich ist es erforderlich die Taktik für die Festlegung der einzelnen Verhandlungsschritte innerhalb der Strategie zu variieren. Dadurch soll die eigene Strategie weiter „verschleiert“ werden, um eine gegnerische Antizipation zu verhindern. Entsprechend der bereits in Kapitel 4.5.3 aufgeführten unterschiedlichen Taktikvarianten – verhaltens-, zeit- oder ressourcenorientiert – kann hierbei individuell verfahren werden. Das Verhandlungsziel sowie die gewählte Strategie dienen jedoch weiterhin als eigene Orientierungshilfe.
- Neben den taktischen Varianten können für die Erstellung von Gegenangeboten auch Zufallswerte verwendet werden, die in einer gewissen Bandbreite von der

Strategiefunktion differieren, so dass ein Schließen auf die eingesetzte Strategie erheblich erschwert wird. Eine Analyse dieser Angebotswerte, aufgetragen in einem Koordinatensystem, ergibt eine nur bedingt aussagekräftige „Flatterkurve“.

Essentiell für die agentenbasierten Verhandlungen ist, dass innerhalb einer Verhandlung auch bei Einsatz von taktischen Abweichungen die Monotonie des Funktionsverlaufs gewahrt bleibt – eine sprunghafte Annäherung an die Position des Verhandlungspartners ist zwar möglich, nicht aber das preisliche Entfernen von einem bereits unterbreiteten Angebot. Mathematisch bedeutet dieses, dass für den Nachunternehmer die Steigung der Verhandlungsfunktion – also die erste Ableitung – durchweg einen Wertbereich kleiner oder gleich Null besitzt. Auf Seiten des Generalunternehmers ist dieser Wertebereich entsprechend größer oder gleich Null.
In Abbildung 16 ist ein möglicher Verhandlungsverlauf zwischen Generalunternehmer und Nachunternehmer dargestellt. Tendenziell ist der Nachunternehmer hierbei relativ stark vom Auftrag abhängig. Dieses wird an dem degressiven Verlauf der Funktion deutlich. Die Abhängigkeit des Generalunternehmers vom Auftrag liegt in etwa bei 50 %, ersichtlich aus dem annähernd linearen Verlauf der Funktion. Aus der Start- und Endzeit in Abbildung 16 geht hervor, dass für den Verlauf eine Zeitspanne von 10 Sekunden gewählt wurde, wobei die Auftragung in zehntel Sekunden erfolgt, um einen kontinuierlichen und keinen stufenweisen Funktionsverlauf im Diagramm aufzutragen.

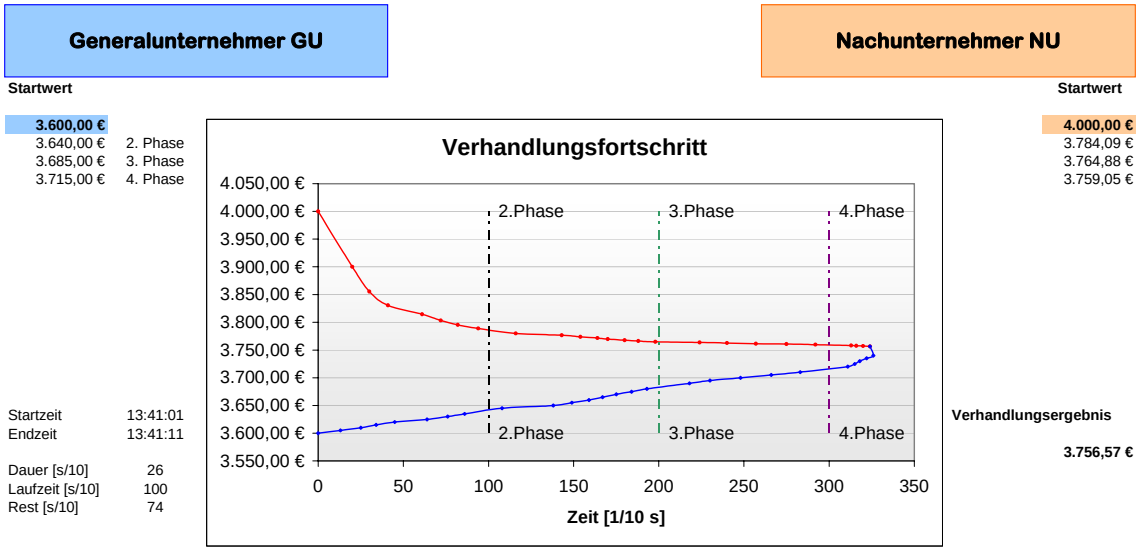


Abbildung 16: Übersicht über einen möglichen Verhandlungsverlauf

Der Funktionssprung am Ende ist dadurch zu begründen, dass für den Generalunternehmer als Einigungsbedingung eine Differenz beider Positionen von bis zu 0,5 % implementiert wurde. Vor der Erstellung eines erneuten Gegenangebots erkennt der GU-Agent demnach, dass die Differenz in den Verhandlungspositionen aktuell bzw. durch sein neues Angebot kleiner als 0,5 % ist, weshalb er das rechtsverbindlich bestehende Angebot des NU-Agenten unmittelbar akzeptiert und kein neues Gegenangebot erstellt. Aus Abbildung 16 geht ebenfalls hervor, dass der Verhandlungsverlauf in mehreren Phasen abläuft. Nach jeder Phase besteht aus Sicht beider Vertragspartner die Möglichkeit hinsichtlich der Rahmenbedingungen des Vertrages Änderungen vorzuschlagen und somit dem anderen Verhandlungspartner entgegen zu kommen (siehe Kapitel 4.5.5). Sind beide Parteien mit den Änderungen einverstanden, so starten die Verhandlungen erneut, wobei die jeweiligen Startwerte wenigstens den Positionen aus der vorangegangenen Verhandlungsphase entsprechen – ein sprunghaftes preisliches Entgegenkommen ist ebenfalls möglich (Abbildung 12). Anzumerken ist, dass der in Abbildung 16 dargestellte Verlauf einer graphisch aufbereiteten Übersicht der Daten entspricht, die im Rahmen einer Verhandlung protokolliert wurden.

4.5.5 Scheitern von Verhandlungsphasen

Im Rahmen von komplexen Verhandlungen zwischen menschlichen Verhandlungspartnern besteht in der realen Welt die Möglichkeit, in mehreren Verhandlungsrunden zu einer Einigung zu gelangen. Dabei können neben dem wesentlichen Verhandlungsgegenstand *Preis* auch weitere unterschiedliche Rahmenbedingungen des Vertrages in die Verhandlungen einbezogen werden. Die Entscheidungsträger für oder wider solche modifizierten Vertragskonditionen sind in der Regel direkt an den Verhandlungen beteiligt und können somit unmittelbar agieren. Analog dazu wurden im Rahmen dieser Arbeit Konzepte entwickelt, um diese Möglichkeit auch für die agentenbasierten Verhandlungen einsetzen zu können. Dabei war es aus Effizienzgründen wichtig, dass der Agent nicht für jeden Vertragsänderungsvorschlag erneut in Interaktion mit seinem jeweiligen Benutzer treten muss.

Die einfachste Form der Verhandlung ist die monoparametrische Verhandlung, mit nur einem variablen Parameter – im Regelfall der *Preis*. Hierbei wird dem Softwareagenten ein Verhandlungsspielraum, bestehend aus einer oberen und einer unteren Preisgrenze autorisiert. Durch die Erstellung einer adäquaten Strategie versucht der Agent in autonomer Weise das gewünschte Ziel innerhalb dieses Verhandlungsspielraums zu erreichen.

Für multiparametrische Verhandlungen sind jedoch weitere Angaben erforderlich. Dem Agenten stehen zunächst ebenfalls die beiden Grenzwerte für den zu erzielenden Preis zur Verfügung – diese beziehen sich auf die erste Verhandlungsphase. Darüber hinaus werden weitere Konditionen im Vorfeld der Verhandlungen festgelegt, aus denen der Agent entnehmen kann, wie stark er bei verschiedenen Änderungsvorschlägen preislich auf den Verhandlungspartner zugehen darf. Hierzu musste zunächst die Ontologie der Verhandlungsagenten durch entsprechende Elemente erweitert werden. Beispielhaft werden diese nachfolgend aufgeführt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Umschreibung in einem vollständigen Satz lediglich zum Verständnis für menschliche Nutzer dient. Vom Agenten können diese nur als ganzes Konstrukt erfasst und verarbeitet werden:

- Der festgelegte Endtermin der auszuführenden Teilleistung kann um X Tage verlängert werden (O 1).
- Die auf der Baustelle vorhandenen Transport- und Hebeeinrichtungen werden dem Nachunternehmer zur Verfügung gestellt (O 2).
- Ein zeitnaher Folgeauftrag im Rahmen des gleichen oder eines anderen Projekts wird dem Nachunternehmer zusätzlich angeboten (O 3).
- Der durch die eigenen Arbeiten anfallende Bauschutt sowie Verpackungsmaterial kann auf der Baustelle verbleiben – Entsorgungsaufgabe auf Seiten des GU (O 4).
- Der Nachunternehmer ist dazu berechtigt, die Arbeiten gegebenenfalls weiter zu vergeben (O 5).

Je nach Gewerken und Projekten sind auch andere Ontologiebausteine denkbar – die Erweiterbarkeit dieser Bausteine ist hierbei zu gewährleisten. Darüber hinaus kann je nach Position des Verhandlungspartners – Nachunternehmer oder Generalunternehmer – nach einer gescheiterten Verhandlungsphase die Änderung vorgeschlagen oder gefordert werden. Zusätzlich erhält der Agent im Vorfeld der Verhandlungen in Interaktion mit seinem Initiator die folgenden Informationen (siehe Tabelle 5) – wobei eine fehlende Angabe zum preislichen Nachlass einzelner Ontologiebausteine dem Agenten signalisiert, dass bei entsprechendem Angebot des Verhandlungspartners keine Änderung in der eigenen Strategie zu berücksichtigen ist:

Darüber hinaus kann der maximale Nachlass begrenzt werden – in Tabelle 5 auf 5 %, so dass ab einer entsprechenden Anzahl an Zugeständnissen kein weiteres preisliches Entgegenkommen mehr möglich ist.

Tabelle 5: Preisliches Entgegenkommen bei geänderten Rahmenbedingungen

	Preislicher Nachlass
O 1	3 %
O 2	-
O 3	2 %
O 4	-
O 5	1 %
Maximal	5 %

Ablauf

Nach der gescheiterten Durchführung einer Verhandlungsphase bietet ein Verhandlungsagent dem anderen eine mögliche Änderung der vertraglichen Rahmenbedingungen an, worauf die Verhandlungen fortgesetzt werden können. Die Startwerte für die neue Verhandlungsrunde sind hierbei jeweils die Endpositionen der vorangegangenen und erfolglos verstrichenen Verhandlungsphase. Die neuen Endwerte für die Berechnung der eigenen Strategien ergeben sich jeweils aus den Zugeständnissen an den Verhandlungspartner, ermöglicht durch die bewirkte Vertragsmodifizierung (siehe Tabelle 5). Entsprechend wird ein Agent, für den ein gewisser Änderungsvorschlag des Verhandlungspartners nicht mit einem finanziellen Entgegenkommen verbunden ist, den bereits festgelegten Endwert seiner Verhandlungsstrategie für die folgende Verhandlungsrunde beibehalten. Nach der ersten Verhandlungsphase wird ein Agent nicht zwangsläufig alle möglichen Zugeständnisse ausschöpfen, da gegebenenfalls eine Einigung mit dem Verhandlungspartner schon durch ein geringeres preisliches Entgegenkommen erzielt werden kann. Wie bereits in Abbildung 12 gezeigt, kann ein preisliches Entgegenkommen in einer neuen Verhandlungsrunde auch sprunghaft mit dem ersten Angebot der neuen Verhandlungsphase erfolgen. Darüber hinaus kann ein Softwareagent jederzeit die Verhandlungen abbrechen, solange er nicht ein rechtsverbindliches Angebot abgegeben hat, dessen Bindefrist noch besteht. Schließlich besteht für den menschlichen Nutzer die Möglichkeit, den Verhandlungsverlauf zu verfolgen und gegebenenfalls unmittelbar einzugreifen.

4.6 Evaluierung von Angeboten

Eine Möglichkeit für Bieter, sich gegenüber den Angeboten anderer Bieter einen Vorteil zu verschaffen und somit auf vermeintlich einfache Weise an einen Auftrag zu gelangen, wäre, bei einzelnen Positionen spekulative und unrealistische Preise einzusetzen, in der Hoffnung, dass dieses bei der Auswertung und dem Vergleich der unterschiedlichen Bieterangebote nicht unmittelbar festgestellt wird. Die Folge ist ein zu geringer Gesamtpreis, der ein besonders günstiges Angebot vortäuscht und somit ungerechtfertigt zum Zuschlag führt. Ein effizientes Instrumentarium zur Identifikation solcher Spekulativangebote und zum generellen Vergleich der eingegangenen Angebote ist die vollständige Kontrolle aller Einheitspreise der einzelnen Positionen. In der gegenwärtigen dokumentenbasierten Praxis ist es gerade bei sehr umfangreichen Angeboten, beispielsweise im Bereich des Schlüsselfertigbaus, aus Zeitmangel nicht immer möglich, jede einzelne Position eines LV zu überprüfen, so dass sich Kontrollen und Vergleiche oft lediglich auf die wesentlichen Positionen sowie die Abschnittssummen beschränken. Durch eine Automatisierung dieser Prozesse und den Einsatz von Softwareagenten kann hierbei eine detaillierte Überprüfung aller abgegebenen Angebote realisiert werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Integration von Alternativ- sowie Eventualpositionen, da diese zum Teil erhebliches Potenzial für Mehrkosten beinhalten, jedoch nicht explizit in der Angebotssumme erscheinen.

4.6.1 Überprüfung der Zulässigkeit eingereichter Angebote

Die Überprüfung der eingegangenen Angebote bezüglich Zulässigkeit entscheidet über die verbleibenden Wettbewerbschancen der Bieter im Vergabeverfahren. Folglich ist hier im Blick auf Rechtsschutz der beteiligten Bieter besondere Sorgfalt erforderlich. Dieses gilt sowohl für die Überprüfung der von den Agenten zur Aussonderung vorgeschlagenen Bieterangebote als auch für die Dokumentierung aller damit zusammenhängenden Entscheidungsprozesse des Auftraggebers.
In einem ersten Schritt werden die eingegangenen Angebote nach dem Submissionstermin einzeln inhaltlich im Hinblick auf Zulassung zur Ausschreibung überprüft. Hierbei werden entsprechend der rechtlichen Regelungen des § 25 Nr. 1 Abs. 1 VOB/A Angebote ausgeschlossen,

- die nach dem Submissionstermin beim Auftraggeberagenten eingegangen sind (Zeitvergleich von Zeitstempel und Submissionstermin).

- die nicht verschlüsselt eingegangen bzw. nicht mit einer digitalen Signatur versehen sind – hierbei ist auch die Gültigkeit des Zertifikats zu überprüfen.
- die mit dem SesssionKey nicht entschlüsselt und folglich nicht geöffnet werden können.
- deren Ausschreibungsunterlagen im Rahmen der Angebotserstellung verändert wurden (Kontrolle über Prüfsumme).
- die Änderungsvorschläge und Nebenangebote erhalten, wenn in den Vergabeunterlagen diese Möglichkeit explizit ausgeschlossen wurde.
- bei denen festgestellt wird, dass Bieter eine Absprache getroffen haben, die eine unzulässige Wettbewerbsbeschränkung darstellt.
- die Positionen enthalten, die im Zuge der Angebotserstellung nicht mit Preisen versehen wurden.

Mit den entsprechenden Kontrollmechanismen und Programmroutinen, die dem CL-Agenten[6] als Hilfsmittel zur Verfügung stehen, werden die einzelnen Angebote kontrolliert und entweder für die weitere Auswertung als „zugelassen“ oder als „ausgeschlossen“ dem Auftraggeber vorgeschlagen, der letztendlich die rechtskräftige Entscheidung trifft. Darüber hinaus können Unternehmen und deren Angebote gemäß § 8 Nr. 5 Abs. 1 VOB/A, beispielsweise auf Grund von Insolvenz, Steuerschulden oder fehlender Anmeldung bei einer Berufsgenossenschaft, von der Teilnahme an der Ausschreibung ausgeschlossen werden. Diese Informationen werden vom AG-Agenten in Interaktion mit den als vertrauenswürdig geltenden Utility Agenten ANS[7] und SEC[8] bzw. in Interaktion mit dem eigenen Initiator berücksichtigt.

