

**Eberhard Wolff**

# Genetische Programmiermodelle für automatische Verhandlungen

**Diplomarbeit**

# BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei [www.GRIN.com](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren



### **Zusammenfassung**

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden genetische Algorithmen zur Optimierung von Strategien für automatische Verhandlungen verwendet. Dabei kommen im Gegensatz zu anderen Arbeiten endliche Automaten als Datenstruktur zum Einsatz. Diese werden für bilaterale Verhandlungen und Auktionen verwendet; die Ergebnisse werden mit anderen Ansätzen verglichen. Die Arbeit gibt außerdem eine Einführung in die Gebiete der automatischen Verhandlungen und genetische Algorithmen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>4</b>
1.1	ECommerce . . . . .	4
1.2	Automatische Verhandlungen . . . . .	6
1.3	Genetische Algorithmen . . . . .	7
1.4	Genetische Programmierung . . . . .	8
1.5	Optimierung von Verhandlungsstrategien mit Genetischen Algorithmen . . . . .	8
1.6	Überblick über das Dokument . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Automatische Verhandlungen</b>	<b>10</b>
2.1	Motivation . . . . .	10
2.2	Vorangegangene Arbeiten . . . . .	12
2.3	Klassifikation von Verhandlungen . . . . .	13
2.4	Verhandlungsprotokolle . . . . .	16
2.5	Verhandlungsstrategien . . . . .	20
2.6	Modellierung von Verhandlungsstrategien als endliche Automaten	23
<b>3</b>	<b>Genetische Algorithmen</b>	<b>26</b>
3.1	Einführung . . . . .	26
3.2	Prinzipien genetischer Algorithmen . . . . .	28
3.2.1	Das Schematheorem . . . . .	29
3.3	Genetische Programmierung . . . . .	33
3.4	Anwendung für Verhandlungsstrategien . . . . .	35
3.5	Vorangegangene Arbeiten . . . . .	38
3.5.1	Das Iterated Prisoners Dilemma . . . . .	38
3.5.2	Anwendung von genetischen Algorithmen auf Verhandlungsszenarien . . . . .	40
3.6	Endliche Automaten als Datenstruktur . . . . .	45

<b>4</b>	<b>Implementierung</b>	<b>52</b>
4.1	Anforderungen an die Implementierung . . . . .	52
4.2	Verwendete Technologien und Vorgehensweisen . . . . .	54
4.3	Generisches Framework für genetische Algorithmen . . . . .	56
4.4	Anwendung auf numerische Probleme . . . . .	62
4.5	Implementierung der endlichen Automaten . . . . .	70
4.6	Anwendung auf Verhandlungsszenarien . . . . .	75
<b>5</b>	<b>Anwendung auf bilaterale Verhandlungsszenarien</b>	<b>77</b>
5.1	Beschreibung der Szenarien . . . . .	77
5.2	Implementierung . . . . .	80
5.3	Ergebnisse . . . . .	85
5.4	Analyse und Bewertung der Ergebnisse . . . . .	98
<b>6</b>	<b>Anwendung auf Auktionsszenarien</b>	<b>104</b>
6.1	Beschreibung der Szenarien . . . . .	104
6.2	Implementierung . . . . .	108
6.3	Ergebnisse . . . . .	113
6.4	Analyse und Bewertung der Ergebnisse . . . . .	126
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>135</b>
7.1	Bewertung . . . . .	135
7.2	Andere Anwendungsgebiete für genetische Algorithmen . . . . .	138
7.3	Mögliche Erweiterungen bei automatischen Verhandlungen . . . . .	139

# Kapitel 1

## Einführung

### 1.1 ECommerce

Allgemein kann ECommerce definiert werden als ein Oberbegriff für all jene Handelstransaktionen, die auf elektronischem Wege stattfinden und meist auch zumindest teilweise automatisiert sind. Dabei sind viele sehr unterschiedliche Szenarien heute schon im Einsatz. So gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Einzel- und Großhändlern, die ihr Angebot über das weltumspannende World Wide Web (WWW) ihren Kunden anbieten. Neben diesen *Business-to-Consumer* Märkten gibt es auch zahlreiche *Business-to-Business* Anwendungen, die meist auch schon länger im Einsatz sind. Wesentliche Technologien sind dabei z.B. EDI (Electronic Data Interchange), das einen Standard für die elektronische Übertragung von Handelstransaktionen darstellt. Desweiteren gibt es verschiedene Verfahren für Online-Zahlungen, also elektronisches Geld. Es hat sich jedoch gezeigt, daß meistens bereits die verschlüsselte Übertragung von Kreditkartennummern ausreicht, um entsprechende Zahlungsvorgänge auszulösen, so daß diese Technik inzwischen den größten Teil der ECommerce Umsätze ermöglicht. Wichtiger werden hingegen die *Portal-Sites*, die meistens früher Suchmaschinen für das Durchsuchen des Internets waren. Diese haben sich inzwischen zu Katalogdiensten entwickelt, die Verweise auf unterschiedliche Online-Angebote haben. Solche Katalogdienste sind auch in der Forschung immer wieder implementiert worden, so zum Beispiel in [Wol99].

