SPONTANE GRUPPENBILDUNG IN KÜNSTLICHEN GESELLSCHAFTEN

Michael Schillo, Petra Funk
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI),
Im Stadtwald, Gebäude 36, 66123 Saarbrücken
{schillo, funk}@dfki.de

Zusammenfassung

Im folgenden stellen wir das *offen gespielte Gefangenendilemma mit Partnerauswahl* (*disclosed prisoner's dilemma with partner selection*) vor, mit dem Experimente in künstlichen Gesellschaften durchgeführt werden können. Unsere Modellierung umfaßt die Konzepte *Vertrauen, Kooperation, Altruismus* und *Strafe.* Dadurch können wir sozial kompetentere Agenten konstruieren, die ihre Fähigkeiten durch ein besseres Spielergebnis unter Beweis stellen. Wir gehen weder von gänzlich benevolenten Agenten aus, noch von a priori-Wissen aber das soziale Verhalten anderer.

Um in der von uns beschriebenen heterogenen Gesellschaft erfolgreich zu sein, sind die Mitglieder zur Kooperation gezwungen. Da dabei aber Agenten mit verschiedenen sozialen Verhaltensweisen (Egoismus bzw. Altruismus) aufeinander treffen, ist es wichtig, diese voneinander unterscheiden zu können. Wir beschreiben, wie ein Agent zu diesem Zweck auf eigene Erfahrungen zurückgreifen oder auch andere Agenten nach ihren Erfahrungen befragen kann. Da diese nicht notwendigerweise die Wahrheit sagen, kann der Fragesteller nur anhand seines Vertrauens in die Befragten den Wert von deren Informationen beurteilen. Wir zeigen, wie die Vertrauenswürdigkeit eines Befragten aus eigenen Beobachtungen oder den Aussagen anderer Agenten berechnet werden kann. Durch den ebenfalls vorgestellten Mechanismus der Partnerauswahl haben die Agenten die Möglichkeit egoistische Agenten und "Lügner" mit Spielboykott zu bestrafen.

Schlüsselwörter: Multi-Agentensysteme, Vertrauen, Kooperation, Simulation, Bayes'sche Netze, Soziale Verhaltensmuster.

1. Einleitung

In letzer Zeit wird soziale Intelligenz und Interaktion nicht nur von Soziologen analysiert und beschrieben, soziale Interaktions- und Organisationssysteme werden zunehmend im Bereich der VKI, insbesondere zur Modellierung von Multi-Agentensystemen, verwendet. Dabei geht es uns beim Modellieren von sozialen Prozessen innerhalb von künstlichen Gesellschaften, eben Multi-Agentensystemen, nicht darum, soziologische Fachbegriffe neu zu definieren, sondern diese als Beschreibungsmetaphern für artifizielle Gesellschaften zu nutzen. Solche Metaphern werden beispielsweise von Bazzan, Bordini und Campbell (Bazzan et al. 1997) eingesetzt um zu untersuchen, ob und wie rationales Verhalten in einer künstlichen Gesellschaft von Vorteil ist. Dazu nutzen sie das *Gefangenendilemma (prisoner's dilemma).* Dieses stellt eine Formalisierung des Konfliktes zweier Individuen zwischen gegenseitiger Kooperation oder egoistischer Nutzung von Vorteilen (Verrat) zur Verfügung. Beim sogenannten *iterierten Gefangenendilemma (iterated prisoner's dilemma - IPD)* hat sich gezeigt, daß die rationale egoistische Vorteilsnutzung auf lange Sicht nicht gewinnbringend wirkt (Axelrod 1984).