4.6.2 Vorbereitungen zur Auswertung

In der Vorbereitungsphase zur Auswertung aller Angebote, die für eine Ausschreibung als zulässig identifiziert wurden, wird vom AG-Agenten ein möglichst vollständiges eigenes Vergleichsangebot erstellt. Hierfür verwendet der Softwareagent marktübliche Preise. Diese entnimmt er entweder aus der unternehmenseigenen Datenbank, oder erfragt sie in Interaktion mit seinem Initiator sowie mit anderen Agenten, die er über eine Anfrage beim Facilitator ermitteln kann. Dieses Vergleichsangebot ist ein erster An-

---

6 CL-Agent steht für Client Agent.

7 ANS steht für Agent Name Server.

8 SEC steht für Security Agent.

haltswert für die Größenordnung, in der die Angebotspreise erwartet werden. Das eigene Angebot ist darüber hinaus notwendig, um die öffentlichen Gelder, die für das Projekt erforderlich sind, im Vorfeld der Ausschreibung möglichst exakt zu ermitteln und anzufordern.

Eine Grundvoraussetzung für die agentenbasierte Angebotsauswertung ist hierbei natürlich, dass tatsächlich alle für die Ausschreibung zugelassenen Angebote in digitaler, dem Agenten „verständlicher“ Form vorliegen. Bei einem eventuell dokumentenbasiert eingereichten Angebot ist demgemäß zu prüfen, ob dieses in eine entsprechende digitale Variante überführt werden kann. Dieser Arbeitsschritt wird von einem menschlichen Nutzer ausgeführt, wobei das dokumentenbasierte Angebot als Nachweis entsprechend sicher aufzubewahren ist. Die digitale Variante des Angebots kann anschließend dem Agenten zur Evaluierung weitergeleitet werden.

Vervollständigen der Angebote

Nach der in Kapitel 4.6.1 bereits beschriebenen Zulässigkeitsprüfung der Angebote werden die als zulässig verbleibenden Angebote gemäß § 23 Nr. 3 VOB/A hinsichtlich ihrer Stimmigkeit analysiert. Hierbei wird lediglich kontrolliert, ob die Multiplikation von Mengenangabe und Einheitspreis den jeweiligen Positionspreisen entspricht. Darüber hinaus werden Abschnittssummen und Gesamtsumme der einzelnen Angebote überprüft. Entspricht beispielsweise der Gesamtbetrag einer Ordnungszahl nicht der Multiplikation von Mengenansatz und Einheitspreis, so ist gemäß § 23 Nr. 3 Abs. 1 der Einheitspreis als maßgebend anzusehen. Entsprechend wird der auswertende Softwareagent die Korrektur der Abschnitts- und Gesamtsummen lokal vornehmen, um hinsichtlich der abgegebenen Angebote eine Eindeutigkeit herzustellen. Die Änderung bzw. Korrektur erfolgt aus rechtlichen Gründen nicht unmittelbar in dem abgegebenen Angebot selbst, sondern lediglich für die Auswertung und die Gegenüberstellung der Angebote auf der Arbeitsebene des Agenten. Die hiermit einhergehende Protokollierung aller Korrekturen zur Einhaltung und Sicherstellung des Transparenzprinzips wird ebenfalls durch den Agenten sichergestellt.

4.6.3 Ermittlung des wirtschaftlichsten Angebots

Mit dem Einsatz fortschrittlicher Softwareagenten besteht die Möglichkeit, sowohl die Überprüfung jeder einzelnen Position aller Angebote, als auch den Vergleich der Angebote untereinander deutlich detaillierter durchzuführen, als dieses in der gegenwärtigen, dokumentenbasierten Form realisierbar wäre.
In einem ersten Schritt werden mit Hilfe des erstellten Vergleichsangebots die Preise aller Positionen der jeweiligen Leistungsverzeichnisse überprüft. Dabei wird festgestellt, wie stark die einzelnen Preise von den im Vergleichsangebot ermittelten, marktüblichen Werten abweichen. Für den Fall, dass ein Einheitspreis mehr als 10 % vom erwarteten Wert abweicht, wird diese Position in einem Angebotsprüfprotokoll einschließlich des prozentualen Anteils am Gesamtpreis vermerkt. Diese Information kann beispielsweise zu einem späteren Zeitpunkt für einzelne Bietergespräche verwendet werde.
Im nächsten Schritt werden die Positionspreise der einzelnen Angebote untereinander verglichen. Ziel ist es hierbei, rechtswidrige Preisabsprachen unter den Bietern zu identifizieren. Hierbei sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen, die unter anderem aus der „Richtlinie zur Verhütung und Bekämpfung von Korruption in der öffentlichen Verwaltung“ (Korruptionsbekämpfungsrichtlinie, KorruR) hervorgehen:

- Wie viele zulässige Angebote sind im Vergleich zu der ursprünglichen Anzahl an Bewerbern noch vorhanden?
- Wie stark streuen die Angebotspreise?
- Gibt es gegebenenfalls unter den Angeboten einzelne „Ausreißer“ bezüglich des Preises nach oben oder nach unten?

Neben möglichen Preisabsprachen unter den Bietern ist auch zu untersuchen, ob eventuell Angebote im Gesamtpreis oder in Teilbereichen unrealistisch nahe am vorgesehenen Budget des AG-Vergleichsangebots liegen. Dieses ist nicht selten ein Indiz dafür, dass das vorab ermittelte Vergleichsangebot des Auftraggebers rechtswidrig an einen Bieter weitergegeben wurde.

Schließlich besteht bei der agentenbasierten Angebotsauswertung im Vergleich zur dokumentenbasierten Auswertung die Möglichkeit, in Szenarien die Alternativ- und Eventualpositionen mit einzubeziehen. Dabei werden diesen einzelnen Positionen seitens des Auftraggebers zunächst Auftretenswahrscheinlichkeiten zugeordnet. In einem nächsten

Schritt werden die Preise der Alternativ- und Eventualpositionen unter Berücksichtigung der Auftretenswahrscheinlichkeit zu einem fiktiven Angebotspreis G_{ges} zusammengestellt:

$$G_{ges} = G + \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot AEP_i \qquad (7)$$

Mit:

n	Anzahl der Alternativ- und Eventualpositionen
p_i	Auftretenswahrscheinlichkeit einer Alternativ-(AP) oder Eventualposition (EP)
AEP_i	Gesamtpreis einer Alternativ- oder Eventualposition
G	Angebotspreis ohne Berücksichtigung von Alternativ- und Eventualpositionen

Anschließend überprüft der Agent, ob unter Einbeziehung der Alternativ- und Eventualpositionen im Vergleich zur ursprünglichen Auswertung ein anderes Angebot lukrativer erscheint. Hierbei ist zu beachten, dass Eventualpositionen das Leistungsverzeichnis als zusätzliche Positionen ergänzen. Alternativpositionen hingegen ersetzen bei ihrem Auftreten eine ursprünglich im LV vorgesehene Position. Dieses ist entsprechend für die fiktive Angebotssumme zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde davon ausgegangen, dass alle Eventualpositionen unabhängig voneinander mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit auftreten können. In der Praxis besteht hingegen auch eine Abhängigkeit unter den Eventualpositionen in der Form, dass sich solche eventuell auftretenden Leistungspositionen gegenseitig ausschließen können.

Auf diese Weise wird das Angebot ermittelt, das unter Einbeziehung der Alternativ- und Eventualpositionen am wirtschaftlichsten erscheint. Dieses ist gerade vor dem Hintergrund wichtig, dass Bietern unzulässigerweise immer wieder Insiderinformationen zu Auftretenswahrscheinlichkeiten solcher Positionen zur Verfügung gestellt werden. Derartige Informationen spiegeln sich signifikant in der entsprechenden Preisgestaltung dieser Positionen wider.

Kapitel 5

Implementierung von Softwareagenten in öffentliche Ausschreibungen

5.1 Voraussetzungen

Für die Einbindung der in Kapitel 5 vorgestellten Konzepte und Modelle in die Struktur eines virtuellen Marktplatzes zur Optimierung der Prozesse der öffentlichen Ausschreibung bedarf es zunächst einzelner Veränderungen in der gegenwärtigen Vorbereitungsphase einer öffentlichen Ausschreibung. Neben weiteren erforderlichen Modifikationen der rechtlichen Rahmenbedingungen [PAUL06], ist eine der wesentlichen Voraussetzungen zunächst die Einigung aller Beteiligten auf einen einheitlichen technischen Standard, sowohl bezüglich der eingesetzten Software und Sicherheitsinfrastruktur, als auch bezüglich der Datenaustauschformate. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass, wie bereits in Kapitel 4 beschrieben, dem Softwareagenten die kompletten Ausschreibungsunterlagen in digitaler Form bereitgestellt werden. Dieses betrifft zum einen das Leistungsverzeichnis, das in vielen Fällen bereits in der gegenwärtigen Ausschreibungspraxis digital erhältlich ist. Darüber hinaus ist es für den effizienten Einsatz von Softwareagenten ebenso erforderlich, die zeichnerischen Darstellungen in einer adäquaten, vom Agenten erfassbaren Form – beispielsweise in Form eines digitalen Gebäudemodells, aufzubereiten und zur Verfügung zu stellen. Schließlich betrifft die digitale Form auch alle Formblätter, die in der gegenwärtigen Praxis mit einem nicht unerheblichen Zeitaufwand auszufüllen und zu unterschreiben sind. Auch hierbei könnte der Agent nicht nur für einen zeitlichen Vorteil sorgen, sondern sogar durch Plausibilitätsprüfungen das Auftreten etwaiger Formfehler minimieren.

5.2 Agententypen

Für eine sinnvolle Realisierung der hier erforderlichen umfangreichen Multiagentenstruktur wurde ein Konzept mit unterschiedlichen, eher einfach strukturierten Softwareagenten entwickelt. Dieser Ansatz hat den entscheidenden Vorteil gegenüber einem einzelnen komplexen und multitaskingfähigen Agenten, dass diesen Einheiten neben verschiedenen Aufgaben und Zuständigkeiten auch individuelle Zugriffsrechte auf unternehmensspezifische, sensitive Daten zugeteilt werden können. Dadurch ist es möglich, dass ausschließlich solche Agenten, die nur innerhalb des Netzwerks eines Unternehmens operieren, Zugriffrechte auf die sensitiven Daten haben, abgelegt in unternehmenseigenen Datenbanken und Fallbasen. Agenten, die auf dem virtuellen Marktplatz mit Agenten anderer Unternehmen in Kontakt treten, besitzen hingegen diese Zugriffsmöglichkeit auf interne Daten nicht. Der positive Effekt ist hierbei, dass das unternehmensinterne Wissen von konkurrierenden Unternehmen nicht ausspioniert werden kann. Dieses wiederum erhöht die Bereitschaft seitens Bauunternehmen, Prozessschritte zur Erstellung und Submission von Angeboten sowie Verhandlungen mit Nachunternehmern im Rahmen von öffentlichen Ausschreibungen auf Softwareagenten zu übertragen.
Mit den unterschiedlichen Agententypen und den damit verbundenen Aufgabengebieten, ist auch das erforderliche Wissen und Verständnis der Agenten, das durch Definitionen in der Ontologie abgelegt ist, unterschiedlich. Hierzu wurden neben den grundlegenden Eigenschaften und Fähigkeiten, die einen Agenten auszeichnen, so genannte Ontologiebausteine entwickelt und zusammengestellt, die je nach individueller Erforderlichkeit in der Struktur der verschiedenen Agenten impliziert sind. Ein Agent benötigt hierbei nur solche Ontologiebausteine, die zur Erfüllung seiner Aufgaben und Ziele erforderlich sind.

Zur Sicherstellung der Operabilität des virtuellen Marktplatzes vor dem Hintergrund der rechtlichen Anforderungen einerseits und zur Realisierung der unterschiedlichen Aufgaben der verschiedenen Marktteilnehmer andererseits wurden die Agenten in zwei Hauptgruppen eingeteilt – die Utility Agenten und die Task Agenten. Diese beiden Gruppen werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels feiner untergliedert. Darüber hinaus werden die jeweiligen Aufgaben der Agenten und ihre Konstellation in der Gesamtstruktur detailliert erläutert.

5.2.1 Utility Agenten (UA)

Die Utility Agenten überwachen und sichern die Funktionalität des virtuellen Marktplatzes. Hierfür müssen die Agenten als uneingeschränkt vertrauenswürdig angesehen und von allen Marktteilnehmern als solche akzeptiert werden. Die Utility Agenten sind jeweils mit einem Agentenzertifikat ausgestattet, so dass für alle Marktteilnehmer die Authentizität „UA“ verifizierbar ist. Entsprechend ihrer Aufgaben werden fünf einzelne Agenten untergliedert:

Agent Name Server (ANS)
Der ANS ist einer der wichtigsten aus der Gruppe der Utility Agenten. Bei einer Anmeldung auf dem virtuellen Marktplatz ist er die erste Instanz, mit der Kontakt aufgenommen werden muss. Jeder auf dem Marktplatz registrierte Teilnehmer ist über seine IP-Adresse eindeutig identifizierbar. Der ANS verwaltet darüber hinaus die Agentennamen und gibt diese auf Anfrage an Marktplatzteilnehmer heraus.

Security Agent (SEC)
Dieser Softwareagent ist für die Sicherheit auf dem Marktplatz verantwortlich. Bei der Anmeldung eines Marktteilnehmers überprüft er die Gültigkeit des Agentenzertifikats und damit indirekt die Identität des zugehörigen Benutzers. Ebenso verwaltet der Security Agent die Agent Revocation List, aus der die Aktualität und Gültigkeit der Agentenzertifikate aller auf dem virtuellen Marktplatz registrierten Agenten hervorgeht. Diese kann vor jeder Transaktion von den Beteiligten abgerufen werden.

Facilitator (FAC)
Der Facilitator ist ein Agent, der die Informationen eines Branchenverzeichnisses (Gelbe Seiten) verwaltet. Jeder Auftragnehmeragent, der sich neu auf dem virtuellen Marktplatz registriert, übersendet diesem alle Informationen zu den eigenen Fähigkeiten. Der Facilitator legt diese in einer relationalen Datenbank ab. Auf Anfrage eines Generalunternehmeragenten nach einem Unternehmen mit speziellen Fähigkeiten, beispielsweise der Herstellung von Fertigteilstützen, übermittelt der Facilitator dem GU-Agenten alle auf dem Marktplatz registrierten Agenten, die diese entsprechenden Leistungen anbieten. Erforderlich ist hierbei die Aktualität und Verlässlichkeit dieser Informationen. Folglich ist es die Aufgabe der am Marktplatz teilnehmenden Agenten, Änderungen des eigenen Leistungsprofils möglichst unverzüglich an den Facilitator weiterzuleiten.

Time Server Agent (TSA)

Zur Sicherstellung der rechtsgemäßen Dokumentation aller Abläufe auf dem virtuellen Marktplatz und folglich zur Nachweisbarkeit aller Transaktionen ist eine vertrauenswürdige und unabhängige Instanz erforderlich. Dieses ist gerade für den Fall von eventuellen Rechtsstreitigkeiten von Bedeutung. Hierfür wurde der TSA kreiert. Er gibt die Systemzeit vor, die als Referenz für alle Teilnehmer am Marktplatz verbindlich ist. Für jede rechtlich relevante Transaktion, wie beispielsweise die Abgabe eines Angebots bei einem CL-Agenten oder der Transfer des SessionKeys an den SKA, kann bei diesem Utility Agenten ein Zeitstempel angefordert werden. Der TSA versieht dabei die mit der Anfrage verbundene Prüfsumme (Hashwert), die den Bezug zum Transaktionsdokument herstellt, mit einem Zeitstempel, signiert ihn digital und sendet das Dokument an den Anfragenden zurück. Die Struktur einer solchen Nachricht ist beispielhaft in Abbildung 17 dargestellt. Damit hat der Anfragende den Beweis, dass eine Transaktion zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgeführt wurde. Der Zeitstempel enthält folgende Angaben, um auch rechtlich einwandfrei die Einhaltung eines Termins, wie etwa die Submission, nachweisen zu können:

- Zeitangabe zum Eingang der Anforderung,
- Angaben zur anfordernden Entität,
- Angaben zum ausgeschriebenen Projekt sowie zum Submissionstermin.