Der wesentliche Faktor für den Erfolg von ECommerce ist dabei, daß durch die großen Automatisierungspotentiale meist geringere Transaktionskosten realisierbar sind, als dies bei herkömmlicher Bearbeitung der Transaktionen der Fall wäre. Darüber hinaus erlaubt der direkte Zugriff auf die Informationssysteme des Geschäftspartners oft auch einen besseren Kundenservice. Mit Hilfe dieser Systeme ist es zum Beispiel möglich, stets aktuelle und umfassende Produktinformationen anzubieten oder ein System zu realisieren, das 24 Stunden am Tag an 7 Tagen in der Woche Bestellungen annehmen kann.

Durch das Internet in Verbindung mit ECommerce wird auch ein *offener Dienstemarkt* [Mer99] geschaffen, in dem es für jeden möglich ist, mit äußerst niedrigem Aufwand seine jeweiligen Dienstleistungen oder Waren anzubieten.

Plötzlich werden somit die Vorteile egalisiert, die zum Beispiel Banken lange Zeit durch ihr gut ausgebautes Filialnetz hatten, da Online-Banken genauso an jedem Punkt der Welt präsent sein können. Im Gegenteil: Die Banken mit guten Filialnetzen haben einen nicht zu vernachlässigenden Kostennachteil, da sie auch weiterhin das Filialnetz finanzieren müssen und somit den Kostenvorteil von ECommerce nicht vollständig nutzen können. Dieser Aspekt hat auch Auswirkungen auf andere Wirtschaftsbereiche: Es entsteht ein völlig neuer Marktplatz, der prinzipiell jedem Anbieter zu äußerst geringen Kosten offen steht und damit können Vorteile anderer Anbieter auf „traditionellen“ Märkten aufgewogen werden.

In Zukunft wird ECommerce noch weitergehende Auswirkungen haben: Nachdem es mittlerweile zahlreiche Online-Shops gibt, zeichnen sich jetzt als nächste Welle die Online-Auktionshäuser ab. Neben dem, was traditionelle Auktionshäuser anbieten, nämlich gebrauchte und meist auch relativ seltene Waren, gehen Online-Auktionshäuser auch dazu über, neuwertige Waren zu versteigern. Damit besteht die Möglichkeit, daß in Zukunft Waren immer weniger zu festen Preisen verkauft werden, sondern vielmehr die Preise durch Verhandlungen festgelegt werden. Wieder zeichnet sich ab, daß hier ein neuer Marktplatz mit eigenen Gesetzen entsteht. Auch hier gilt es, neben dem Business-to-Consumer Bereich auch den Business-to-Business Bereich zu betrachten: In Zukunft könnte der Einkauf bei Unternehmen auch durch Online-Auktionen oder ähnliche Verfahren organisiert werden. Feste Preise sind in diesem Bereich oft schon nicht mehr vorhanden. Es gilt also nur noch, hier ECommerce Verfahren zur Kostensenkung einzuführen.

Wesentlicher Vorreiter ist hier zur Zeit eBay [eBa]. Auf dieser Website können Kunden einzelne Waren oder auch Dienstleistungen zur Versteigerung anbieten. Dabei ergibt sich für Anbieter der Vorteil, daß sie wegen der Popularität der Website auf viele potentielle Käufer treffen können. Dieses ist gerade bei Auktionen besonders wichtig, da dann viele Käufer zueinander in Konkurrenz stehen, so daß der Verkäufer damit rechnen kann, einen guten Preis zu erzielen. Für den Käufer wiederum gibt es eine große Menge von Angeboten, was gerade bei der Vielfalt gebrauchter Gegenstände ein wichtiger Aspekt ist. Außerdem können sie im Gegensatz zu traditionellen Auktionen festlegen, wie hoch ihr höchstes Gebot sein wird. Das Auktionssystem bietet dann mit jeweils kleinen Gebotserhöhungen, bis dieses höchste Angebot erreicht wird. Somit kann das Auktionssystem auch darauf reagieren, wenn später ein anderer Bieter das bisherige Höchstgebot überbietet. Auch wird es so möglich, Auktionen über einen längeren Zeitraum zu führen, da die Bieter nicht für die gesamte Dauer der Auktion anwesend sein müssen. Für eBay als Auktionator ist der wesentliche Vorteil, daß sie relativ einfach Profit machen können: Sie nehmen für sich einen bestimmten Teil des erzielten Preises in Anspruch. Da die Kosten für die Unterhaltung des Auktionssystems im Vergleich zu dem Umsatz der Auktionen gering sind, kann eBay unmittelbar Profit machen, während andere ECommerce-Anbieter erst später bei einer weiteren Verbreitung damit rechnen können, wirkliche Gewinne zu machen. Das wiederum beeinflußt potentielle Kapitalgeber positiv, so daß weitere Auktionshäuser entstehen.