Bazzan und ihre Kollegen (Bazzan et al. 1997) haben das IPD um soziales Verhalten erweitert und total-rationale Egoisten gegen großzügige Altruisten spielen lassen. Ihre Ergebnisse deuten daraufhin, daß pure Rationalität im Sinne immer Verrat zu spielen sich für den Egoisten und dessen soziale Gruppe auf lange Sicht nicht positiv auswirkt. Allerdings haben in diesen Spielen Agenten immer gewußt, ob sie gegen einen Egoisten oder einen Altruisten bzw. einen Agenten aus der gleichen sozialen Gruppe spielen und ihre Strategien entsprechend ausgewählt. Wir wollen in dieser Arbeit weitergehen und den Agenten das Wissen um ihre soziale Gruppe nicht von Anfang an mitgeben, sondern sie dies anhand von Vergleichen mit sozialen Verhaltensmustern erlernen lassen. Genauso sollen sie durch Beobachtung und gegenseitigen Erfahrungsaustausch das soziale Verhaltensmuster ihrer Mitspieler erkennen. Weiterhin stellen wir einen Mechanismus vor, der mit Hilfe eines Vertrauensmodells die spontane Gruppenbildung innerhalb von artifiziellen Gesellschaften beschreibt. Dadurch finden sich die Spieler für jede Runde freiwillig zusammen. Auch wir lassen egoistische Agenten gegen altruistische antreten, allerdings versuchen wir durch weiche Persönlichkeitsprofile, die strikte Trennung dieser sozialen Verhaltensweisen aufzuweichen. Egoisten können sich in manchen Spielen wie Altruisten verhalten und umgekehrt. Damit wollen wir ein wenig näher an realistischeres Spielverhalten herankommen, den auch ein Egoist kann einmal einen „sozialen Tag“ haben, oder ein Altruist selbstsüchtig handeln.

Bevor wir unser Spiel und das formale Modell beschreiben wollen wir kurz auf einen derzeitigen Grundkonflikt beim Nutzen soziologischer Begriffe in der VKI eingehen. Uns geht es hierbei nicht darum, soziologisch dezidierte Definitionen anzuzweifeln. Wir nutzen die Begriffe mit dem Ziel, unsere abstrakten Modelle schöner und verständlicher beschreiben zu können, als dies mit reinen „Informatikbegriffen“ möglich wäre. Außerdem benutzen wir die von der Soziologie erfaßten Zusammenhänge um uns zu Operationalisierungen für die Kreation von neuen Multi-Agentensystemen inspirieren zu lassen. Daß wir bei dieser Art der Metaphernnutzung in der Soziologie auf Widerstand stoßen, ist nicht verwunderlich, reduzieren wir doch soziologische Fachtermini auf einen Bruchteil ihrer breiten Bedeutungspalette. Wir erhoffen uns von der Verwendung dieser Metaphern einen Innovationsbeitrag für die Multi-Agentensysteme (Malsch et al. 1996), ähnlich dem Beitrag den die Geistmetapher für die Künstliche Intelligenz leistete.

Der weitere Text ist wie folgt strukturiert: Zunächst beschreiben wir kurz das Problem, das wir lösen wollen. Danach stellen wir die dazu notwendigen Grundbegriffe vor, wir definieren soziale Verhaltensweisen und deren Operationalisierung, beschreiben Vertrauen und den spieltheoretischen Hintergrund. In Abschnitt 4 erläutern wir unsere Lösung anhand eines abstrakten Beispiels und beschreiben den technischen Hintergrund. Hierfür stellen wir das Simulationssystem SIF (Schillo et al. 1997) und das in ihm realisierte EMS-Modell vor. Darauf folgt eine Beschreibung der spontanen Gruppenbildung und des Spielablaufes. Schließlich diskutieren wir das erhaltene theoretische Modell und beenden unsere Ausführungen mit einem Ausblick auf weiterführende Ideen.

2. Welches Problem wollen wir lösen

Wir wollen zwei Dinge untersuchen: Erstens stellen wir einen Mechanismus zur spontanen Gruppenbildung vor, der Agenten mit Hilfe eines Vertrauensmodells bzw. eines Modells über die Zuverlässigkeit anderer Agenten neue Kooperationspartner auswählen läßt. Wir sind daran interessiert, herauszufinden, inwiefern sich dieses Vertrauensmodell auf die Auswahl der Kooperationspartner und damit auf das Ergebnis für jeden einzelnen Spieler und das seiner sozialen Gruppe auswirkt.

Zweitens erlauben wir unseren Agenten von ihrer sozialen Verhaltensweise als Altruist bzw. Egoist abzuweichen, sofern es ihnen rational erscheint. Es ist beispielsweise denkbar, daß ein Egoist zu Anfang altruistisch, also uneigennützig spielt, um seinen Mitspieler zu täuschen und später dessen Kooperation für sich gewinnbringend nutzt. Auch um Strafmechanismen zu umgehen, ist ein Abweichen von der sozialen Persönlichkeit denkbar: Agenten, die andere Agenten ausgenutzt haben werden womöglich nicht mehr als Spielpartner ausgewählt. Sie können dann versuchen, bei einer späteren Spielrunde, in der sie wieder mitspielen dürfen, ihr Gegenüber zu überzeugen, daß sie dazugelernt haben und nicht mehr ausbeuterisch spielen. Genauso ist denkbar, daß ein Agent erkennt, daß sein Mitspieler mehr Punkte erzielt, als er selbst und dann dessen soziales Verhaltensmuster imitiert um in Zukunft besser abzuschneiden.