Darüber hinaus protokolliert und sichert der TSA – ebenso wie alle anderen Utility Agenten – jede von ihm durchgeführte Aktivität. Somit ist eine weitere eindeutige und in vielen Fällen redundante Nachweisbarkeit aller Transaktionen gewährleistet.

(*request*
:sender AN-Agent „O-Bau“
:receiver TSA
:content Dokument (Eingangsbestätigung von AG-Agent „Stadt Essen“) mit Zeitstempel versehen, digital signieren und an Sender zurück
: language FIPA ACL
: ontology standard
)

Abbildung 17: Anfrage eines Zeitstempels seitens des AN-Agenten

Session Key Agent (SKA)

Gemäß § 22 Nr. 1 VOB/A sind beim Auftraggeber eingereichte Angebote bis zum Eröffnungstermin unter Verschluss zu halten. Entsprechend sind auch digitale Angebote verschlüsselt aufzubewahren. Während jedoch verschlossene Umschläge ab besagtem Termin relativ unproblematisch geöffnet werden können, wird für die digitalen Angebote die zur Entschlüsselung erforderliche Zahlenfolge benötigt. Rechtlich gesehen gelten gemäß § 25 Nr. 1 Abs. 1a solche verschlüsselten Angebote, für die am Eröffnungstermin kein passender Schlüssel vorliegt als ungültig. Um dieses Risiko zu minimieren, wurde der vertrauenswürdige SKA initiiert. Reicht ein Auftragnehmeragent ein Angebot ein, so sendet er dieses in verschlüsselter Form dem Auftraggeberagenten, von dem er umgehend eine Bestätigung erhält. Gleichzeitig schickt er den zur Entschlüsselung erforderlichen Code an den SKA, der den Empfang ebenfalls elektronisch bestätigt. Angehängt sind an den auch als SessionKey bezeichneten Code Angaben zum Projekt einschließlich Prüfsumme (Hashwert), zur abgebenden Entität, zum Auftraggeber sowie zum Submissionstermin (Datum und Uhrzeit). Der Session Key Agent sendet am entsprechenden Submissionstermin alle SessionKeys der teilnehmenden Bieter an den Auftraggeberagenten. Somit wird sichergestellt, dass alle Schlüssel rechtzeitig beim Auftraggeber eintreffen. Manipulationsmöglichkeiten, wie fingierte technische Schwierigkeiten, um das Angebot kurzfristig doch nicht abzugeben, sind ausgeschlossen. Bei tatsächlich auftretenden technischen Schwierigkeiten würden alle Schlüssel fehlen, jedoch wäre mit Hilfe der Protokolle des TSA problemlos nachweisbar, ob die Abgabe aller Angebote und Schlüssel rechtzeitig erfolgte. Den Hashwert der einzelnen Angebote speichert der SKA, als eine uneingeschränkt vertrauenswürdige Instanz, in seiner Datenbank. Hiermit kann jederzeit und eindeutig belegt werden, ob Angebote nach dem Eröffnungstermin von Seiten des Auftraggebers zur Auswertung und Entscheidung über die Erteilung des Zuschlags unrechtmäßig modifiziert wurden.

In Abbildung 18 wurden die Prozessschritte in chronologischer Reihenfolge unter Einbeziehung der beiden Utility Agenten TSA und SKA dargestellt. Hierbei kam die für solche Ablauffolgen übliche Darstellung in der Agent Unified Modeling Language (AUML) [AUML05] zum Einsatz. Der Vorteil einer solchen Darstellung liegt in der unmittelbaren Übertragbarkeit in den Code einer Programmiersprache.

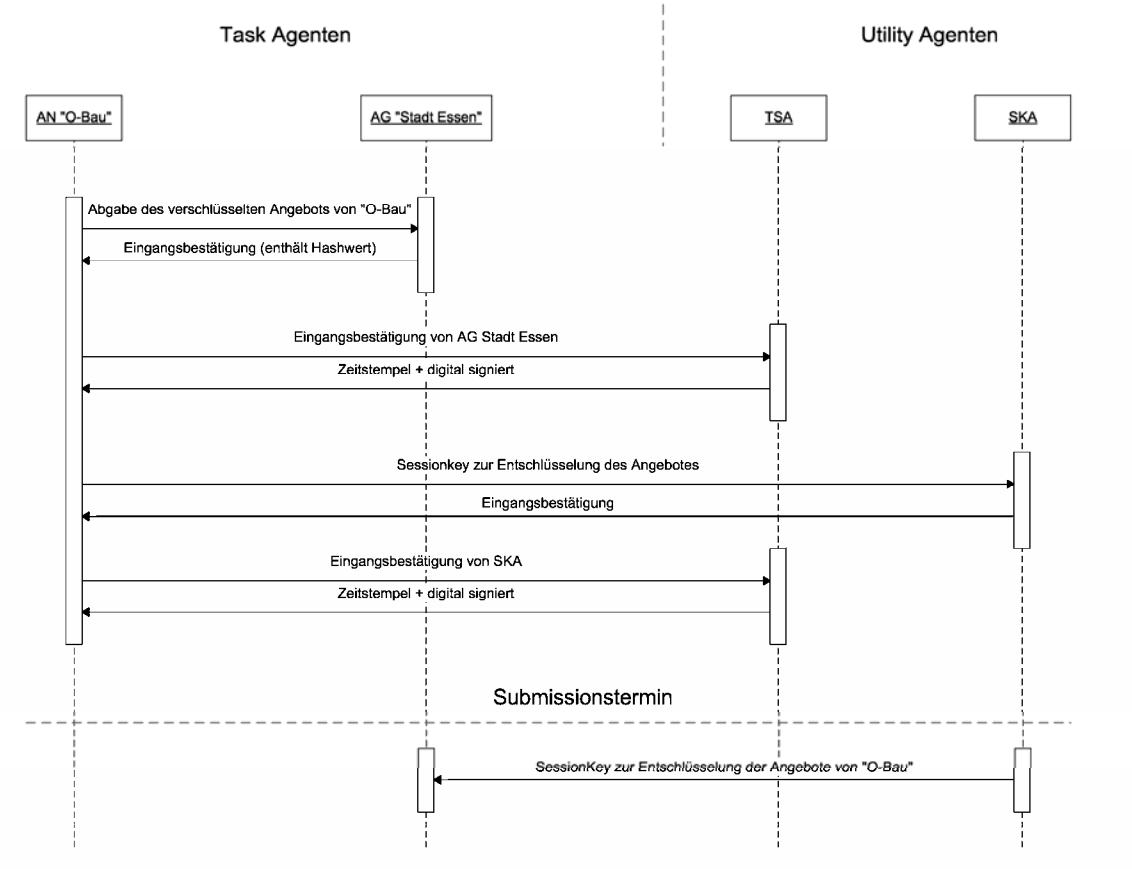


Abbildung 18: Sequenzdiagramm einer Angebotsabgabe

Im Rahmen dieser Arbeit und der prototypischen Anwendung mit einer eher geringen Anzahl an Marktteilnehmern wurde die Möglichkeit des Einsatzes von Unterinstanzen dieser Utility Agenten nicht weiter berücksichtigt. Jedoch besteht die Möglichkeit, bei einer hohen Anzahl an Marktplatzteilnehmern und einer folglich erhöhten Auslastung der UA zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des virtuellen Marktplatzes beispielsweise mehrere Facilitator einzusetzen, wobei der jeweils erste UA seiner Art die Koordination und insbesondere die Aktualität der Unterinstanzen sicherstellt.

5.2.2 Task Agenten

Im Gegensatz zu den Utility Agenten, deren Aufgabe in der Sicherstellung der Operabilität des virtuellen Marktplatzes besteht, erfüllen die Task Agenten die eigentlichen Prozessschritte einer öffentlichen Ausschreibung. Abhängig davon, ob es sich bei der am Marktplatz teilnehmenden Entität um einen Auftraggeber oder Auftragnehmer handelt, wurden eine jeweils adäquate Agentenstruktur sowie unterschiedliche Fähigkeiten und

Aufgabengebiete vorgesehen. Im Folgenden werden die einzelnen Agenten kurz erläutert. Eine Übersicht über die Komplexität dieser Struktur ist in Abbildung 20 dargestellt.

CL-Agent (Client Agent)

Auf der Seite eines öffentlichen Auftraggebers wurde lediglich ein Agententyp vorgesehen. Dieser CL-Agent erhält von seinem Initiator die in digitaler Form erstellten Ausschreibungsdokumente eines Projekts und veröffentlicht sie auf dem virtuellen Marktplatz. Auf Anfrage von Auftragnehmeragenten übersendet er diesen die digitalen Unterlagen und fordert sie somit zur Abgabe eines Angebots auf. In der Zeit von der Veröffentlichung bis zum Submissionstermin bearbeitet der CL-Agent darüber hinaus Anfragen zum laufenden Projekt. Hierbei ist zunächst gegebenenfalls in Interaktion mit seinem Initiator zu prüfen, ob mit der Anfrage lediglich eine allgemeine Information zu den Ausschreibungsunterlagen erbeten wird, was bedeutet, dass die Beantwortung sich auf diesen einzelnen Agenten beschränken kann. Anderenfalls, bei Anfragen, die von allgemeinem Interesse sind, wie etwa Fragen zu unvollständigen Angaben der Ausschreibungsunterlagen oder sogar Fehlern beispielsweise im Leistungsverzeichnis, sind allen potenziellen Bietern, denen bereits die Ausschreibungsunterlagen übermittelt wurden, auch diese Zusatzinformation bereitzustellen. Bis zum Submissionstermin erhält der CL-Agent verschlüsselte Angebote von verschiedenen CO-Agenten. Am Submissionstermin übersendet der SKA die SessionKeys zur Dechiffrierung aller Angebote. Anschließend kann der CL-Agent die Angebote bezüglich Gültigkeit analysieren und miteinander vergleichen, um seinem Initiator einen Vorschlag zu offerieren, welches Angebot am lukrativsten erscheint. Schließlich, nach der Entscheidung des menschlichen Nutzers, übermittelt der CL-Agent den Nachunternehmeragenten, die an der Ausschreibung teilgenommen haben, das Ergebnis über die Erteilung des Zuschlags. Im Rahmen dieser Arbeit wurde festgelegt, dass, bei mehreren parallel verlaufenden Ausschreibungen eines Auftraggebers, jede Ausschreibung von einem eigenen CL-Agenten bearbeitet wird.

CO-Agent (Contractor Agent)

Die Auftragnehmeragenten werden gemäß ihres Auftretens in den Prozessen der öffentlichen Ausschreibung noch einmal in zwei Untergruppen gegliedert – Generalunternehmer und Nachunternehmer. Für den Fall, dass ein Auftragnehmer ein Angebot ohne den Einsatz von Nachunternehmern einreicht, wird er in der Struktur des Marktplatzes dennoch als Generalunternehmer angesehen.

GCO (General Contractor)

Zur Abbildung der komplexen Struktur eines Generalunternehmers wurden verschiedene Agenten mit unterschiedlichen Aufgaben und Zuständigkeiten kreiert. Dadurch soll nicht zuletzt erreicht werden, dass die fortschrittlichen Agenten eines GU, wie beispielsweise SCA, die Zugriffsrechte zu sensiblen unternehmensinternen Daten haben, nur innerhalb des Unternehmens kommunizieren und somit von konkurrierenden Unternehmen nicht ausspioniert werden können – das Wissen des Unternehmens kann folglich zumindest über diese Agenten nicht nach außen gelangen. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte, relativ ausführliche Struktur ist erweiterbar gestaltet, so dass auch umfangreiche Angebote ausgearbeitet werden können. Für die Angebotsbearbeitung von Projekten geringeren Umfangs kann diese Struktur jedoch auch in reduziertem Umfang eingesetzt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Agententypen einschließlich ihrer Aufgaben in ihrem chronologischen Auftreten innerhalb einer Teilnahme an einer öffentlichen Ausschreibung vorgestellt:

PSA (Proposal Search Agent)

Nach erfolgreicher Registrierung auf dem virtuellen Marktplatz sucht der PSA zunächst gemäß seinem Identitätsprofil und mit Hilfe von vorgegebenen Regeln nach lukrativen Ausschreibungen auf dem Marktplatz. Sobald er ein Projekt als geeignet erachtet, fordert er die Ausschreibungsunterlagen vom entsprechenden CL-Agenten an und übermittelt diese zur weiteren Bearbeitung innerhalb des Unternehmens an einen Sophisticated Clerk Agent (SCA). Der PSA widmet sich anschließend erneut der Suche nach Ausschreibungen und leitet die nächste als lukrativ identifizierte Ausschreibung zur Bearbeitung an einen weiteren SCA, usw. Für den Fall, dass der PSA mit seinem Suchprofil keine Ausschreibung als geeignet identifiziert, erweitert er autonom in mehreren Stufen seine Suchkriterien, bis zumindest eine gewisse Anzahl an möglichen Ausschreibungen gefunden wird. Sowohl Suchkriterien, als auch Quantität der zu bearbeitenden Ausschreibungen können während der Laufzeit vom Initiator verändert werden. Der PSA besitzt für die sichere Kommunikation mit anderen Agenten auf dem Marktplatz ein Agentenzertifikat.

SCA_i (Sophisticated Clerk Agent)

Dieser Agententyp kann als Kernstück der Agentenstruktur des Generalunternehmers angesehen werden. Ein SCA_i bearbeitet hierbei jeweils nur ein einziges Angebot. Die Ausschreibungsunterlagen erhält er hierzu vom PSA. Damit beginnt er die Angebotsbearbeitung:

Zunächst überprüft er durch Abgleich mit der Datenbank oder ggf. mit dem Initiator, welche Leistungen von seinem Unternehmen auf Grund der vorhandenen Qualifikation und technischen Ausstattung selbst erbracht werden können bzw. durch eventuell bereits hohe Kapazitätsauslastung überhaupt selbst ausgeführt werden sollen. Leistungen, die an einen Nachunternehmer übertragen werden, stellt der SCA_1 in einem nächsten Schritt abschnittsweise getrennt nach Gewerken zusammen und übergibt sie jeweils Unteragenten (SCA 1.1 bis SCA 1.n), die die Einholung und Auswertung von Nachunternehmerangeboten bearbeiten. Der SCA_1 setzt im nächsten Schritt die Preise aus seiner Datenbank in das LV ein. Von den Agenten SCA 1.1 bis SCA 1.n erhält er die Preise für die jeweiligen Leistungspositionen der Bereiche, die an Nachunternehmer vergeben werden sollen. Abhängig von saisonalen Besonderheiten, der voraussichtlichen Kapazitätsauslastung im Projektzeitraum sowie Unsicherheiten bezüglich Haftungsrisiken von Arbeiten, die von Nachunternehmern ausgeführt werden, kann der SCA_1 die eigenen Einheitspreise sowie die Einheitspreise von Nebenangeboten gezielt justieren. Die hierzu vorgesehenen Faktoren bewegen sich im Rahmen von ± 10 %.
Außerdem kontrolliert der SCA_1 für bestimmte Bereiche, wie beispielsweise Deckensysteme, ob ggf. ein Nebenangebot als lukrativ erscheint und erstellt werden sollte. Hierzu entnimmt er aus dem digitalen Gebäudemodell die geometrischen Randbedingungen, wie Spannweiten, Bauhöhen und Nutzlasten von Decken und kontaktiert mit diesen Daten den Archive Agent (AA). Dieser wiederum durchsucht seine Fallbasis danach, ob es bereits realisierte ähnliche Projekte gab, bei denen unter ähnlichen Randbedingungen ein anderes Deckensystem zu günstigeren Konditionen angeboten werden konnte, was als Voraussetzung für ein Nebenangebot anzusehen ist. Aufgrund dieser Empfehlung an den Initiator kann möglicherweise ein Nebenangebot erstellt werden, das nicht selten zu einem Vorteil gegenüber den anderen Anbietern führt. Das vollständige Angebot wird schließlich dem Initiator zur Überprüfung vorgelegt. Dieser lehnt es entweder ab, oder gibt es in unveränderter bzw. modifizierter Form zur Submission frei. Da der SCA_1 nur innerhalb seines Unternehmens kommunizieren kann, benötigt er kein Agentenzertifikat. Seine Sicherheit wird über Maßnahmen, wie etwa die Firewall des unternehmensinternen Netzwerks, gewährleistet. Eine graphische Übersicht der unterschiedlichen Aufgaben eines SCA_i einschließlich der möglichen Interaktionen mit anderen Entitäten – beispielsweise seinem Initiator – ist in Abbildung 19 dargestellt.