## 1.2 Automatische Verhandlungen

Neben den erwähnten Auktionen, die als eine Art Verhandlung aufgefaßt werden können, gibt es zahlreiche weitere Szenarien, in denen Verhandlungen eine Rolle spielen. Viele der Transaktionen, die im Bereich Business-to-Business stattfinden, sind Ergebnisse umfangreicher Verhandlungen zwischen Vertretern der jeweiligen Geschäftspartner.

Eine grundlegende Eigenschaft von Verhandlungen ist, daß alle Verhandlungspartner für sich jedem Angebot einen gewissen Wert mit Hilfe ihrer *Nutzenfunktion* zuordnen können. So kann für einen Verhandlungspartner zum Beispiel eine Lieferung am nächsten Tag sehr wichtig sein, also einen hohen Nutzen haben. Jedoch kennt jeder nur seine eigene Nutzenfunktion, die er auch den anderen Verhandlungspartnern nicht mitteilt, da dann diese Verhandlungspartner einen Vorteil haben könnten. So könnte im erwähnten Beispiel der Verhandlungspartner eine Lieferung am nächsten Tag zu einem außergewöhnlich hohen Preis anbieten, wenn er weiß, daß dies für die Gegenseite von so außerordentlicher Wichtigkeit ist. Also versuchen — abstrakt betrachtet — die Verhandlungspartner das Verhandlungsergebnis bei ihrer Verhandlung zu erzielen, das für alle beteiligten Parteien den optimalen Kompromiß darstellt.

Es gibt für solche Verhandlungen Untersuchungen, die zeigen, daß menschliche Verhandlungspartner meist nicht dazu in der Lage sind, diesen optimalen Kompromiß zu erzielen [RS96]. Meist ist es sogar so, daß ein Verhandlungsergebnis hätte erzielt werden können, daß für alle beteiligten Parteien besser gewesen wäre. Durch diese schlechten Verhandlungsergebnisse werden also nicht unbedingt nur ein Verhandlungspartner benachteiligt, sondern es kann sogar sein, daß beide Partner geschädigt werden.

Diese Problematik legt es nahe, nach Verfahren zu suchen, die diesen Verhandlungsprozeß automatisieren. Damit könnten möglicherweise bessere Ergebnisse erzielt werden, als dies bei menschlichen Verhandlungspartnern der Fall wäre. Außerdem würden so die Kosten, die eine Verhandlung verursacht, niedriger werden und man könnte Verhandlungen in Bereichen nutzen, bei denen bisher die Kosten zu hoch wären. Dieses würde wiederum den bereits beschriebenen Prozeß verstärken, daß zunehmend Preise zu einem Verhandlungsgegenstand werden, da die Kosten für Verhandlungen weiter sinken.

In diesem Bereich gibt es bereits erste Arbeiten, so zum Beispiel die Arbeit von Oliver [Oli96].

Eine Grundlage der vorliegenden Arbeit ist die Modellierung von Verhandlungsstrategien als endliche Automaten. Diese eignen sich gut, da sie dem typischen Vorgehen bei einer Verhandlung entsprechen: Man bekommt bestimmte Verhandlungsangebote als Eingabe, und abhängig von den vorherigen Angeboten befindet man sich in einem bestimmten Zustand. Da auch das Abgeben eigener Angebote erforderlich ist, müssen die endlichen Automaten entsprechend Automaten mit einer Ausgabe sein (Mealy oder Moore Automaten, siehe [HU79]). Die Ausgaben hängen dann also von dem Zustand (also den vorher eingegangenen Angeboten) und dem aktuellen Angebot ab. Wesentlicher Vorteil gegenüber anderen Modellierungen ist dabei, daß endliche Automaten auf der einen Seite ein sehr einfaches Modell sind, auf der anderen Seite aber auch dazu in der

Lage sind, z.B. Entscheidungen auszudrücken und Zustände, in denen sich ein Verhandlungspartner befinden kann. Sie bieten sich daher als „natürliche“ Modellierung von Verhandlungsstrategien an.