Durch die Kooperation mit nicht benevolenten Agenten erhalten wir ein Modell, daß sich stärker an der Realität orientiert, als die meisten bisherigen Ansätze in der VKI, die inhärent von der Kooperationsbereitschaft und Ehrlichkeit (Benevolenzannahme) ausgehen. Solche benevolenten Agenten sind nicht nur unrealistisch, sondern auch sehr leicht auszutricksen, wie schon in den Untersuchungen von Axelrod deutlich wurde (Axelrod 1984).

3. Grundlagen

Zentral für die Arbeit mit Multi-Agentensystemen ist die Kooperation, also die Zusammenarbeit von Agenten bezüglich einer Aufgabe, wobei sie sich den Profit teilen. Die Grundidee, Altruisten gegen Egoisten antreten zu lassen ist inspiriert von sogenannten moralischen Gefühlen: Altruisten kooperieren um anderen zu helfen, eventuell sogar, wenn sie dabei selbst Verlust machen. Egoisten optimieren den kurzfristigen Gewinn, es sei denn sie verstoßen gegen ihr eigentliches soziales Verhaltensmuster damit sie als Partner akzeptiert werden.

Nach Bazzan und ihren Kollegen sind solche moralischen Gefühle entscheidend für das Spielergebnis im Gefangenendilemma (Bazzan et al. 1997). Wir gehen weiter und behaupten, sie beeinflussen auch die Partnerwahl zu diesen Spielen. Wenn die Mitspieler vorher wissen, daß sie zwischen einem egoistisch spielenden und einem altruistisch spielenden Partner wählen können, fällt die Wahl eher auf den großzügigeren der beiden. Durch eine Einschränkung der Beobachtungsmöglichkeiten wird diese Wahl allerdings auch immer vom Vertrauensmodell beeinflußt. Dieses Modell beschreibt, ob ein Mitspieler ehrlich über einen anderen Agenten Auskunft gibt. Mit anderen Worten: ob ein Agent ihm trauen kann, daß die Information, daß ein potentieller Mitspieler sich an sein soziales Verhaltensmuster hält, dessen Beobachtungen entspricht. Dadurch reichern wir das bisher eindimensionale Gefangenendilemma um eine interessante soziale Dimension an: das Finden von vertrauenswürdigen Partnern.

Ein Vertrauensmodell zusammen mit moralischen Gefühlen ermöglicht das langfristige Überleben in einer komplexen sozialen Umgebung. Moral dient dabei als eine Menge von instinktiven Mechanismen, die uns vor zu viel Egoismus und damit vor sozialer Isolation bewahren. Das Vertrauensmodell stellt den „sozialen Kitt“ dar, der es ermöglicht als Gruppe zu kollaborieren und sich im Gefangenendilemma das Überleben zu sichern.

3.1. Spieltheorie

Aus der Literatur der Spieltheorie ist das *prisoner's dilemma* (Luce und Raiffa 1957) bereits mit einigen Variationen bekannt. Bei dem *prisoner's dilemma* handelt es sich um ein „Spiel“, das zwischen zwei Agenten gespielt wird: jeder Spieler (Agent) hat zwei Handlungsoptionen wie in Abbildung 1 dargestellt: C (für *co-operation,* Kooperation) und D (für *defection,* Verrat) . Wir betrachten hier ein *prisoner's dilemma* bei dem Belohnungen ausgesprochen werden (Axelrod 1984). Kooperieren beide Agenten, erhalten sie jeweils drei Punkte, verraten sie sich gegenseitig, erhalten sie jeder nur einen Punkt. Das Dilemma besteht nun darin, daß zwar durch beidseitige Kooperation die höchste Punktzahl erreicht werden kann, aber andererseits derjenige der einen kooperierenden Agenten verrät sehr großen Gewinn macht (fünf Punkte).