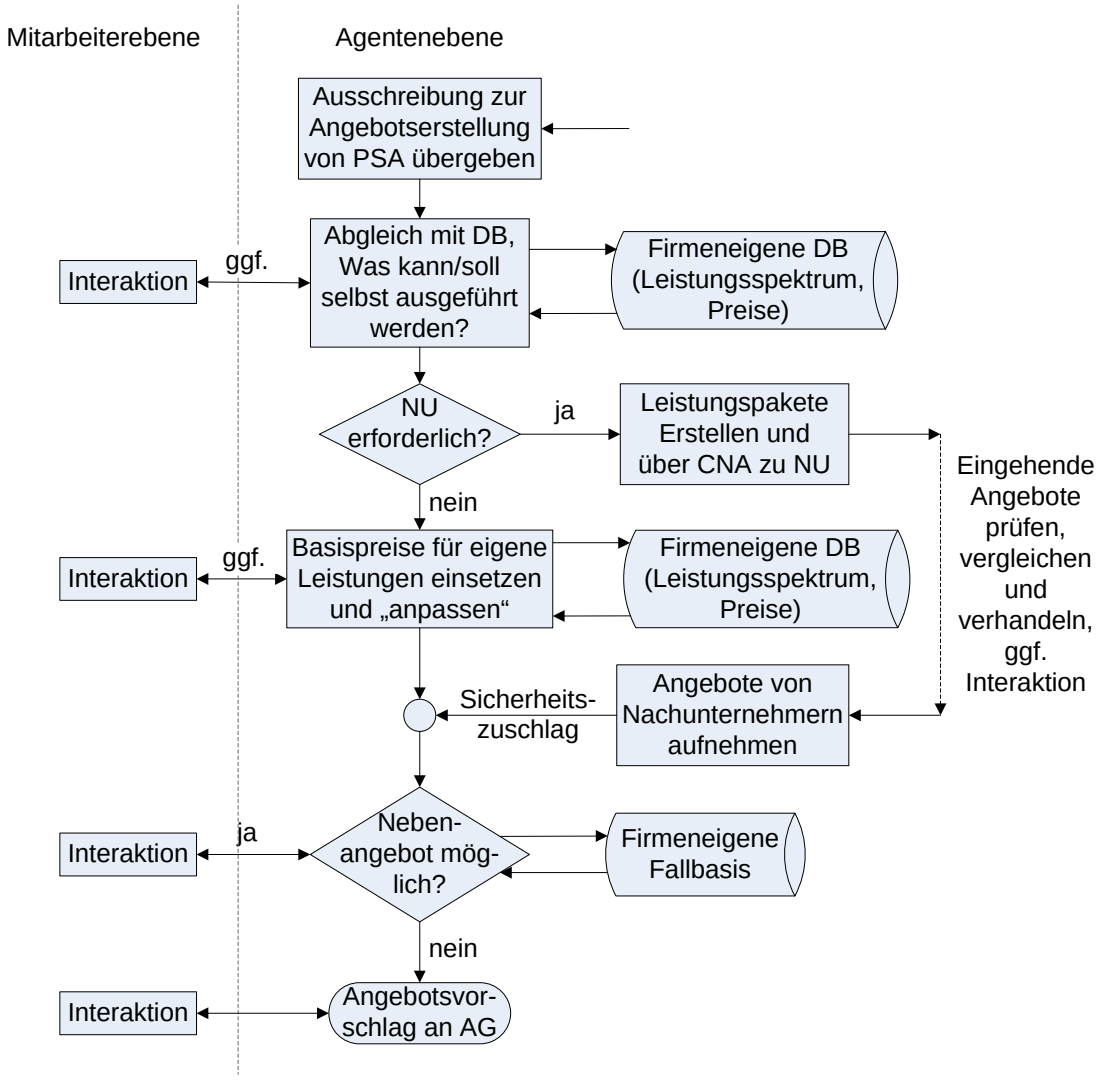


Abbildung 19: Ablauf einer Ausschreibung aus Sicht des SCA_i

SCA 1.1 bis SCA 1.n (Sophisticated Clerk Agent 1 – n)

Diese Agenten bearbeiten jeweils die ihnen übertragenen LV-Bereiche. Wenn hierzu unternehmensintern – in einer Datenbank – nicht bereits geeignete Nachunternehmer vorhanden sind, muss zunächst der Facilitator (FAC) kontaktiert werden, der eine Liste potenzieller Nachunternehmer liefert. Diese werden anhand ihres jeweiligen Bewertungsprofils evaluiert und entsprechend ihrer Eignung über einen CNA[9] kontaktiert sowie zur Angebotsabgabe aufgefordert. Die erhaltenen Angebote sind anschließend vom entsprechenden SCA 1.i auszuwerten und miteinander zu vergleichen, um die drei bis

[9] CNA steht für Communication and Negotiation Agent.

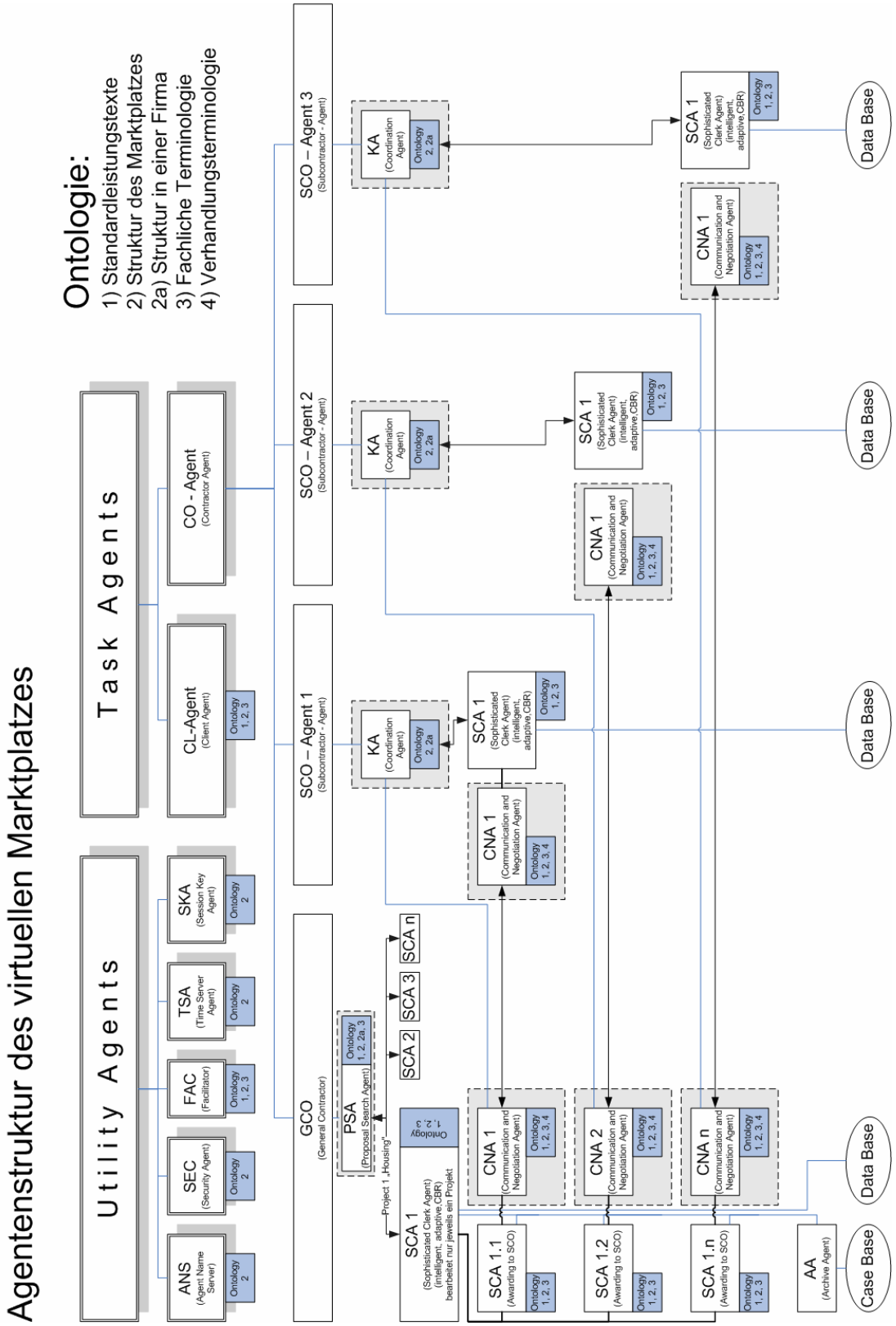


Abbildung 20: Struktur unterschiedlicher Agententypen des virtuellen Marktplatzes

fünf lukrativsten Angebote herauszufiltern. Diese werden im nächsten Schritt durch einen CNA mit den zugehörigen Nachunternehmeragenten verhandelt. Schließlich senden die SCA 1.i die lukrativsten Angebote der jeweiligen LV-Bereiche an den SCA_1 zurück, wobei die weniger lukrativen Angebote für eventuelle Rückfragen oder als Referenz für andere Ausschreibungen gespeichert werden. Da die SCA 1.i ebenfalls nur innerhalb des Unternehmens kommunizieren – die Kommunikation nach außen übernehmen die nachfolgend beschriebenen Kommunikations- und Verhandlungsagenten, benötigen sie kein Zertifikat.

Communication and Negotiation Agent (CNA)

Diese Agenten übernehmen im Wesentlichen die kommunikativen Aufgaben für die jeweiligen SCA. Für die sicheren Verhandlungen mit anderen Agenten auf dem virtuellen Marktplatz besitzen die CNA ein Agentenzertifikat. Die bereits in Kapitel 4.5 ausführlich erläuterten Verhandlungsstrategien erhalten diese vom jeweiligen SCA_i.

Archive Agent (AA)

Dieser Agent kann auch als Fallbasisadministrator angesehen werden. Auf Anfrage eines SCA_i durchsucht er mit den aktuellen Projektdaten die Fallbasis nach ähnlichen Fällen, die zu einem möglichen Nebenangebot führen können. Darüber hinaus ist der Archive Agent als Administrator für die Organisation der Fälle in der Fallbasis zuständig. Neue Fälle werden in ihrer endgültig verwendeten Form auf Konsistenz überprüft und nach Interaktion mit dem Initiator gegebenenfalls in die Fallbasis aufgenommen. Eine weitere Aufgabe besteht darin, bei Bedarf einen bereits in der Fallbasis vorhandenen Fall durch einen neuen Fall zu ersetzen, um die Aktualität der Fälle zu gewährleisten. Weiterhin ist es möglich, Fälle gezielt zu modifizieren, beispielsweise, wenn Begrifflichkeiten sich ändern, wie etwa die Änderung der Betonbezeichnung von B 35 nach DIN 1045 (07.88) zu C 30/37 nach DIN 1045-1 (07.01) im Rahmen einer Fallbasis für Stützen und Stützensysteme. Alte oder redundante Fälle können darüber hinaus aus der Fallbasis gelöscht werden. Schließlich können fiktive Fälle, die zwar in dieser Form noch nicht in Ausschreibungen verwendet wurden, jedoch für den Aufbau der Fallbasis als wichtig erachtet werden, vom Initiator erstellt und an den AA zur Aufnahme in die Fallbasis übergeben werden. Das wesentliche Kriterium für Veränderungen der Fallbasis ist hierbei immer die Sicherstellung der Anwendbarkeit.

Subcontractor (SCO)

Die Agentenstruktur der Nachunternehmer ist im Vergleich zu jener der Generalunternehmer weniger komplex. Der Grund dafür ist, dass im Rahmen dieser Forschungsarbeit ein Nachunternehmer weder einen weiteren Nachunternehmer beauftragen kann (keine Sub-Sub-Struktur), noch die Fähigkeit besitzt, ein Nebenangebot zu erstellen. Darüber hinaus suchen die Nachunternehmeragenten nicht aktiv nach Ausschreibungen, sondern sie werden von Generalunternehmeragenten mit der Aufforderung zur Angebotsabgabe kontaktiert.

Coordination Agent (KA)

Die erste Agenteninstanz, die bei einem Nachunternehmer kontaktiert wird, ist der Coordination Agent (KA), der im Wesentlichen für die Koordination der Agenten zuständig ist. Dieser instanziiert mit einer Aufforderung zur Abgabe eines Angebots seitens eines Generalunternehmeragenten einen SCA_i, der vergleichbar ist mit dem SCA_i eines Generalunternehmers. Der Unterschied liegt darin, dass der SCA_i des Nachunternehmers Teilbereiche seines Leistungsverzeichnisses nicht weiter vergeben kann und nicht die Möglichkeit besitzt, Nebenangebote zu erstellen. Auch bei Nachunternehmern wurde vorgesehen, dass der SCA_i nur ein Angebot bearbeitet und lediglich innerhalb seines Unternehmens agieren kann. Kommunikation mit firmenexternen Entitäten wird von einem CNA ausgeführt. Der KA wiederum instanziiert mit weiteren an sein Unternehmen gestellten Aufforderungen zur Abgabe von Angeboten die nächsten SCA_i innerhalb seines Unternehmens.

5.3 Ontologiebausteine

Zur Durchführung der komplexen Prozessschritte von Öffentlichen Ausschreibungen ist eine wachsende Intelligenz der Agenten erforderlich. Diese korreliert mit einem steigenden Umfang der Ontologie. Eine sinnvolle Struktur, die im Rahmen dieser Arbeit umgesetzt wurde, ist die Bereitstellung einer Basisontologie, die allen Agenten implementiert ist. Hiermit werden Grundfunktionen eines Agenten, wie beispielsweise Kommunikation, deliberatives Verhalten oder Proaktivität ermöglicht. Darüber hinaus wurden entsprechend der spezifischen Anforderungen der jeweiligen Agententypen Ontologiebausteine entwickelt:

Baustein Standardleistungstexte

Alle Agenten des virtuellen Marktplatzes, die an der Bearbeitung und Auswertung von Angeboten unmittelbar beteiligt sind, können sich über Standardleistungstexte verständigen. Einzelne Positionen können hierbei angeboten oder nachgefragt werden. Die Entwicklung dieser erweiterbar gestalteten „BauOntologie“ ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Angebotsbearbeitung und Vergabe von Bauleistungen. Hierzu wurde eine Auswahl gängiger Standardleistungstexte aus unterschiedlichen Rohbaugewerken prototypisch in die Struktur des virtuellen Marktplatzes implementiert.

Struktur des Marktplatzes

Einzelne Agenten, insbesondere die Utility Agenten, müssen einen jeweils aktuellen Gesamtüberblick über die unterschiedlichen Agententypen und deren Funktionen auf dem virtuellen Marktplatz haben, um etwa bei Anfragen entsprechende Auskunft geben zu können. Hierfür existiert beim Facilitator eine aktuelle strukturierte Übersicht – in Form einer Datenbank – aller Marktplatzteilnehmer einschließlich der jeweiligen Zuständigkeiten und Relationen untereinander. Solch eine Übersicht ist in Abbildung 20 schematisch dargestellt. Hiermit kann jeder anfragende Agent unmittelbar und eindeutig einem Unternehmen und einer Funktion zugeordnet werden.

Struktur des Unternehmens

Übergeordnete Agenten, wie etwa der PSA auf der Seite eines GU oder der KA auf der Seite eines NU, benötigen das Wissen und die Begrifflichkeiten der Struktur innerhalb ihres Unternehmens, um dort koordinierende Aufgaben wahrnehmen zu können.