### 1.3 Genetische Algorithmen

„Genetische Algorithmen“ ist ein Oberbegriff für Systeme, die sich an der Evolution in der Natur orientieren [Jac97]. Durch die drei wesentlichen Methoden Vererbung, Mutation und Crossover werden Objekte erzeugt, die hinsichtlich einer bestimmten Funktion optimiert sind. Dabei wird immer eine Menge von Objekten betrachtet (*Population*) und zwar zu bestimmten, diskreten Zeitpunkten (die *Generationen*). Jedes Mitglied der Population hat eine gewisse Wahrscheinlichkeit, in die nächste Generation aufgenommen zu werden. Diese hängt davon ab, wie gut es in Bezug auf die zu optimierende Funktion ist (die *Fitness*). Außerdem hat es eine gewisse Wahrscheinlichkeit, durch zufällige Mutation oder durch ein Crossover mit anderen Individuen verändert zu werden. Bei Mutationen wird dabei ein Teil des Objektes zufällig modifiziert, und bei Crossover findet ein Austausch von Teilen des Objektes gegen Teile eines anderen Objektes statt.

Dieses entspricht weitestgehend dem, was man in der Natur beobachten kann. Innerhalb einer Population von Individuen gibt es immer zufällige Mutationen, die auf Fehler bei dem Kopieren des Erbguts zurückzuführen sind. Daneben kommt es bei höheren Lebewesen im Rahmen sexueller Fortpflanzung zu Crossover innerhalb ihres jeweiligen Erbguts. Die Fitness zeigt sich dabei bei natürlichen Lebewesen in der Fähigkeit, sich in der Natur fortzupflanzen.

Der Vorteil der genetischen Algorithmen liegt dabei im wesentlichen darin, daß die genetischen Operatoren auf den Datenstrukturen (also zum Beispiel Zahlen oder Tupel) definiert werden müssen. Die Fitness ergibt sich meist unmittelbar aus der zu optimierenden Funktion. Es kann also mit Hilfe genetischer Algorithmen ein Verfahren gewählt werden, das unabhängig von dem konkreten Problem arbeitet. Insbesondere ist kein zusätzliches Wissen über die Funktion notwendig, d.h. sie muß nicht differenzierbar sein oder Ähnliches. Darüber hinaus haben genetische Algorithmen im Bereich numerischer Probleme auch den Vorteil, daß sie sich durch die Mutationen im Gegensatz zu beispielsweise Hill-Climbing-Algorithmen häufig nicht in einem lokalen Optimum fangen, sondern das globale finden.

Im Bereich der numerischen Optimierungsprobleme stellen genetische Algorithmen also einen interessanten Lösungsansatz dar. Wesentlicher Vorteil ist dabei, daß einige wenige einfache Prinzipien für die Implementierung genetischer Algorithmen ausreichen, die zudem auch noch allgemein für viele Probleme verwendet werden können. Ein Vergleich mit der Natur legt nahe, genetische Algorithmen vor allem dort einzusetzen, wo komplexe Probleme zu bearbeiten sind, da genetische Algorithmen nur wenig Wissen über das Problem verlangen. Außerdem wird mit hoher Wahrscheinlichkeit sogar das globale Optimum gefunden. Diese Bewältigung komplexer Probleme ist auch im Hinblick darauf verständlich, daß genetische Algorithmen durch die natürliche Evolution motiviert sind, die eine außergewöhnlich komplexe Umgebung geliefert hat.

## 1.4 Genetische Programmierung

Basierend auf den Ideen der genetischen Algorithmen wurden Verfahren zur „genetischen Programmierung“ entwickelt [BNKF98]. Im Gegensatz zu genetischen Algorithmen, die sich auf die Lösung numerischer Probleme beschränken, steht bei der genetischen Programmierung die Entwicklung von Algorithmen an sich im Vordergrund. Es ist also ein Ansatz, der nicht auf Daten arbeitet, sondern auf Programmen. Letztendlich können aber auch Programme als Daten aufgefaßt werden. Typischerweise sind Programme aber sehr komplex, was aber eigentlich für einen Einsatz von genetischen Verfahren spricht.

Das wesentliche Problem bei der genetischen Programmierung stellt die Darstellung der Algorithmen dar. Wie man sich leicht vorstellen kann, ist die Darstellung in einer herkömmlichen Programmiersprache ungeeignet, da die Wahrscheinlichkeit, daß bei Mutationen des Programmcodes dieser unausführbar oder ungültig wird, zu groß ist. Man kann also nicht einfach eine herkömmliche Repräsentation der Algorithmen in einer Programmiersprache wählen.