A B	C	D
C	3 3	5 0
D	0 5	1 1

Abbildung 1 Die *Pay-off Matrix* für das *prisoner's dilemma*

3.2. Soziale Verhaltensmuster

Bevor wir auf die formale Beschreibung des Spiels und der Partnerwahl eingehen, wollen wir kurz darstellen, wie sich altruistische bzw. egoistische Agenten in unserem Spiel verhalten. Dabei befinden Agenten sich immer in einer heterogenen Agentengesellschaft. Damit haben sie zwei einander möglicherweise widerstrebende Ziele im Gleichgewicht zu halten: Einerseits ist jeder Agent daran interessiert, sein eigenes Überleben zu sichern und möglichst gut bei jedem Spiel abzuschneiden. Andererseits soll auch das soziale Verhaltensmuster eingehalten werden, um von der Gruppenzugehörigkeit zu profitieren. Einem Agenten sind die Verhaltensmuster der anderen Agenten nicht bekannt, um das Erkennen dieser Muster zu erschweren verhalten sich die Agenten mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit nicht musterkonform (weiche Verhaltensmuster).

Altruisten spielen wegen dieser beiden Ziele nach bestimmten Grundsätzen. Gehört ihr Spielpartner der gleichen sozialen Gruppe an, versuchen sie das Gesamtergebnis der Spielrunde möglichst hoch zu halten, auch wenn sie selbst dadurch kleine Verluste erleiden. Sie haben stärkere moralische Gefühle, d.h. sie nutzen ihr Gegenüber nicht aus. In Abbildung 2 wird die operationale Definition von altruistischem Spielverhalten ersichtlich. Danach ist der Spielzug des altruistischen Agenten abhängig von seinem eigenen Punktestand und dem seines Mitspielers. In der Regel spielen Altruisten kooperativ. Falls jedoch ein Altruist mit vielen Punkten auf einen Altruisten mit wenigen Punkten trifft, wird er es zulassen, daß dieser ihn verrät um damit sein eigenes Punktekonto anzugleichen. Wird dieses soziale Verhaltensmuster konsequent angewendet, so erfahren altruistische Agenten Großzügigkeit durch andere, da sie sich selbst als großzügig erwiesen haben Der Begriff des Altruisten ist in diesem Zusammenhang äquivalent zum Begriff des benevolenten Agenten.

.

Agent A	Agent B	Spielzug von A	Spielzug von B
Reich	Arm	Kooperation	Verrat
Arm	Mittelmäßig / arm	Kooperation	Kooperation

Abbildung 2 Operationale Definition von Altruismus für ein *iterated prisoner's dilemma*

Egoisten schätzen das eigene Überleben und damit die eigene Punktzahl grundsätzlich wichtiger ein, als das Gesamtergebnis der sozialen Gruppe zu der sie gehören. Sie verhalten sich in diesem Sinne wie rationale Idioten. Sie wählen im IPD immer den Spielzug, der am gewinnbringendsten scheint—Verrat; sie haben grundsätzlich kein Vertrauen in die Kooperationsbereitschaft anderer.

3.3. Vertrauen

Vertrauen spielt in unserem Modell eine wichtige Rolle als Handlungskoordinationsmechanismus, wie er auch schon von Luhmann gesehen wurde (Luhmann 1979). Unsere Interpretation von Vertrauen geht in die Richtung von Luhmann und Deutsch: wir sehen Vertrauen (im Vergleich zu anderen Definitionen) „Risiko eingehen". Dabei spielt weniger eine Rolle, sich auf etwas zu „verlassen", als Wahrscheinlichkeiten und erwartete Gewinne und Verluste zu kalkulieren (Deutsch 1973). Wie Bachmann feststellt, ermöglicht Vertrauen den Agenten spezifische Annahmen über das zukünftige Verhalten des Gegenübers zu machen und reduziert damit die Komplexität eines Handlungssystems (Bachmann 1998). In natürlichen Systemen ist Vertrauen so wichtig, daß es als das zentrale Element aller Transaktionen gesehen wird (Dasgupta 1990). Damit verabschieden wir uns von der bisherigen impliziten Annahme der VKI, daß Agenten prinzipiell benevolent bzw. kooperationswillig sind.

3.4. Bestrafung durch Isolation

Hält sich ein Agent A grundsätzlich nicht oder nur selten an seine bekanntgegebenen Züge und seine jeweiligen Mitspieler erleiden dadurch Nachteile, kann sich das für A negativ auswirken. Es kann passieren, daß er in den Partnerauswahlrunden vor dem eigentlichen Spiel nicht mehr als Spielpartner ausgewählt wird; A wird durch soziale Isolation bestraft. Da unsere Agenten zur Spielpartnerwahl ihr Vertrauensmodell nutzen und dieses durch eigene Erfahrung sowie durch Kommunikation mit anderen während der Partnerauswahl (etwa im Sinne von „Ich habe hier eine Spielanfrage von A, kenne ihn aber nicht, was kannst Du mir über ihn berichten?") erweitern und verfeinern, wirkt sich unkooperatives Spielen relativ schnell durch Isolation aus.