Fachliche Terminologie

Nicht immer ist die ausgeschriebene Arbeit mit einem Standardleistungstext erfasst. Generalunternehmer suchen etwa für Leistungspositionen in Form von Freitexten oder bei Funktionalen Ausschreibungen adäquate Nachunternehmen für bestimmte Tätigkeiten, ohne vorher eine Standardleistungsposition zu erstellen. Noch deutlicher wird diese Anforderung bei der durch Innovation geprägten Produktvielfalt im Bereich von Innenausbauarbeiten, die oft nicht unmittelbar in einem Standardleistungstext berücksichtigt werden können. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird die Basisontologie um Begriffe aus dem Bereich von Bauleistungen erweitert, die den entsprechenden Gewerken semantisch zugeordnet sind. Hierüber können Agenten diese Begrifflichkeiten erfassen und folglich beim Facilitator geeignete Auftragnehmeragenten für diese Leistungen anfragen. Im Folgenden sind Beispiele für solche Zuordnungen aufgelistet:

Bodenaushub, Drainage	→ Erd- und Grundbauarbeiten
Vorsatzschale, Sichtmauerwerk	→ Mauerwerksarbeiten
Betonstützen, Flachdecke, Ringanker	→ Beton- und Stahlbetonarbeiten
Leichte Trennwände, Ständerwände	→ Innenausbau

Verhandlungsterminologie

Agentenbasierte Verhandlungen erfordern eine fachliche Terminologie zur erfolgsorientierten Anwendung von Strategien und Taktiken. Hierbei sind Begrifflichkeiten, wie der Beginn, die Unterbrechung, die Fortführung oder der Abbruch von Verhandlungen, sowie das Anbieten von Gegenangeboten oder Änderungsvorschlägen unabdingbar. Diese Verhandlungsaufgabe wird ausschließlich von CNA[10] durchgeführt. Die hierfür erforderlichen Begrifflichkeiten sind in einem eigenen Ontologieblock diesen Agenten bereitgestellt.

Die Zuordnung der unterschiedlichen Ontologiebausteine zu den jeweiligen Agententypen der verschiedenen Teilnehmer auf dem virtuellen Marktplatz ist in Abbildung 20 dargestellt.

5.4 Struktur des agentenbasierten virtuellen Marktplatzes

In den Kapiteln 5.2 und 5.3 wurden bereits die unterschiedlichen Agententypen und Ontologiebausteine des virtuellen Marktplatzes beschrieben. Ergänzend hierzu wird in Abbildung 20 eine graphische Übersicht zur Konstellation der Agenten innerhalb eines Unternehmens sowie innerhalb des Marktplatzes gegeben. Dabei wird auch die jeweilige Möglichkeit der Interaktion unterschiedlicher Agenten deutlich. Lediglich die strichliert umrahmten Agenten (PSA, KA, CNA) in Abbildung 20 besitzen ein Agentenzertifikat und sind folglich in der Lage, auch mit Agenten außerhalb des eigenen Unternehmens auf dem virtuellen Markplatz zu kommunizieren.

Zur Sicherstellung der Rechtsgemäßheit des agentenbasierten virtuellen Marktplatzes wurde dieser in zwei Bereiche mit unterschiedlichen Zugriffsrechten unterteilt – den Agenten und den Nutzerbereich. Darüber hinaus wurde für die sichere Kommunikation der Agenten, sowie für die Sicherstellung von Vertraulichkeit, Integrität, Authentizität und Nichtleugbarkeit der auf dem Marktplatz durchgeführten Handlungen eine Public

[10] CNA steht für Comminication und Negotiation Agent.

Key Infrastruktur implementiert. Für weitere Ausführungen zur Architektur des Marktplatzes wird auf [SCDA05] und [DENK03] verwiesen.
Im Rahmen dieser Arbeit werden nachfolgend zwei wesentliche Elemente vorgestellt, die innerhalb der Marktplatzstruktur eingesetzt wurden. Dabei handelt es sich zum einen um das Werkzeug Protégé zur Erstellung von Ontologieelementen und zum anderen um das regelbasierte Expertensystem JESS, das für die Abbildung und Verarbeitung des Wissens der Agenten eingesetzt wurde.

5.4.1 Ontologie in Protégé

Für eine prototypische softwaretechnische Realisierung wurde mit Protégé [PROT05] ein umfangreiches grafisches Werkzeug für die Entwicklung von Ontologien eingesetzt. Dieses bietet die Möglichkeit, Ontologien in verschiedenen Formaten zu exportieren, wie beispielsweise in RDF[11], in XML, in der Sprache des Expertensystems JESS sowie als Ontologie für die im Rahmen dieses Forschungsprojekts eingesetzte Agentenplattform JADE. Dadurch können die hier entwickelten Ontologiebausteine auch für andere Applikationen eingesetzt werden [MEHR05]. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde nur ein relativ kleiner Teil der Möglichkeiten von Protégé genutzt, jedoch bietet dieses bereits eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung des Marktplatzes.

Die Bestandteile der hier verwendeten Bau-Ontologie unterteilen sich entsprechend der Trennung von prozess- und projektrelevanten Anteilen in unterschiedliche Bausteine. Wichtig für den Prozess ist beispielsweise der im Rahmen des Forschungsprojekts in Protégé entwickelte Baustein *Stamp*, der als Java-Klasse exportiert und verwendet wurde. Diese Java-Klasse enthält jeweils ein Attribut für den Namen des Agenten, der einen Stempel vergibt, den Zeitpunkt des Stempels sowie die Funktion, in der ein Softwareagent seinen Stempel vergibt. Die Trennung von prozess- und projektrelevanten Informationen ist jedoch nicht immer ganz eindeutig, da beispielsweise der Java-Klasse *Project* ebenfalls ein Slot *Stamp* mitgegeben wird, in dem alle beteiligten Agenten dem Projekt einen Stempel setzen können. Die wichtigsten Bausteine im Rahmen dieser Forschungsarbeit sind die entwickelten Java-Klassen *Profil* und *Project*:
Die Klasse *Profil* eines Unternehmens hat entscheidenden Einfluss auf die Auswahl möglicher Projekte. Diese enthält einzelne Kennzahlen des Unternehmens, wie dessen

[11] RDF steht für Ressource Description Framework und ist eine Inhaltsbeschreibungssprache des Semantic Web.

Größe und dessen fachspezifischen sowie regional bevorzugten Arbeitsbereich, siehe Abbildung 21.

Generalunternehmer GU | Nachunternehmer NU
Bereich: Maurerarbeiten | Unterbereich: Maurerarbeiten_ | Spezialbereich: Mauerwerk_nichttr._Innen_u_.Aussenwand_11
PLZ Bereich: 4 | Mitarbeiter: 123
Vertragskonditionen VEB <: 12000

Abbildung 21: Attribute der Klasse *Profil*

Das zu verhandelnde Projekt enthält neben dem aus Standardleistungstexten bestehenden Leistungsverzeichnis weitere Kennzahlen und Attribute, wie etwa den Submissionstermin, siehe Abbildung 22.

ProjektID | Ort (PLZ): 1
Projektstart: Oktober 24, 2005 | Projektende: November 25, 2005
SCO (Subunternehmer) | darf Teilbereiche heraussuchen (allow) | darf nicht weitervergeben (req)
LV: BV_Strandhaus_1
Bearbeitender SCA | AID: (agent-identifier :name testagent@testplatform) | ...

Abbildung 22: Attribute der Klasse *Project*

Anzumerken ist hierbei, dass das zu verhandelnde Leistungsverzeichnis sowohl als Ontologieklasse als auch im XML-Format zur Verfügung steht.

In Abbildung 23 sind beispielhaft projektbezogene Klassen, erstellt in Protégé 3.1, dargestellt. Im linken Teil der Abbildung 23 wird eine Instanz der Klasse *Profil* dargestellt. Dabei handelt es sich um die Repräsentation der Struktur dieses Objekts in der Ontologie. Jede Protégé-Klasse besitzt immer eine gewisse Anzahl an Template Slots [NOGU01]. Diese Slots, die im unteren Bereich der Darstellung aufgelistet sind, beschreiben innerhalb einer Klassendefinition sowohl die Eigenschaften der Klasse als auch die Relationen verschiedener Klassen zueinander. Aus dem linken Teil der Abbildung 23 geht weiterhin hervor, dass das Profil des Suchagenten eines Unternehmens, wie bereits in Kapitel 4.2.2 erwähnt, mittels charakteristischer Attribute, beispielsweise dem Wirkungsgebiet, dem Auslastungsgrad sowie der Unternehmensgröße abgebildet wird. Ein solcher Slot kann hierbei zunächst auch unabhängig von einer bestimmten Klasse programmiert werden (ValueType Any). Ebenso können sich mehrere Klassen denselben

CLASS EDITOR

For Class: Profil (instance of :JADE-CLASS)

Name: Profil

Documentation: Das Profil der Firma

Role: Concrete

Template Slots

Name	Cardinality	Type
WirkungsBereichSlot	single	Instance of Bereich
WirkungsUnterBereichSlot	single	Instance of Abschnitt
SpezialgewerkeSlot	single	Instance of Position
WirkungsgebietSlot	single	String
FirmengroesseSlot	single	String
AuslastungSlot	single	Instance of Auslastung
VertragskonditionenSlot	single	String
Preisliste	single	Instance of LVZ
isGUSlot	single	Boolean
isNUSlot	single	Boolean
WirkungUeberschriftSlot	single	Instance of Ueberschrift

CLASS EDITOR

For Class: Project (instance of :JADE-CLASS)

Name: Project

Documentation:

Role: Concrete

Template Slots

Name	Cardinality	Type
LvSlot	single	Instance of LVZ
BesitzerSlot	single	Class with superclass Besitzer
Sca	single	Instance of AID
projectID	required s...	String
ScoAllowedSlot	required s...	Boolean
ScoRequiredSlot	required s...	Boolean
NebenangebotSlot	multiple	Instance of LVZ
StampsSlot	required r...	Instance of Stamp
ProposalSlot	single	Instance of LVZ
ProjectStartSlot	single	String
ProjectEndSlot	single	String
ProjectOrtSlot	single	String

Abbildung 23: Beispiele – Ontologieklasse *Profil* sowie Ontologieklasse *Project*

Slot teilen. Nach der Umsetzung der Klasse in eine JADE-Ontologie wird der unabhängig programmierte Slot mit dem Objekt der Klasse *java.lang.Object* verbunden und ist damit wiederum abhängig. Des Weiteren besteht die Möglichkeit durch Vererbung Subslots zu definieren [GRDI03]. Die Eigenschaften der Slots werden durch so genannte Facets beschrieben. Mögliche Facets sind beispielsweise die folgenden:

- Wertetyp des Slots (beispielsweise *Integer*, *Float*, *String* oder *Boolean*).
- Einschränkungen der Wertebereiche, wie beispielsweise Intervallgrenzen der Variablen *Integer* oder *Float*.
- Kardinalität bzw. Mächtigkeit eines Slots, wobei hiermit festgelegt wird, ob der Slot einen oder mehrere Werte annehmen kann, oder etwa, ob eine Werteangabe benötigt wird bzw. lediglich optional ist.

Demgemäß ist es möglich und auch im Rahmen der agentenbasierten Anwendung erforderlich, dass Slots abhängig von ihrer Definition verschiedene Werte annehmen können.

Im rechten Teil der Abbildung 23 wird eine Instanz der Klasse *Project* dargestellt. Hierbei wurden analog der Definition von Slots der Klasse *Profil* ebenfalls zunächst die entsprechend erforderlichen Slots, wie beispielsweise *LV* oder *Nebenangebot* definiert. Außerdem kann hier festgelegt werden, ob das Einbeziehen eines Nachunternehmers erforderlich ist (ScoRequired). Weiterhin wird hier geregelt, ob die Berücksichtigung

von Nachunternehmern zulässig ist (ScoAllowed). Hiermit wird verhindert, dass ein Nachunternehmer seine Aufträge an weitere Nachunternehmer vergibt (keine Sub-Sub-Struktur).

Die in Abbildung 23 gezeigten Screenshots geben die agenteninterne Darstellung recht gut wieder. Durch das Einbinden eines Plugins in Protégé kann im Rahmen der prototypischen Implementierung die erstellte Ontologie per Tastendruck in eine JADE-Ontologie umgewandelt werden (Bean Generator, [BEAN05]). Weitere Screenshots sind in Anhang A enthalten.

5.4.2 Implementierung des regelbasierten Expertensystems JESS

Das Wissen der Softwareagenten wird in einem Expertensystem abgelegt und verarbeitet. Folglich ist es auch notwendig, die Ontologie der Agenten im Expertensystem abzubilden.
Mit der „Java Expert System Shell“ (JESS) [JESS05] ist im Rahmen dieser Arbeit ein schnelles und leistungsfähiges regelbasiertes Expertensystem für Java-basierte Plattformen zum Einsatz gekommen. JESS unterstützt nicht nur die Entwicklung von regelbasierten Systemen, sondern stellt auch zur Anwendung dieser Systeme einen Regelinterpreter bereit. Darüber hinaus ist in JESS eine Programmierumgebung für Java implementiert. Das Vorbild für die Entwicklung von JESS Ende der 90er Jahre war die CLIPS Expert System Shell, die als Open Source Inferenzmechanismus (inference engine) für die Programmiersprache C entwickelt wurde. JESS wird immer häufiger auch für die Entwicklung intelligenter Softwareagenten eingesetzt, da zur Erzielung eines gewissen Grades an Intelligenz der Agenten Methoden wissensbasierter Systeme, wie beispielsweise regelbasierte Systeme, prädestiniert sind.

In Abbildung 24 ist der prinzipielle Aufbau einschließlich der wesentlichen Komponenten eines solchen regelbasierten Systems dargestellt. Die einzelnen Bestandteile werden im weiteren Verlauf kurz erläutert:

Inference Engine
Die Aufgabe des Inferenzmechanismus besteht darin, Regeln auf Fakten anzuwenden. Gewöhnlich arbeitet ein Inferenzmechanismus in mehreren Arbeitsschritten, die etwa folgendermaßen beschrieben werden können:

- Die Prämissen aller Regeln werden mit Hilfe von Mustererkennung mit den Fakten aus dem Arbeitsspeicher verglichen, um zu entscheiden, welche Regeln aktiviert werden. Die unsortierte Zusammenstellung der aktivierten Regeln wird auch als Konfliktmenge (*conflict set*) bezeichnet.
- Im anschließenden Schritt werden die Regeln sortiert. Damit wird eine Ablaufliste (Agenda) gebildet, aus der hervorgeht, welche Regel zuerst feuert. Dieser Prozess – auch *conflict resolution* genannt – ist von vielen Faktoren abhängig, wobei nur wenige unmittelbar vom Programmierer kontrolliert werden können.
- Im weiteren Verlauf feuert die erste Regel der Agenda und die Fakten im Arbeitsspeicher werden korrigiert. Somit kann der hier geschilderte Ablauf erneut beginnen.

Zur Vermeidung von gleichen und damit vermeidbaren Arbeitsschritten wurden bereits fortschrittliche Techniken entwickelt, wie etwa der *Rete-Algorithmus*. Dieser unterstützt insbesondere umfangreiche regelbasierte Systeme darin, sich fortwährend zu optimieren. Hierzu werden Netzwerke (lateinisch: rete = Netz) aus bereits ermittelten und zwischengespeicherten Vergleichsergebnissen aufgebaut. Die miteinander verbundenen Knoten dieses Netzwerks repräsentieren jeweils eine oder mehrere Abfragen der Left Hand Side (LHS) einer Regel. Jeder Knoten hat dabei ein oder zwei Eingänge und eine nicht begrenzte Zahl an Ausgängen. Neue Fakten, die dem Arbeitsspeicher zugeführt oder von diesem entfernt werden, durchlaufen dieses Netz, wodurch die oben bereits beschriebene Konfliktmenge aktualisiert wird. Durch Mustererkennung ist es somit nicht mehr erforderlich, bei neuen oder geänderten Fakten jede einzelne Regel erneut zu interpretieren [FRIE03]. Die Basis für diesen im Laufe der letzten Jahre stetig weiterentwickelten Algorithmus legte bereits Charles Forgy mit seiner Veröffentlichung Anfang der achtziger Jahre [FORG82].