Die erste Möglichkeit besteht in einer Repräsentation der Algorithmen als Graph. Diese Repräsentation entspricht weitgehend dem Parse-Tree, der beim Parsen eines herkömmlichen Programmcodes entsteht. Mutationsoperatoren sind hier relativ einfach zu realisieren: Man kann Knoten zu dem Graphen hinzufügen oder löschen. Ähnliches gilt für den Crossover-Operator: Hier kann man Teile eines Graphen mit Teilen des anderen Graphen mischen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Darstellung der Genome mit Hilfe einer linearen Repräsentation dar. Dabei handelt es sich meist um eine wesentlich vereinfachte Programmiersprache, bei der sichergestellt ist, daß die Mutation eines Programmes wieder zu einem gültigen, ausführbaren Programm führt. Meistens sind diese Programmiersprachen sehr simpel und ähneln Assembler Sprachen.

Die Hauptanwendungen für genetische Programmierung liegen nicht in dem Bereich, der meistens mit Algorithmen in Verbindung gebracht wird, also Verfahren zum Beispiel für Sortierung, Suchen, mathematische Probleme, sondern vielmehr im Bereich der künstlichen Intelligenz, also Muster-Erkennung, Spracherkennung und ähnliches [BNKF98].

## 1.5 Optimierung von Verhandlungsstrategien mit Genetischen Algorithmen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen die Verfahren genetischer Programmierung auf den Bereich der automatischen Verhandlungen angewendet werden. Dabei erscheint es sinnvoll, endliche Automaten als Datenstruktur zu verwenden, da diese eine elegante Formulierung von Verhandlungsstrategien erlauben, aber gleichzeitig verhältnismäßig einfache Datenstrukturen darstellen. Entsprechend der Klassifizierung der verschiedenen Ansätze für genetische Programmierung wird hier also ein graphenbasiertes Verfahren verwendet. Wesentlicher Grund für dieses Vorgehen ist, daß die bisherigen Ergebnisse mit linearen Genomen für Verhandlungsstrategien [Oli96] und genetischer Programmierung für andere Gebiete künstlicher Intelligenz [BNKF98] relativ erfolgversprechend sind. Neben

den bekannt Verhandlungsszenarien aus [Oli96], die bilaterale Verhandlungen unterschiedlicher Komplexität darstellen, sollen auch Auktionen als Verhandlungsszenario bearbeitet werden. Es soll also der bereits bekannte Ansatz, genetische Programmierung auf automatische Verhandlungen anzuwenden, mit einer anderen Datenstruktur ausprobiert werden und gleichzeitig auch auf komplexere Szenarien angewendet werden, um herauszufinden, ob genetische Algorithmen auch in solchen Bereichen sinnvoll einsetzbar sind.

## 1.6 Überblick über das Dokument

In dem nächsten Kapitel wird eine weitergehende Einführung in die Problematik der automatischen Verhandlungen gegeben. Neben vorangegangenen Arbeiten auf dem Gebiet der Verhandlungen werden vor allem Verhandlungsstrategien erläutert, die eine wesentliche Voraussetzung für automatische Verhandlungen sind. Insbesondere wird auf die Modellierung von Verhandlungsstrategien als endliche Automaten eingegangen. Eine solche Modellierung ist eine wichtige Grundlage der vorliegenden Arbeit.

Im darauf folgenden Kapitel wird eine allgemeine Einführung in genetische Algorithmen gegeben, die hier zur Optimierung von Verhandlungsstrategien verwendet werden sollen. Neben den Prinzipien genetischer Algorithmen wird eine Übersicht über den Unterbereich der genetischen Programmierung gegeben sowie die Anwendung zur Optimierung von Verhandlungsstrategien erläutert. Dabei werden auch vorangegangene Arbeiten auf diesem Feld betrachtet. Schließlich werden Möglichkeiten zur Anwendung von genetischen Algorithmen auf endliche Automaten als Datenstruktur erörtert.

Das nächste Kapitel beschäftigt sich dann mit der Implementierung der aufgezeigten Ansätze. Zunächst werden die Anforderungen an die Implementierung festgelegt, um dann anschließend dazu passende Technologien und eine angemessene Vorgehensweise zu finden. Schließlich wird detailliert das Framework für genetische Algorithmen, die Anwendung auf ein numerisches Problem als ein Testfall sowie die Implementierung der endlichen Automaten erörtert, auf denen die Optimierung der Verhandlungsstrategien aufbaut.

Die beschriebene Implementierung wird dann anhand einiger Verhandlungsszenarien getestet. Dabei werden zunächst bilaterale Verhandlungsszenarien aus der Literatur verwendet, um die hier implementierten Ideen mit anderen Ansätzen zu vergleichen. Schließlich wird auch ein Auktionsszenario beschrieben, das ein mögliches Einsatzszenario in der Praxis aufzeigen soll. Die Ergebnisse aus diesen Szenarien werden dann bewertet.