3.5. Bayes'sche Netze

Für unsere Experimente fallen für jeden Agenten Entscheidungen an, bei denen er mit unscharfem Wissen, bedingten Wahrscheinlichkeiten und der Revidierung von bisherigem Wissen konfrontiert ist. Zur Berechnung dieser Entscheidungen benutzen wir Bayes'sche Netze, die sich für solche Zwecke besonders eignen, da sie bedingte Wahrscheinlichkeiten ausdrücken können und die einfache Berechnung von Anfragen zulassen (Russell und Norvig 1996). Außerdem bieten sie nicht nur effiziente Techniken zum Einfügen neuer Daten in eine bestehende Wissensbasis sondern auch eine ausdrucksstarke Modelllierungssprache und erlauben einfaches und flexibles codieren von domänenspezifischem Wissen (Pearl 1997).

Im Wesentlichen handelt es bei einem Bayes'schen Netz um einen Graphen: eine Menge von *Knoten*, die die *Informationen über Agenten repräsentieren* und eine Menge von *Kanten*, die ausdrücken *welcher Agent über welchen anderen Agenten etwas ausgesagt* hat. Dabei können sich die Aussagen auf die Ehrlichkeit eines Agenten beziehen oder die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten sozialen Verhaltensmusters. Das Verfahren zur Berechnung dieses Netzes ist an anderem Ort beschrieben (Schillo 1998). Der prinzipielle Aufbau eines solchen Netzes ist in Abbildung 3 zu sehen. Das Netz spiegelt den Wissensstand eines fiktiven Agenten X wider. Die weißen Knoten repräsentieren sein Wissen über die Vertrauenswürdigkeit von A, B und C. Die Kanten drücken aus, daß von einem Agenten Aussagen über einen anderen gemacht wurden. Die Agenten A und C haben ihm Informationen über das soziale Verhaltensmuster von B zukommen lassen. Diese Information wird durch den grauen Knoten repräsentiert, die zu ihm gehenden Kanten verdeutlichen die Herkunft der Information. Außerdem haben A und B ihm Informationen über die Vertrauenswürdigkeit von C mitgeteilt.

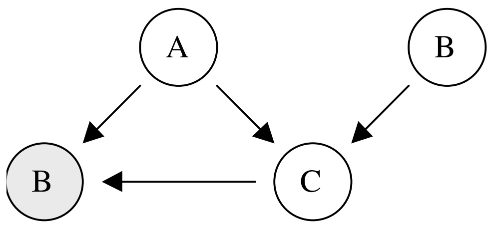

Abbildung 3 Ein einfaches Bayes'sches Netz für Anfragen über Vertrauen und soziales Verhaltensmuster

4. Unser Lösungsvorschlag

Anhand eines abstrakten Beispiels wollen wir nun unseren Lösungsvorschlag erklären. Wir stellen ein Multi-Agentensystem vor, in dem die Agenten autonom agieren. Sie spielen eine speziell für diese Problemstellung entworfene Abwandlung des *prisoner's dilemma.* Die Agenten sind in der Lage, eine qualifizierte Entscheidung darüber zu fällen, ob es ihnen dient mit einem Spielpartner zu kooperieren. Diese Entscheidung beruht auf eigenen Beobachtungen, den Beobachtungen anderer und der Einschätzung der Vertrauenswürdigkeit der anderen Beobachter. Jeder Agent hat die Möglichkeit, sich seinen Spiel- und Kooperationspartner auszusuchen. Dies versetzt ihn in die Lage, bestimmte Agenten zu meiden. Die gemiedenen Agenten haben, wenn sie keine Spielpartner finden, keine Möglichkeit, Ressourcen für sich zu erhalten. Es ist in der Agentengesellschaft möglich einzelne Mitglieder durch bewußte Nichtkooperation zu bestrafen.