Eine der großen Stärken eines regelbasierten Systems ist, dass der Regelinterpreter selbst über die Reihenfolge der auszuführenden Regeln entscheidet. Dadurch können Kombinationen aus den Fakten und Regeln entstehen, die im Vorfeld nicht unmittelbar ersichtlich bzw. für den Programmierer nicht vorstellbar waren.

Rule Base

Die Regelbasis enthält alle dem System bekannten Regeln beispielsweise als textliche Zeichenketten. Oftmals jedoch werden diese mit Hilfe eines Compilers in einer strukturierten Form abgelegt. Der JESS-Regel-Compiler bildet hierbei eine komplexe Daten-

struktur, die *Rete Network* genannt wird (siehe unten). Manche regelbasierte Systeme benutzen als Regelbasis eine externe relationale Datenbank. In beiden Fällen, ob intern oder extern, besteht in der Regel die Möglichkeit, je nach Anwendungsfall nicht alle, sondern nur einen Teil der vorhandenen Regeln explizit auszuwählen.

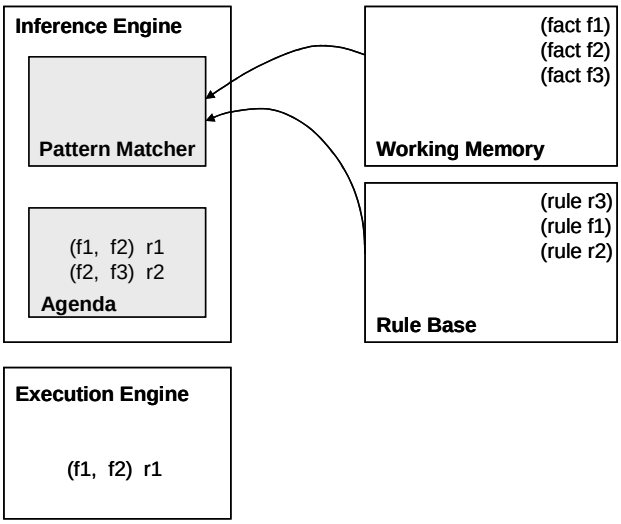


Abbildung 24: Aufbau des Regelbasierten Systems gemäß [FRIED03]

Working Memory

Der Arbeitsspeicher enthält alle Fakten, mit denen das regelbasierte System arbeitet, weshalb dieser auch als Faktenbasis (*fact base*) bezeichnet wird. Neben den Prämissen können hier auch die geschlussfolgerten Konklusionen enthalten sein.

Pattern Matcher

Die Aufgabe des Mechanismus zur Mustererkennung ist, mittels der aktuell im Arbeitsspeicher vorhandenen Fakten zu entscheiden, welche Regeln feuern. Vor dem Hintergrund, dass in regelbasierten Systemen oft tausende von Fakten und eine Vielzahl von Regeln mit zwei bis drei Prämissen vorhanden sind, wird die hohe Anzahl an Möglichkeiten deutlich. Daher ist dieser Prozessschritt in regelbasierten Systemen oft sehr aufwendig.

Agenda

Alle Regeln, die potenziell angewendet werden können, sind in der Agenda enthalten. Unter Einsatz einer Konfliktstrategie ist zu entscheiden, welche Regel die höchste Priorität besitzt und demzufolge zuerst feuert. Gewöhnlich werden hierbei sowohl die Kom-

plexität der Regel, als auch das relative Alter der Prämissen aus dem Arbeitsspeicher berücksichtigt, wobei jeder Regelinterpreter individuell unterschiedlich vorgeht. Zusätzlich kann mit einzelnen Regeln spezifisch eine Priorität verknüpft sein, so dass gewisse Regeln immer als wichtiger im Vergleich zu anderen identifiziert werden und generell vor anderen Regeln feuern.

Execution Engine

Der Ausführungsmechanismus ist die Komponente des Systems, die eine Regel feuert. In modernen Regelinterpretern kann dieses Feuern einer Regel eine große Vielfalt von Auswirkungen bedeuten. JESS bieten hierzu beispielsweise eine vollständige Programmiersprache, in der festgelegt werden kann, was geschehen soll, wenn eine Regel feuert. Der Ausführungsmechanismus repräsentiert hierbei auch die Laufzeitumgebung, in der diese Programmiersprache ausgeführt werden kann.

Für die im Rahmen des Forschungsprojekts eingesetzten fortschrittlichen Softwareagenten wurde das Expertensystem JESS wie folgt verwendet:

Die Nachricht, die der Agent erhält, liegt als Java Objekt vor. Dieses Objekt der Klasse *jade.lang.acl.ACLMessage* wird an das Working Memory des Expertensystems weitergegeben. Durch Helferklassen, die im Agentensystem implementiert sind, extrahiert das Expertensystem die in der Nachricht enthaltenen Ontologiebausteine. JESS ist in der Lage, Fakten aus speziellen Java Objekten, so genannten Java Beans, zu erstellen und somit die extrahierten Bausteine der JADE Ontologie sowie die sie einhüllende Nachricht für das weitere Vorgehen zu verwenden. Nach dem Durchlauf des Ausführungsmechanismus werden eine oder mehrere Antworten auf die Nachricht generiert und dem Agenten zur Weiterleitung übergeben.

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Konzepte für die Ausschreibung, Angebotsbearbeitung und Vergabe von Bauleistungen auf agentenbasierten virtuellen Marktplätzen erstellt. Für die Akzeptanz derartiger virtueller Marktplätze in der Praxis ist es erforderlich, sämtliche Facetten einer dokumentenbasierten Ausschreibung abzubilden. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Arbeit folgende im Rahmen der Ausschreibung von Bauleistungen gängigen Problemstellungen hinsichtlich ihrer Umsetzung auf agentenbasierten virtuellen Marktplätzen behandelt:

Ausschreibungssuche

Durch die Profilierung der Softwareagenten, durch die Bereitstellung von entsprechenden Regeln, sowie durch die Verwendung eines geeigneten Inferenzmechanismus konnte eine effiziente, automatisierte Suche nach lukrativen Ausschreibungen erreicht werden. Diese Suche ist einerseits erweiterbar gestaltet, sowie andererseits auch auf andere Branchen übertragbar.

Identifizierung von lukrativen Nebenangeboten

Mit dem Einsatz des fallbasierten Schließens ist es möglich, Nebenangebote in einer automatisierten Weise zu identifizieren. Hierzu wurde im Rahmen dieser Arbeit zunächst eine unternehmensspezifische Fallbasis, basierend auf den Erfahrungen früherer Projekte erstellt. Mit den Informationen aus Ausschreibungen neuer Projekte kann somit eine Suche nach ähnlichen Projekten aus der Fallbasis durchgeführt werden mit dem Ziel, lukrative Nebenangebote zu identifizieren und an den Initiator weiterzuleiten.

Schließen von Bietergemeinschaften

Für das Schließen einer Bietergemeinschaft wurden im Rahmen dieser Arbeit Konzepte entwickelt, die zu einer erheblichen Automatisierung der Prozessschritte führen. Diese Konzepte beziehen sich auf die Auswahl sowie die Evaluierung von geeigneten Nachunternehmern. Hierzu wurde ein Bewertungssystem entwickelt, das den besonderen Anforderungen des B2B-Commerce Rechnung trägt.

Agentenbasierte Verhandlungen

Schließlich wurden die zeitintensiven Prozessschritte von Verhandlungen mit Hilfe von geeigneten Konzepten und Modellen automatisiert und auf Softwareagenten übertragen. Hierbei wurden im Rahmen dieser Arbeit neben der Analyse des jeweiligen Verhandlungspartners und der Entwicklung geeigneter Strategien auch die Erstellung von Gegenangeboten sowie Änderungsvorschlägen bei dem Scheitern einzelner Verhandlungsphasen untersucht. Die Verhandlungen verlaufen multiparametrisch in mehreren Stufen.

Ein erster Ansatz zur Realisierung der Modelle und Konzepte wurde schließlich im Rahmen dieser Arbeit mit der Entwicklung unterschiedlicher Agententypen mit individuellen Fähigkeiten und Zuständigkeiten vorgestellt. Für eine prototypische softwaretechnische Umsetzung kam die Entwicklungsplattform für Agenten JADE zum Einsatz. Dazu wurden mit Protégé, einem Tool zur Entwicklung von Ontologiebausteinen, und dem regelbasierten Expertensystem JESS zwei leistungsfähige und erweiterbare Werkzeuge implementiert. Erste Erfahrungen im Einsatz der oben angegebenen Software bestätigten die Realisierbarkeit der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modelle.

6.2 Ausblick auf weitere Forschungsarbeit

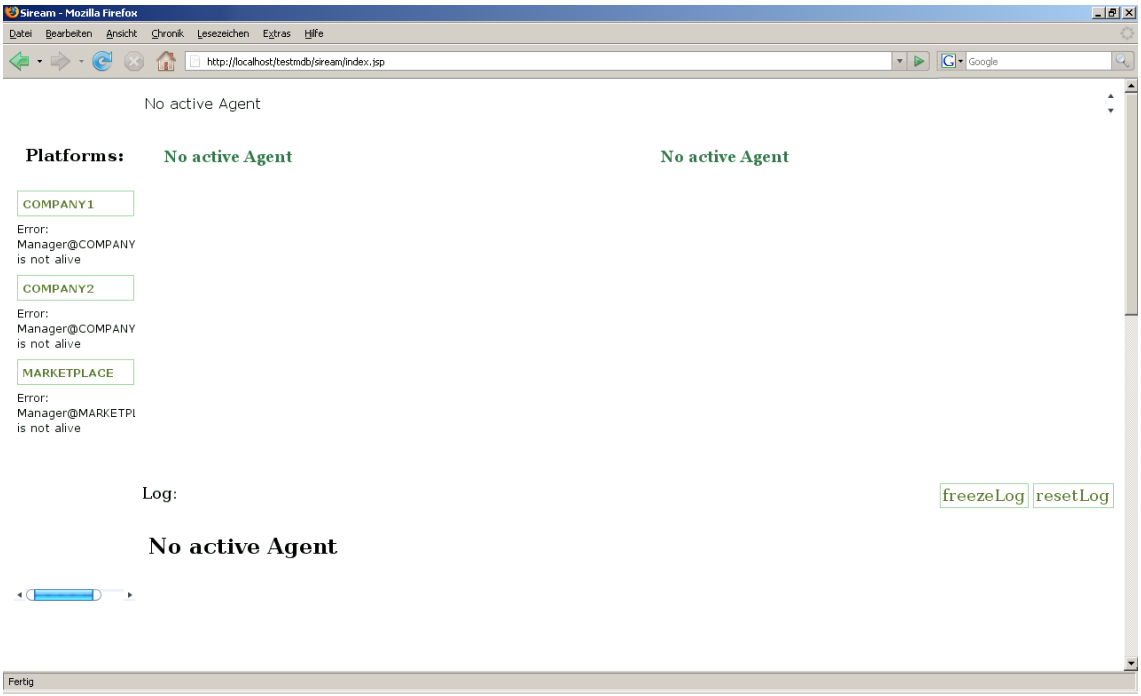
Aufbauend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit sind weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten vorstellbar. Die wichtigsten Weiterentwicklungsmöglichkeiten liegen im Bereich der Ontologie der Agenten:
Die Standardleistungstexte bilden den Kernbereich der Agentenontologie, auf deren Basis Kommunikation stattfindet. Damit ist die Implementierung einer möglichst flexiblen und jederzeit erweiterbaren Ontologie ein wesentlicher Einflussfaktor für eine erfolgreiche Realisierung und Akzeptanz eines agentenbasierten virtuellen Marktplatzes zur vollständigen Ausschreibung von Bauleistungen.

Eine elegante und flexible Möglichkeit besteht in der Entwicklung semantischer Netze im Bereich von Bauleistungen. Im Rahmen einer Ausschreibung ist das Leistungsverzeichnis zunächst weiterhin aus Standardleistungstexten zusammensetzt. Mit den standardisierten Bausteinen nicht erfassbare Positionen könnten aus einem vorher definierten, begrenzten „Wortschatz“ zusammengesetzt und verknüpft werden, so dass Agenten diese Textblöcke erfassen und verarbeiten können.

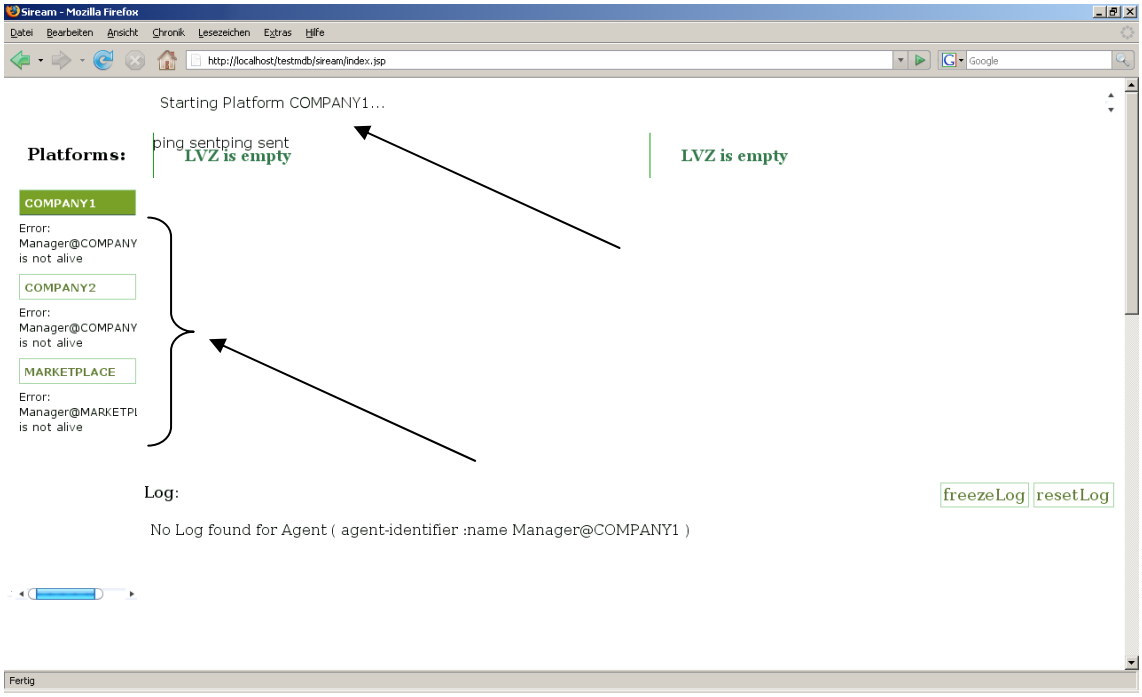
In einer weiteren Entwicklungsstufe könnten die semantischen Netze soweit entwickelt und standardisiert sein, dass alle Positionen ausschließlich auf diese Art zusammengesetzt werden. Damit wären Agenten in der Lage, sowohl mit Hilfe der semantischen Netze Leistungspositionen selbst zu erstellen, als auch fehlerhafte bzw. fehlende Angaben in Freitexten durch Plausibilitätsprüfungen zu identifizieren.

In einer nächsten, weiter ausgereiften Entwicklungsstufe wäre es sogar vorstellbar, dass Agenten unter Verwendung von digitalen Gebäudemodellen Massen selbstständig erfassen und mittels der Informationen aus den semantischen Netzen vollständige Leistungsverzeichnisse in autonomer Weise erstellen, was gerade auf der Seite des Auftraggebers eine große Erleichterung darstellte. Eine dynamische Erweiterbarkeit der Ontologie wäre hiermit nahezu uneingeschränkt sichergestellt.