Im letzten Kapitel soll schließlich eine Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben werden. Dabei werden zunächst das Framework und die Ergebnisse aus den verschiedenen Szenarien noch einmal zusammenfassend bewertet. Es werden dann andere mögliche Anwendungsgebiete für genetische Algorithmen aufgezeigt und schließlich mögliche Erweiterungen im Bereich automatischer Verhandlungen wie zum Beispiel alternative Verhandlungsszenarien oder andere Datenstrukturen für die Modellierung der Strategien erläutert.

## Kapitel 2

# Automatische Verhandlungen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen automatischer Verhandlungen erläutert. In Abschnitt 2.1 wird zunächst dargestellt, warum automatische Verhandlungen sowohl in ECommerce-Systemen als auch in anderen verteilten Systemen so eine wichtige Rolle spielen. Der Abschnitt 2.2 gibt dann einen Überblick über grundlegende Arbeiten, die eine wesentliche Motivation für die vorliegende Arbeit geliefert haben. Die unterschiedlichen Arten von Verhandlungen werden dann im Abschnitt 2.3 beschrieben. Die Abschnitte 2.4 und 2.5 klären dann die Begriffe „Verhandlungsprotokoll“ und „Verhandlungsstrategie“. Außerdem werden dort Beispiele für konkrete Verhandlungsstrategien und Verhandlungsprotokolle aus der Literatur gegeben. Der Abschnitt 2.6 schließlich erläutert, wie Verhandlungsstrategien als endliche Automaten modelliert werden können und verdeutlicht dies dann anhand einiger beispielhafter Strategien.

### 2.1 Motivation

Automatische Verhandlungen können zunächst im Bereich des ECommerce verwendet werden. Dies ergibt sich insbesondere aus solchen Systemen wie beispielsweise COSMOS [Wol99], bei denen statt des einfachen Kaufvorgangs die dabei implizit abgeschlossenen Verträge in den Mittelpunkt des Systems gerückt werden und dann explizit als zentrale Datenstruktur für das gesamte ECommerce System verwendet werden. Über Verträge wird natürlich sehr häufig verhandelt, und dementsprechend sollten solche Systeme auf jeden Fall eine Möglichkeit haben, Verhandlungen durchzuführen, bevor Verträge geschlossen werden. Wenn man dann statt manuellen oder maschinell unterstützten Verhandeln auch automatische Verhandlungen ermöglicht, ergibt das den großen Vorteil, daß Verhandlungen wesentlich billiger werden, da es nicht mehr notwendig ist, menschliche Arbeitszeit dafür zu opfern, denn die Verhandlung wird vollautomatisch von einem Softwaresystem übernommen. Damit erreicht man auch für Verhandlungen das, was ECommerce bereits für normale Transaktionen erreicht hat, nämlich eine deutliche Verbilligung. Bei ECommerce wird dies vor allem dadurch erreicht,

daß der Kunde einen direkten Zugriff auf das elektronische Bestellsystem des Anbieters bekommt und somit der Anbieter einen großen Teil der Arbeitskräfte für die Bearbeitung von Bestellungen einsparen kann. Es sind meist dann auch weitergehende Einsparungen möglich, so kann zum Beispiel möglicherweise das Drucken von Katalogen entfallen. Außerdem erhält der Betreiber des ECommerce Systems auch sehr viele Informationen über seine Kunden, die er dann weiter auswerten kann, um seine Angebote noch weiter zu verbessern.

Genau wie bei ECommerce Systemen ist es also durch die Verbilligung von Verhandlungen zum einen möglich, diesen Kostenvorteil an den Kunden weiterzugeben und sich somit als Anbieter einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen. Zum anderen wird es so auch möglich, Verhandlungen zu führen, bei denen es nur um einen Verhandlungsgegenstand geht, der einen niedrigen Wert besitzt. Die Verhandlungskosten müssen nämlich normalerweise deutlich niedriger sein als der Wert des Verhandlungsgegenstandes, weil die Verhandlungskosten sonst einen zu großen Anteil an den Kosten für den Erwerb des Gegenstandes haben und es billiger wäre, ihn zu festen Konditionen zu erwerben.

Ein weiterer Vorteil ist, daß verhandelnde Agenten einen zusätzlichen Nutzen für die Kunden in einem ECommerce System bringen können. Während ohne Verhandlungen nur die Möglichkeit besteht, daß ein Kunde einen Agenten beauftragt, eine Ware zu suchen und zu kaufen, bieten Verhandlungen mehr Flexibilität: Der Agent kann prinzipiell, wenn er kein ganz passendes Angebot findet, zumindest mit Verhandlungen ein Angebot finden, das fast die geforderten Vorgaben erreicht. Damit gibt es also für den Agenten die Möglichkeit, nicht einfach nur das Kaufen einer Ware abzulehnen, weil sie den Vorgaben nicht entspricht, sondern mit dem jeweiligen Anbieter einen Kompromiß zu schließen.