4.1. Technischer Hintergrund

Für die Simulation der künstlichen Gesellschaft benutzen wir das in Saarbrücken entwickelte *Social Interaction Framework (SIF)*, das Werkzeuge für die Implementierungen von Multi-

Agentensystemen zur Verfügung stellt (Schillo et al. 1997). Es benutzt dabei das *Effektor-Medium-Sensor-Modell,* welches die Modellierung von situierten, autonomen Agenten vereinfacht (Funk et al. 1998). Wichtig für unsere Experimente ist die Fähigkeit von SIF, die Kommunikation von Agenten zu simulieren. Die Kommunikation bildet die Grundlage für das Entstehen der Kooperation und die Herausbildung von Gruppen in unserer Agentengesellschaft.

SIF besteht unter anderem aus einer zentralen Einheit (*world server*), die für die Steuerung der Simulation zuständig ist. Das heißt, der *world server* realisiert die Gesetzmäßigkeiten (Regeln, Naturgesetze) in der Simulation. In unseren Experimenten übernimmt er die Spielleitung, ist also für die Einhaltung der Spielphasen zuständig und verteilt die Ressourcen.

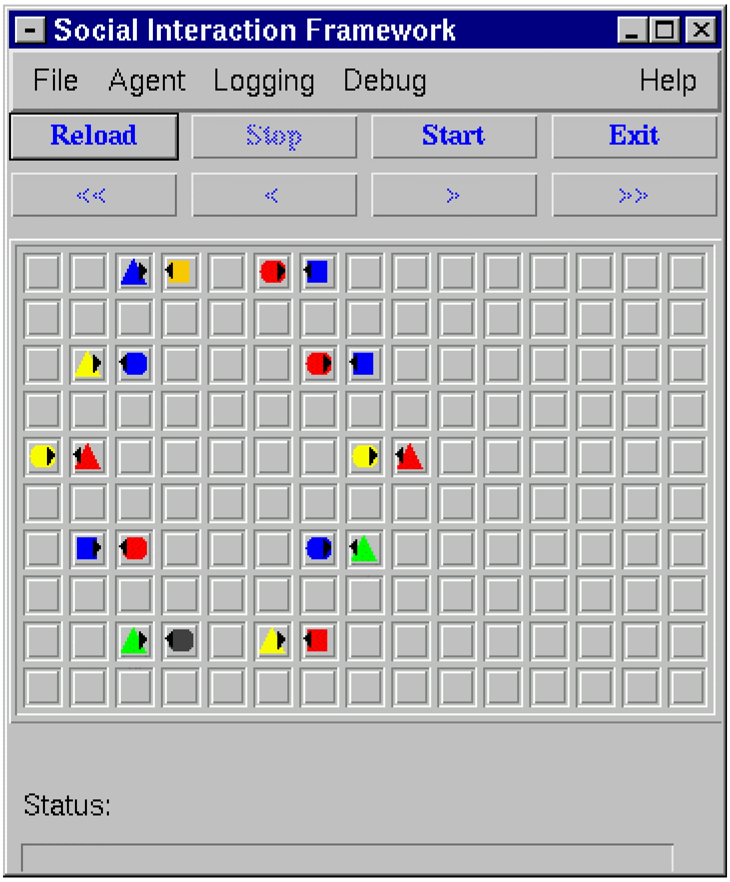

Abbildung 4 Eine Szene eines Experimentes in SIF

Abbildung 4 zeigt eine typische Szene eines Experiments. Die Agenten sind in Paaren angeordnet. Die Paare sind die Agenten, die das momentane *disclosed prisoner's dilemma* spielen. Sie können jeweils die beiden benachbarten Paare bei ihrem Spiel beobachten.

4.2. Experimentbeschreibung

Alle Agenten spielen eine Abwandlung des *iterated prisoner's dilemma*: das *disclosed prisoner's dilemma*. Die Agenten können sich ihre Spielpartner aussuchen. Jeder Agent hat, ähnlich wie in der Arbeit von Bazzan und ihren Kollegen, einen begrenzten Vorrat an Punkten (Bazzan et al. 1997). Diese Arbeit ist eine Weiterentwicklung von Axelrods Experimenten (Axelrod 1984). Jeder Agent startet mit 20 Punkten, jedes Spiel kostet ihn einen Punkt, während des Spiels kann er Punkte hinzugewinnen. In allen Versuchen haben die Agenten kein Wissen darüber, wieviel Runden des Spiels gespielt werden.