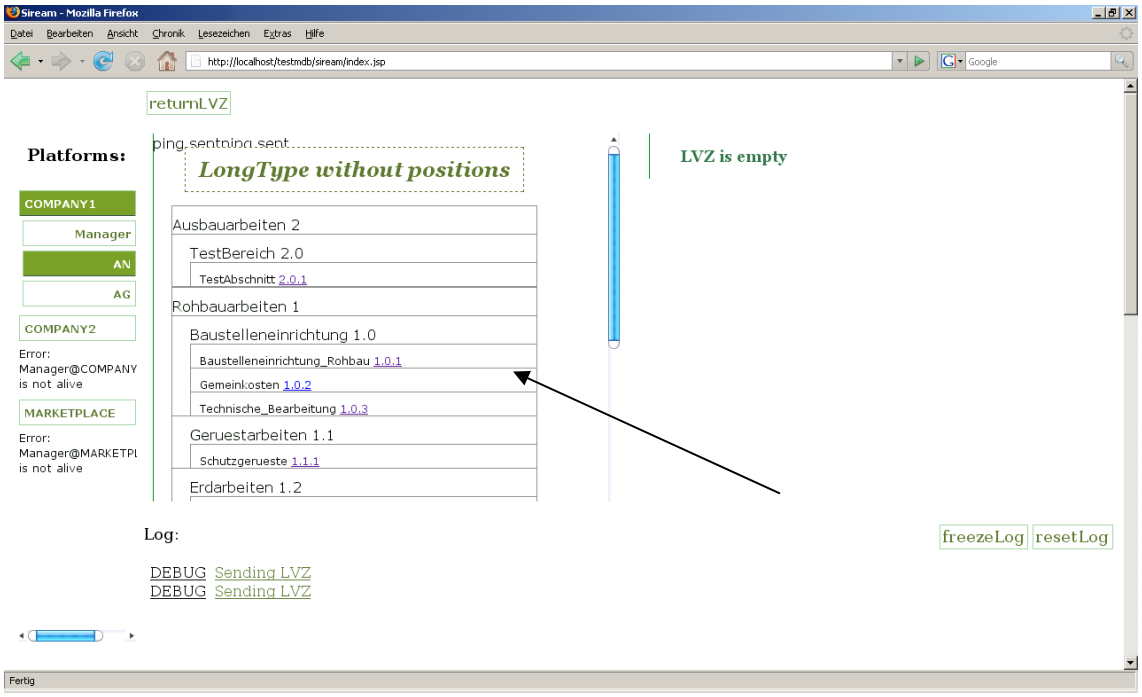
Anhang A



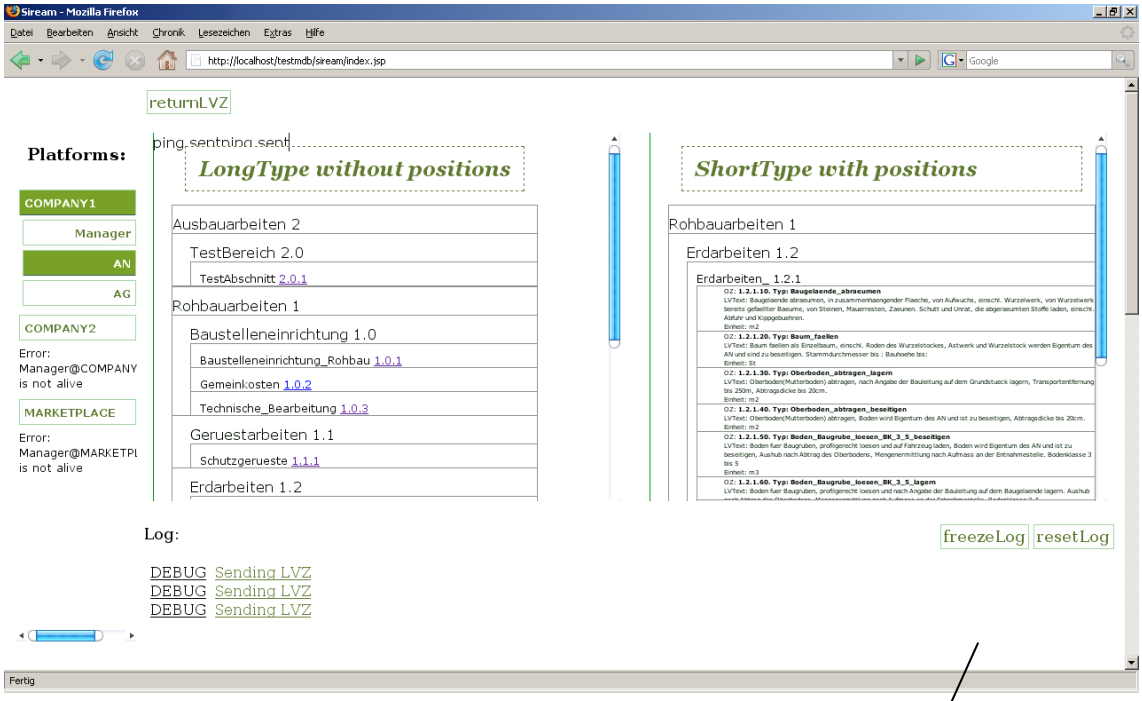
Aufruf der Agentenplattform



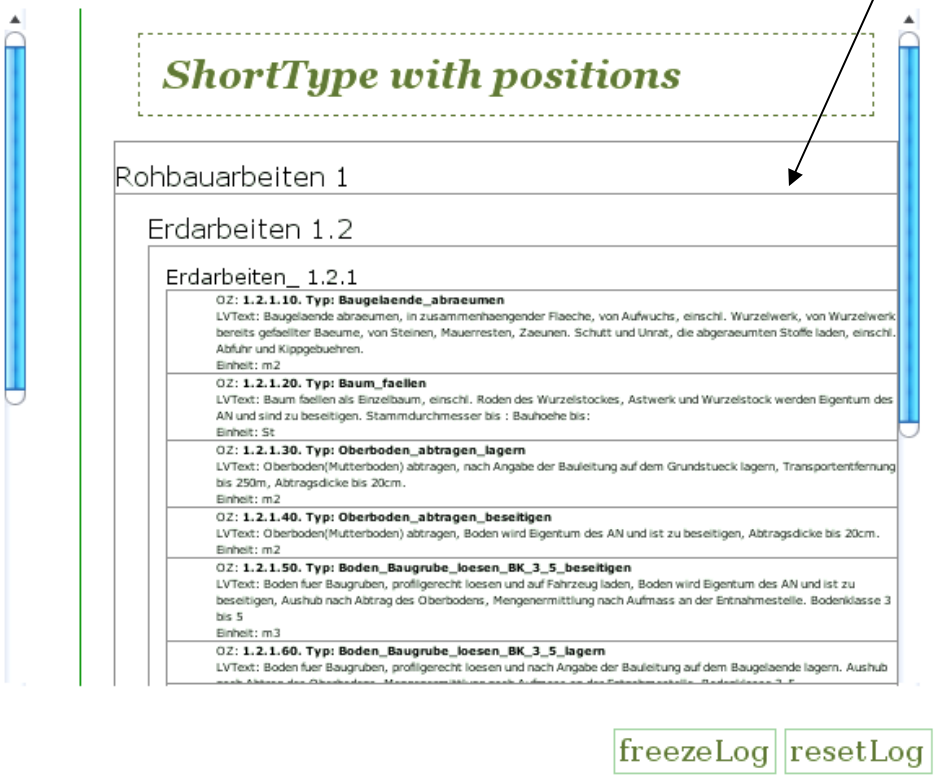
Start des ersten Unternehmens, Company 1 – noch ist kein Unternehmen registriert



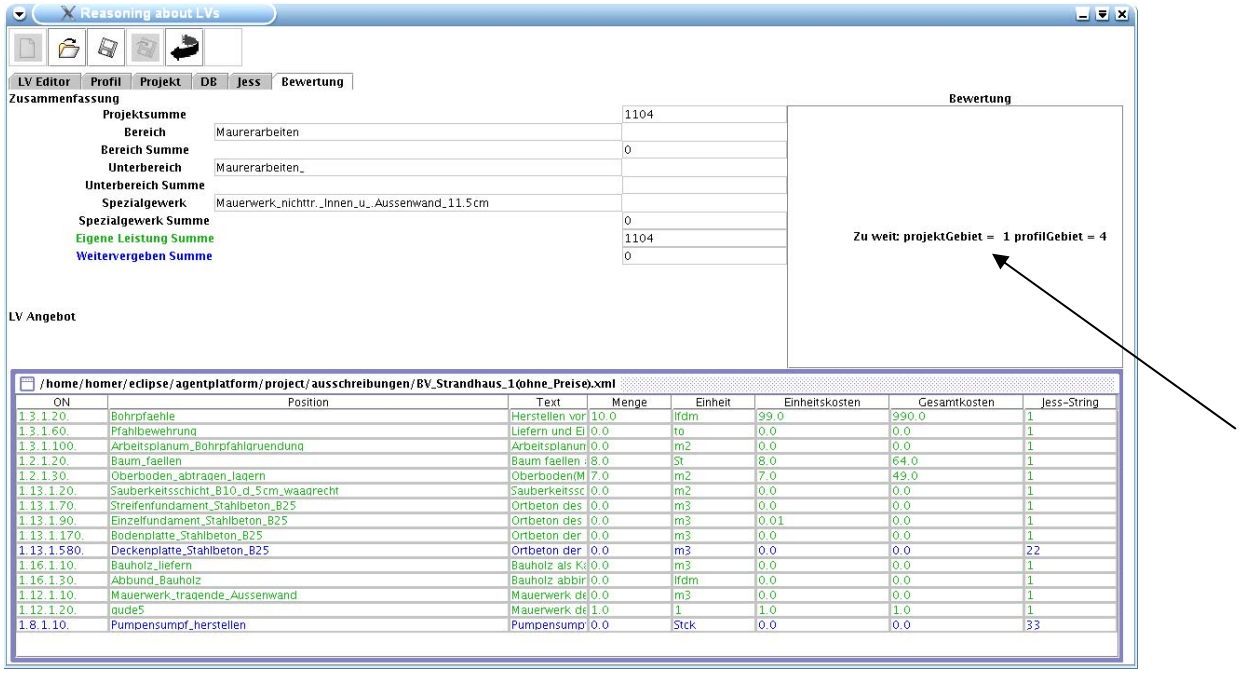
Leistungsverzeichnis wird in den Arbeitsspeicher eingelesen



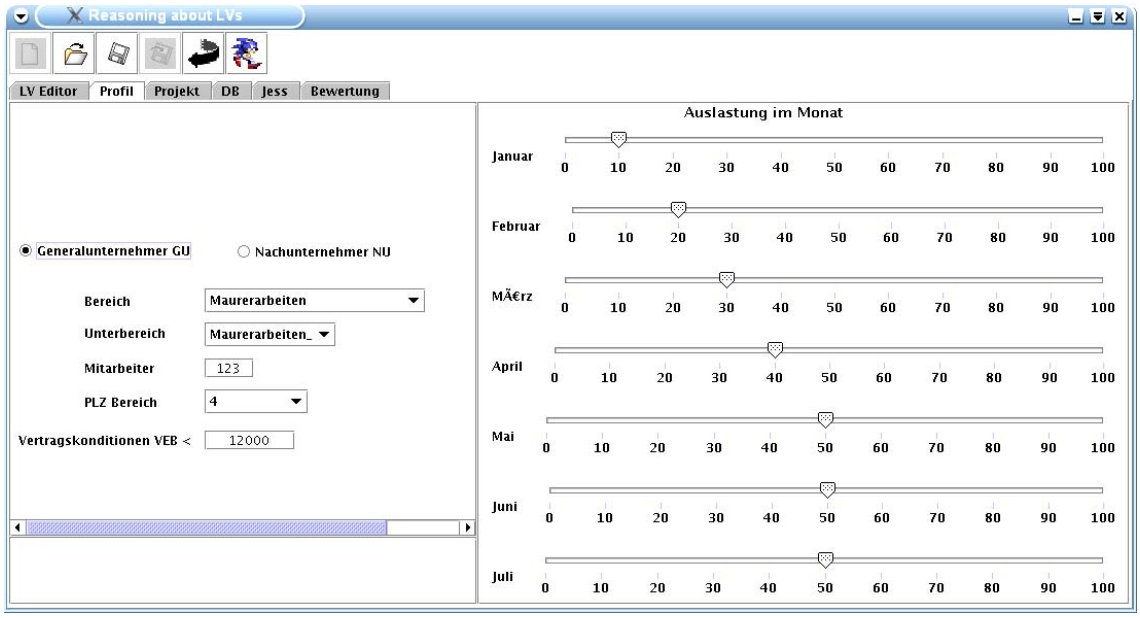
Darstellung einzelner Positionen eines Leistungsverzeichnisses



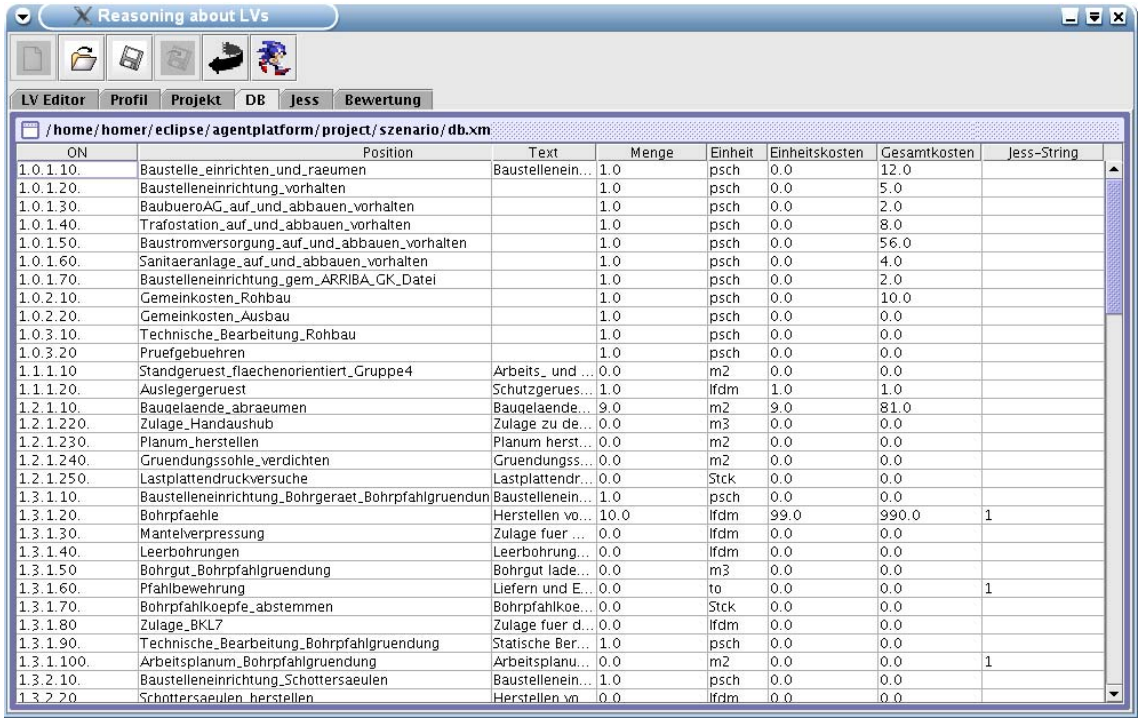
Darstellung einzelner Positionen eines Leistungsverzeichnisses