Die bisher beschriebenen Einsatzmöglichkeiten für automatische Verhandlungen sind im wesentlichen durch den Bereich bestimmt, auf dem auch Menschen Verhandlungen führen, nämlich dem Bereich der Verhandlungen über kommerzielle Transaktionen. Wenn man nun aber automatische Verhandlungen betrachtet, so gibt es auch die Möglichkeit, sie als einen Koordinierungsmechanismus insbesondere für verteilte Systeme zu verwenden. Für die Verteilung von Aufgaben auf verschiedene verteilte Systeme beispielsweise ist es meistens nicht ausreichend, nur eine einfache Kommunikation zu ermöglichen, also beispielsweise verteilte Methodenaufrufe, da diese oftmals nicht genügend Semantik enthalten können. Vielmehr muß es hier die Möglichkeit geben, die einzelnen Teile des Systems in Verhandlungen treten zu lassen und entsprechend den Ergebnissen einer solchen Verhandlungen bestimmte Aktionen zu veranlassen.

Ein Beispiel für ein solches Szenario stellt die in [Iba99] beschriebene Arbeit dar: In einer Block-Welt (*Tile World*) sollen mehrere Agenten eine kooperative Strategie entwickeln. Diese Block-Welt besteht aus Blöcken, Hindernissen und Löchern. Ziel der Agenten ist es, die Blöcke in die Löcher zu schieben. Zur Lösung des Problems wird eine Evolution der Agenten simuliert. Nun ist es möglich, daß die Agenten eine Aufteilung der Aufgabe anstreben, also eine Art der Kooperation. Es kann beispielsweise für einen Agenten besonders einfach sein, einen Block in eines der Löcher zu schieben, weil er gerade direkt neben dem Block steht. Damit die Agenten solch eine Aufgabenteilung vornehmen können, müssen sie dazu in der Lage sein, miteinander zu verhandeln, denn sie müssen sich gegenseitig Vorschläge über die Aufteilung der Blöcke machen und

sich dann irgendwann auf eine Lösung einigen. Dies ist genau die Vorgehensweise, die eine Verhandlung ausmacht. Somit kann man für solche Probleme, bei denen innerhalb eines Softwaresystems unterschiedliche Teile kooperieren müssen, automatische Verhandlungen als Mechanismus zum Organisieren der Kooperation verwenden.

Durch den Einsatz von Verhandlungen kann man es also Softwarebausteinen ermöglichen, zur Lösung eines Problems zu kooperieren. Dabei können die entsprechenden Systeme sehr unterschiedlich implementiert werden. Wenn man sich auf ein Verfahren für die Verhandlung geeinigt hat, ist es sogar möglich, daß Teile des Systems von konkurrierenden Firmen entwickelt werden können und somit auch entgegengesetzte Ziele verfolgen. So ist es zum Beispiel möglich, daß die Vermittlung von Telefongesprächen an einen bestimmten Anbieter durch Verhandlungen geschieht, und dementsprechend die einzelnen Verhandlungsagenten von den konkurrierenden Telefongesellschaften implementiert werden. Dabei kann durch eine geschickte Wahl der Verhandlungsmechanismen sogar gewährleistet werden, daß das System nicht von einzelnen Teilnehmern manipuliert werden kann (siehe zum Beispiel [RZ94] [RZ98]).

Zusammenfassend kann man also als ein Anwendungsfeld automatischer Verhandlungen den Bereich des ECommerce identifizieren, bei dem Verhandlungen über Waren und Angebote geführt werden. Automatische Verhandlungen können in diesem Bereich vor allem zu niedrigeren Kosten für Verhandlungen führen und so neben einem möglichen Vorteil im Wettbewerb auch Verhandlungen in solchen Bereichen ermöglichen, in denen die Kosten bisher zu hoch waren. Außerdem können automatische Verhandlungen in verteilten Systemen für eine lose Koppelung von Softwarebausteinen verwendet werden, die dann auf einer hohen semantischen Ebene miteinander kommunizieren können.