In unserer Arbeit möchten wir die Ideen von Bazzan und Kollegen verallgemeinern, in dem wir einige von ihnen benutzte Annahmen nicht mehr voraussetzen. Wir gestalten die Umwelt komplexer und statten die Agenten mit zusätzliche Fähigkeiten aus. Unsere Experimente unterscheiden sich in folgenden Punkten:

- Unsere Agenten wissen nicht a priori ob sie mit einem Altruisten oder einem Egoisten spielen. Gemäß dem Paradigma „*The world does not come labelled*“ (Edelman 1987) erwarten wir von unseren Agenten, daß sie aufgrund des Verhaltens anderer herausfinden, mit wem sie es zu tun haben.
- Wir nehmen nicht an, daß alle Agenten entweder Egoisten oder Altruisten sind. Unsere Agenten sind Agenten, die ihr soziales Verhaltensmuster (Altruist, Egoist) nicht immer einhalten sondern mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit das jeweils andere Verhaltensmuster übernehmen. Die Agentengesellschaft ist also eine heterogene Gruppe von Agenten mit verschiedenen sozialen Charakteristiken. Dies erscheint uns eine realistischere Modellierung von zukünftigen Problemstellung der Multi-Agentensysteme.
- Uns war sehr an der Entwicklung eines Strafmechanismus gelegen. Daher sind die Agenten nicht gezwungen mit einem nicht kooperierenden Agenten ein gemeinsames Spiel zu spielen. Sie sind aber in der Lage, dies zu tun, wenn es für sie von Vorteil ist.
- Unsere Experimente laufen nicht lange. Es ist typisch für die Problemklasse für die wir eine Lösung anbieten wollen, daß nicht viele Transaktionen stattfinden und ein Altruist (will er nicht ausgebeutet werden) sehr schnell merken sollte, ob er mit einem anderen Altruisten oder einem Egoisten spielt.

Als Kontrollgruppe können Agenten wie bei den Arbeiten von Bazzan und Kollegen oder Axelrod konfiguriert werden.

Disclosed prisoner's dilemma with partner selection

Das *disclosed prisoner's dilemma* lehnt sich stark an das *iterated prisoner's dilemma* wie es in dem Beitrag (Bazzan et al. 1997) beschrieben wurde. Es handelt sich dabei um das wiederholte spielen des *prisoner's dilemma.* Die Spieler wissen nicht, wieviel Runden sie spielen. Um größere Realitätsnähe zu erreichen, haben wir Freiheitsgrade hinzugefügt. Der Ablauf des *disclosed prisoner's dilemma* gliedert sich in fünf Phasen:

1. Jeder Spieler zahlt einen Punkt dafür, daß er in dieser Runde mitspielen darf.
2. Für die nächste Spielrunde werden die Spielpaare ermittelt. Die Agenten können frei entscheiden, ob sie mit einem Agenten zusammen spielen wollen oder nicht.
3. Danach findet das eigentliche Spiel statt. Im Laufe dieses Spiels haben die Agenten die Möglichkeit ihren Spielpartner über die eigenen Ziele zu täuschen.
4. Die Ergebnisse werden veröffentlicht. Jeder Agent erfährt aber nur das Verhalten einer Teilmenge aller spielenden Agenten.
5. Auszahlung der Gewinne

Phase 1 Einzahlung

Jeder Agent, der sich entscheidet mitzuspielen, zahlt einen Punkt an den *world server* von SIF. Dieser stellt sicher, daß nur Agenten, die bezahlt haben an dem Spiel teilnehmen. Ein Spieler, der keine Punkte mehr hat scheidet aus dem Spiel aus.

Phase 2 Spielpartnerauswahl

Um eine Annäherung an unsere Problemstellung zu erreichen, haben wir das *iterated prisoner's dilemma* auch insofern erweitert, daß die Agenten die Möglichkeit haben auf die Wahl ihres Spielpartners Einfluß zu nehmen. Die Ermittlung der Spielpaare erfolgt nach einem dem *contract net* *protocol (CNP)* ähnlichem Protokoll, das so oft hintereinander ausgeführt wird, bis alle Agenten die Chance gehabt haben, einen Spielpartner zu finden (siehe Abbildung 5).

Zunächst werden die Agenten in einer zufälligen Reihenfolge in einer Liste angeordnet. Da die Gruppe der Agenten heterogen ist, muß sichergestellt sein, daß die Reihenfolge der Agenten keinen Einfluß auf das Ergebnis des Experimentes nimmt. Wir versuchen diesen Effekt weiter dadurch zu eliminieren, daß wir eine große Anzahl von Experimenten durchführen.