Überprüfung hinsichtlich Teilnahme an der Ausschreibung

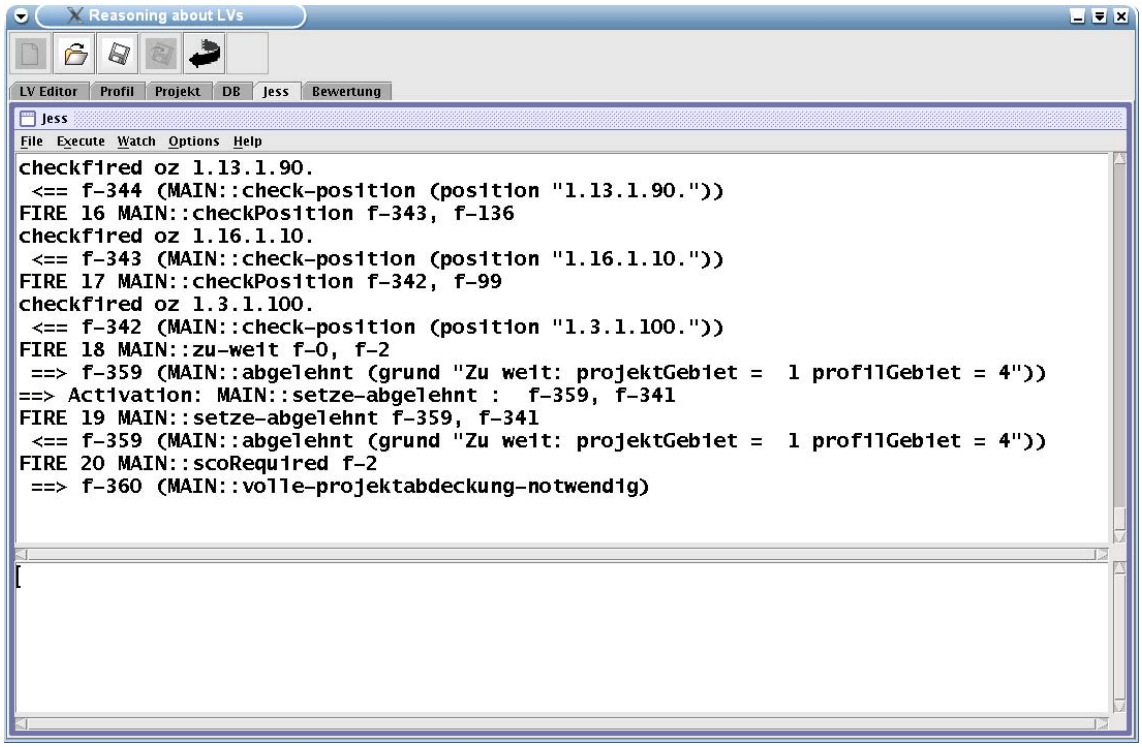


Monatliches Auslastungsprofil eines Unternehmens



ON	Position	Text	Menge	Einheit	Einheitskosten	Gesamtkosten	Jess-String
1.0.1.10.	Baustelle_einrichten_und_raeumen	Baustellenein...	1.0	psch	0.0	12.0	
1.0.1.20.	Baustelleneinrichtung_vorhalten		1.0	psch	0.0	5.0	
1.0.1.30.	BaubueroAG_auf_und_abbauen_vorhalten		1.0	psch	0.0	2.0	
1.0.1.40.	Trafostation_auf_und_abbauen_vorhalten		1.0	psch	0.0	8.0	
1.0.1.50.	Baustromversorgung_auf_und_abbauen_vorhalten		1.0	psch	0.0	56.0	
1.0.1.60.	Sanitaeranlage_auf_und_abbauen_vorhalten		1.0	psch	0.0	4.0	
1.0.1.70.	Baustelleneinrichtung_gem_ARRIBA_GK_Datei		1.0	psch	0.0	2.0	
1.0.2.10.	Gemeinkosten_Rohbau		1.0	psch	0.0	10.0	
1.0.2.20.	Gemeinkosten_Ausbau		1.0	psch	0.0	0.0	
1.0.3.10.	Technische_Bearbeitung_Rohbau		1.0	psch	0.0	0.0	
1.0.3.20	Pruefgebuehren		1.0	psch	0.0	0.0	
1.1.1.10	Standgeruest_flaechenorientiert_Gruppe4	Arbeits_ und ...	0.0	m2	0.0	0.0	
1.1.1.20.	Auslegergeruest	Schutzgerues...	1.0	lfdm	1.0	1.0	
1.2.1.10.	Baugelaende_abraeumen	Baugelaende...	9.0	m2	9.0	81.0	
1.2.1.220.	Zulage_Handaushub	Zulage zu de...	0.0	m3	0.0	0.0	
1.2.1.230.	Planum_herstellen	Planum herst...	0.0	m2	0.0	0.0	
1.2.1.240.	Gruendungssohle_verdichten	Gruendungss...	0.0	m2	0.0	0.0	
1.2.1.250.	Lastplattendruckversuche	Lastplattendr...	0.0	Stck	0.0	0.0	
1.3.1.10.	Baustelleneinrichtung_Bohrgeraet_Bohrpfahlgruendun	Baustellenein...	1.0	psch	0.0	0.0	
1.3.1.20.	Bohrpfaehle	Herstellen vo...	10.0	lfdm	99.0	990.0	1
1.3.1.30.	Mantelverpressung	Zulage fuer ...	0.0	lfdm	0.0	0.0	
1.3.1.40.	Leerbohrungen	Leerbohrung...	0.0	lfdm	0.0	0.0	
1.3.1.50	Bohrgut_Bohrpfahlgruendung	Bohrgut lade...	0.0	m3	0.0	0.0	
1.3.1.60.	Pfahlbewehrung	Liefern und E...	0.0	to	0.0	0.0	1
1.3.1.70.	Bohrpfahlkoepfe_abstemmen	Bohrpfahlkoe...	0.0	Stck	0.0	0.0	
1.3.1.80	Zulage_BKL7	Zulage fuer d...	0.0	lfdm	0.0	0.0	
1.3.1.90.	Technische_Bearbeitung_Bohrpfahlgruendung	Statische Ber...	1.0	psch	0.0	0.0	
1.3.1.100.	Arbeitsplanum_Bohrpfahlgruendung	Arbeitsplanu...	0.0	m2	0.0	0.0	1
1.3.2.10.	Baustelleneinrichtung_Schottersaeulen	Baustellenein...	1.0	psch	0.0	0.0	
1.3.2.20	Schottersaeulen_herstellen	Herstellen vo	0.0	lfdm	0.0	0.0	

Wissensdatenbank zu den einzelnen Preisen



Ausgabe der JESS Reasoning Engine beim Analysieren des Leistungsverzeichnisses

Literaturverzeichnis

A

[AAPL94] Aamodt, A., Plaza, E.: *Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations and System Approaches*, AI Communications, Vol. 7 Nr. 1, Seiten 39-59, 1994.

[AECV05] *AECventure* im WWW: http://www.aecventure.com.

[ALTE06] *Altenda* im WWW: http://www.altenda.com.

[ANUR05] Anumba, C. J., Ugwu, O. O., Ren, Z.: *Agents and Multi-agent Systems in Construction*, edited by C. J. Anumba, O. O. Ugwu und Z. Ren, Taylor & Francis, Abingdon, UK, 2005.

[AUML05] *Agent Unified Modeling Language* im WWW: http://www.auml.org.

[AUST02] Austin, J. L.: Zur *Theorie der Sprechakte (How to do things with words)*, Deutsche Bearbeitung von Eike von Savigny, zweite Auflage, Reclam Verlag, 2002.

[AVAC05] *Avacomm* im WWW: http://www.avacomm.com.

B

[BEKE03] Beierle, C., Kern-Isberner, G.: *Methoden Wissensbasierter Systeme – Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen*, Vieweg-Verlag, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, 2003.

[BEAN05] *Beangenerator* im WWW: http://acklin.nl/page.php?id=34.

[BAUL05] *Baulogis* im WWW: http://www.baulogis.com.

[BJÖR00] Björnsson, H., Ekström, M.: *Automation of AEC-bidding Using Intelligent Agents*, ICCCBE, Stanford 2000.

[BJEK02] Björnsson, H., Ekström, M.: *A Rating System for AEC E-bidding that Accounts for Rater Credibility*, Forthcoming in CIB W65 Symposium Septemper 2002, Cincinnati, Ohio, USA.

[BRAD97] Bradshaw, J. M.: *An Introduction to Software Agents*, in: Software Agents, Bradshaw, J.M. (Ed.), Menlo Park, Calif., AAAI Press, 1997, Seite 3-46.

[BRSM01] Bradley, K., Smyth, B.: *Improving Recommendation Diversity*, Proceedings of the Twelfth National Conference in Artificial Intelligence and Cognitive Science (AICS-01), pages 75-84, 2001, Maynooth, Ireland.

[BRZW98] Brenner, W., Zarnekow, R., Wittig, H.: *Intelligente Softwareagenten – Grundlagen und Anwendungen*, Berlin, 1998.

[BUCH99] Buchmann, J.: *Einführung in die Kryptographie*, Springer-Verlag, 1999.

[BUON05] *BuildOnline* im WWW: http://www.buildonline.com.

C

[CATE05] *Causeway Technologies* im WWW: http://www.causeway-tech.com.

[CITA05] *Citadon* im WWW: http://www.citadon.com.

[COKG02] Collins, J., Ketter, W., Gini, M.: *A Multi-Agent Negotiation Testbed for Contracting Tasks with Temporal and Precedence Constraints*. International Journal of Electronic Commerce, 7(1):35-57, 2002, im WWW: http://citeseer.ist.psu.edu/collins02multiagent.html.

D

[DENK03] Denk, H.: *Softwaremodelle für einen rechtsgemäßen, agentenbasierten virtuellen Marktplatz für Ausschreibung, Angebotsbearbeitung und Vergabe von Bauleistungen*, Dissertation, VDI Verlag, Düsseldorf, Reihe 4, Nr.192, 2003.

E

[ETBA01] Ekström, M., Taylor, J., Björnsson, H. Arnold, A.: *Developing Electronic Models to Support Internet Bidding*, CIFE Technical Report #128, Stanfort University, 2001.

[EUSU05] *Eu-Supply* im WWW: http://www.eu-supply.com.

[EVBU05] *E-Vergabe des Bundes* im WWW: http://www.evergabe-online.de.

F

[FASJ98] Faratin, P., Sierra, C., Jennings, N.R.: *Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents*, Int. Journal of Robotics and Autonomous Systems, 24 (3-4) 159-182, 1998, im WWW: http://citeseer.nj.nec.com/faratin98negotiation.html.

[FORG82] Forgy, C.: *Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem*, Artificial Intelligence, 19, pp. 17-37, 1982.

[FRIE03] Friedman-Hill, E.: *JESS in Action*, Manning Publications Co., Greenwich, CT, 2003.

G

[GAEB05] *Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen* im WWW: http://www.gaeb.de.

[GESC04] Geibig, O., Schnellenbach-Held, M.: *Implementation of an Agent-based Bidding Consortium in the Architecture of an Agent-based Virtual Marketplace*, Proceedings of the Xth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE), Verlag und Datenbanken für Geisteswissenschaften (VDG), Weimar, 2004.

[GORS03] Görz, G., Rollinger, C.-R., Schneeberger (Hrsg.), J.: *Handbuch der künstlichen Intelligenz*, 4., korrigierte Auflage, Oldenbourg-Verlag, 2003.

[GRDI03] Grawe, T., Dietrich, T.: *Protégé – ein Programm zur Wissensmodellierung*, Forschungsseminar, Universität Leipzig, 2003, im www: http://bis.uni-leipzig.de/studium/seminare/2003_ws/ais/AIS-Forschungsseminar-20031212.pdf.

H

[HEJL03] He, M., Jennings, N.R., Leung, H.: *On Agent-Mediated Electronic Commerce*, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 15(4), 985-1003, July 2003.

I

[IMPU05] *Impulse* im WWW: http://agents.media.mit.edu/projects/impulse.

[INAI05] *IAI* im WWW: http://www.iai-international.org.

[ISIS04] *Common ISIS-MailTrust Specifications for Interoperable PKI Applications*, T7 & TELETRUST, VERSION 1.1, 16th März 2004.

J

[JADE05] *Agentenplattform JADE* im WWW: http://jade.tilab.com.

[JESS05] *Expertensystem JESS* im WWW: http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/index.shtml.

L

[LIPP00] Lipp, P., et al.: *Sicherheit und Kryptographie in Java*, Addison-Wesley, 2000.

M

[MAES95] Maes, P.: *Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents*, Communication of the ACM, Volume 38, Issue 11, 1995.

[MAGU99] Maes, P. Guttman, R.,Moukas, A.: *Agents that Buy and Sell: Transforming Commerce as We Know It*, MIT Cambridge/USA, 1999.

[MA2105] *MAP 21* im WWW: http://www.map21.de.

[MEHR05] Mehr, O.: *Einsatz der Agentenplattform JADE unter Einbeziehung des Ontologieeditors Protégé und dem regelbasierten Expertensystem JESS*, unveröffentlichter Abschlussbericht, Essen, 2005.

[MEKO05] *Media@Komm Esslingen* im WWW: http://mediakomm.esslingen.de.

N

[NOGU01] Noy, N., McGuinness, D.L.: *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*, Knowledge System Laboratory (KSL) Technical Report, 2001.

O

[OSCI05] *OSCI* im WWW: http://www.osci.de.

P

[PAUL06] Paul, S.: *Das elektronische Vergabeverfahren – am Beispiel öffentlicher Aufträge für Bauleistungen*, Reihe „Der elektronische Rechtsverkehr“, hrsg. Von Alexander Roßnagel, Band 17, Nomos Verlag, Baden-Baden, in Vorbereitung.

[PAUS98] Pauser, A.: *Beton im Hochbau – Handbuch für den konstruktivenVorentwurf*, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf, 1998.

[PREI06] Preis, K.: *Entwicklung firmen- und situationsspezifischer Strategien für die Durchführung computergestützter Verhandlungen*, Institut für Massivbau, Uni Duisburg-Essen, unveröffentlichte Diplomarbeit, Essen, 2006.

[PROT05] *Protégé* im WWW: http://protege.stanford.edu/.

R

[RETS05] *RETSINA* im WWW: http://www.cs.cmu.edu/~softagents/retsina_agent_arch.html.

[ROIG01] Roth-Berghofer, T., Iglezakis, I.: *Six Steps in Case-Based Reasoning: Towards a Maintenance Methodology for Case-Based Reasoning Systems*, Seiten 198-208 in Professionelles Wissensmanagement – Erfahrungen und Visionen, Shaker-Verlag, Aachen, 2001.

[ROSS02] Roßnagel, A.: *Rechtliche Unterschiede von Signaturverfahren*, MMR – Zeitschrift für Informations-, Telekommunikations- und Medienrecht 4/2002, S.215-222.

[ROSS06] Roßnagel, A., Fischer-Dieskau, S.: *Elektronische Dokumente als Beweismittel - Neufassung der Beweisregelungen durch das Justizkommunikationsgesetz*, NJW (Neue Juristische Wochenschrift) 2006, 806 - 809.

[RUNO95] Russell, S. J., Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall*, 1995.

S

[SANE97] Saner, R.: *Verhandlungstechnik – Strategie, Taktik, Motivation, Verhalten, Delegationsführung*, Haupt-Verlag, 1997.

[SCDA05] Schnellenbach-Held, M., Denk, H., Albert, A.: *Agent-Based Virtual Marketplace for AEC-bidding*, Chapter 8 in [ANUR05].

[SESN02] Segovia, J., Szczepaniak, P. S., Niedzwiedzinski, M.: *E-Commerce and Intelligent Methods*, Physica-Verlag, 2002.

T

[TEUT02] Teuteberg, F.: *Antizipieren von Verhandlungsstrategien auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen und Markov-Entscheidungsprozessen - Am Beispiel eines agentenbasierten Marktplatzes zur Personalakquisition*; in: Dangelmaier, W.; Emmrich, A.; Kaschula, D. (Eds.): Modelle im E-Business, ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe, Vol. 8; Wirtschaftsinformatik, insb. CIM, Paderborn 2002, pp. 507-526.

[TGMW97] Tsvetovatyy, M., Gini, M., Mobasher, B., Wieckowski, Z.: *MAGMA: An Agent-Based Virtual Market for Electronic Commerce*, Journal of Applied Artificial Intelligence, (6), 1997, im WWW: http://citeseer.ist.psu.edu/tsvetovatyy97magma.html.

V

[VEBA05] *Bayerische E-Vergabe* im WWW: http://www.vergabe.bayern.de.

W

[WMRS02] Wellman, M., MacKie-Mason, J.K., Reeves, D., Swaminathan, S.: *Exploring Bidding Strategies for Market-Based Scheduling*, ACM Conference on Electronic Commerce (EC'03) June 9-12, 2003, San Diego, USA.

[WUWW02] Wurman, P.R.: Wellman, M.P., Walsh, W.E.: *Specifying Rules for Electronic Auctions*, AI Magazine, im WWW: http://citeseer.nj.nec.com/wurman02specifying.html.

[WURM02] Wurman, P.R.: *Toward Flexible Trading Agents*, im WWW: http://citeseer.nj.nec.com/480617.html.

Z

[ZAHG99] Zapf, M., Herrmann, K., Geihs, K.: *Netz- und Systemmanagement mit mobilen Agenten und SNMP*, in 13. Fachtagung der GI: Management verteilter IV-Systeme, Seeheim, Germany, 1999.

[ZARN99] Zarnekow, R.: *Softwareagenten und elektronische Kaufprozesse – Referenzmodelle zur Integration*, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, Gabler Edition Wissenschaft, 1999.