## 2.2 Vorangegangene Arbeiten

Wesentliche Motivation für diese Arbeit ist das an der Universität Hamburg entstandene System für die Implementierung von automatischen Verhandlungen (siehe [TSL99], [TGML98]). Grundlage ist dabei die Erkenntnis, daß ein Agent, der verhandeln können soll, aus verschiedenen Modulen aufgebaut sein muß. Zunächst muß der Agent dazu in der Lage sein, überhaupt mit anderen Agenten in Kontakt zu treten. Er muß also eine Komponente enthalten, die Kommunikation mit anderen Agenten erlaubt. Während dieser Kommunikation muß er aber auch ein bestimmtes *Verhandlungsprotokoll* einhalten. Ein solches Verhandlungsprotokoll bestimmt, welcher Verhandlungspartner zu welchem Zeitpunkt welche Aktionen im Rahmen der Verhandlung ausführen darf. Desweiteren muß der Agent dazu in der Lage sein, seine Ziele in einer Verhandlung möglichst auch zu erreichen. Dazu verwendet er eine *Verhandlungsstrategie*, die aus den laut dem Verhandlungsprotokoll möglichen Nachrichten jene heraussucht, die mit der höchsten Wahrscheinlichkeit zu seinem Ziel führen. Entsprechende setzen sich in der an der Universität Hamburg entwickelten DYNAMICS Architektur Agenten aus drei Komponenten zusammen:

**Kommunikationsmodul** Dieses Modul dient dazu, um Kommunikation zwi-

schen den Agenten zu ermöglichen. Es kann Nachrichten in einer bestimmten formalen Sprache empfangen und verschicken.

**Protokollmodul** In diesem Modul werden die eingehenden und ausgehenden Nachrichten auf ihre Protokollkonformität überprüft. Dadurch wird gewährleistet, daß Protokollverstöße der anderen Verhandlungspartner entdeckt werden und daß die eigenen Nachrichten dem Verhandlungsprotokoll entsprechen.

**Strategiemodul** Dieses Modul soll schließlich die für den Agenten optimalen Nachrichten ermitteln.

Dabei werden die einzelnen Module so implementiert, daß sie dynamisch nachgeladen werden können. Im Gegensatz zu Agenten, die immer alle Funktionalitäten mitschleppen, entstehen so kleinere Agenten, die somit auch eher von einem Rechner auf den anderen übertragen werden können (*Mobilität*). So kann ein Agent abhängig von der jeweiligen Rolle, die er in einer Verhandlung einnimmt (z.B. Anbieter oder Käufer), nur jene Teile seiner Funktionalitäten mitführen, die er für die aktuelle Rolle benötigt. Später kann er dann aber auch Teile für andere Rollen nachladen. Ein weiterer wesentlicher Vorteil, der durch dieses Konzept erreicht wird, ist die flexible Konfigurierbarkeit der einzelnen Komponenten. Mit einer solchen Architektur ist es nämlich möglich, verschiedene Kommunikationsmodule, Protokollmodule und Strategiemodule miteinander zu kombinieren. Somit kann man beispielsweise die Agenten mit einem anderen Kommunikationsmechanismus miteinander kommunizieren lassen, ohne daß das Verhandlungsprotokoll oder die Verhandlungsstrategie geändert werden muß. Ein weiterer wichtiger Vorteil dieser einfachen Kombinierbarkeit ist, daß man unterschiedliche Strategiemodule ausprobieren kann. Damit ist es ohne weiteres möglich, sehr unterschiedliche Strategien auszuprobieren oder auch gegeneinander antreten zu lassen. Aufbauend auf die vorliegende Arbeit wäre es also auch denkbar, ein Strategiemodul auf Basis von genetischen Algorithmen einzusetzen.

Damit ergibt sich das Ziel, bei dem die vorliegende Arbeit ein erster Schritt ist: genetische Algorithmen für automatische Verhandlungen gleichberechtigt neben anderen Verfahren für das Finden von Strategien einzusetzen. Diese Arbeit soll zunächst dafür die Grundlage schaffen, indem überhaupt genetische Algorithmen für Verhandlungen eingesetzt werden. Auf Basis der hier gesammelten Erfahrungen kann dann später eine Integration in das DYNAMICS System erfolgen.

## 2.3 Klassifikation von Verhandlungen

Wenn man von dem Begriff „Verhandlung“ spricht, muß man — wie bei jedem Begriff — definieren, was genau gemeint ist. Im Fall des Begriffs „Verhandlung“ ergibt sich sehr schnell, daß dies nur ein Oberbegriff für eine ganze Reihe unterschiedlicher Interaktionen zwischen verschiedenen Partner ist.

Grundsätzlich soll „Verhandlung“ hier als ein Prozeß definiert werden, an dessen Ende sich zwei oder mehr Parteien auf den multilateralen Austausch von Ressourcen zum gegenseitigen Nutzen geeinigt haben. Eine erste grobe Unterscheidung kann anhand der Anzahl der beteiligten Parteien vorgenommen werden: Bei