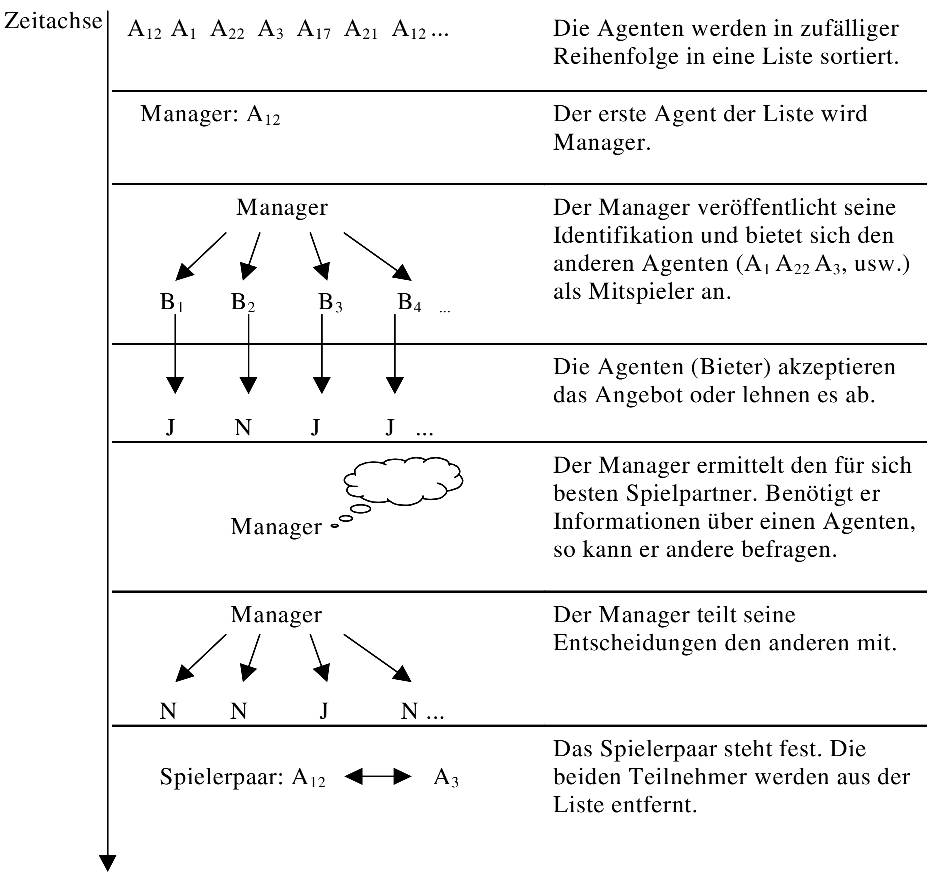

Abbildung 5 Die Agenten wählen einen Spielpartner für die nächste Spielrunde aus

In jeder Runde dieses Verfahrens wird ein Agent aus der Liste ausgewählt. Gemäß dem Standard CNP-Verfahren nennen wir ihn hier den *Manager*. Der Manager ist derjenige Agent, dem es erlaubt ist, sich als Spielpartner anzubieten. Er identifiziert sich gegenüber den anderen Agenten. Diese haben nun die Möglichkeit sich auf ein Spiel mit ihm einzulassen, oder dies abzulehnen. Sobald alle Agenten sich geäußert haben, hat der Manager Gelegenheit sich zu entscheiden, mit wem er spielen will. Ist der Manager selbst ein Altruist, so ist ihm bedingt durch sein soziales Verhaltensmuster daran gelegen mit einem anderen Altruisten zu spielen (höherer Gewinn).

Es ist jedoch Teil des Experimentes, daß der Agent nicht weiß, welcher sozialen Gruppe seine potentiellen Spielpartner angehören („*The world does not come labelled*“). Um dieses Problem zu lösen hat der Manager in dieser Spielphase die Gelegenheit mit allen Agenten zu kommunizieren, um mehr über seine eventuellen Spielpartner zu erfahren. Bei dieser Kommunikation sind Anfrage und Antwort strikt geregelt: der Manager richtet eine Anfrage an einen Agenten, z.B. Q. Inhalt der Anfrage ist der Name eines potentiellen Spielpartners S und der Typ der gewünschten Information: Vertrauenswürdigkeit von S oder Altruismus von S. Agent Q antwortet daraufhin mit einer Zahl zwischen null und eins, die angibt, für wie vertrauenswürdig er S hält, bzw. wie hoch er die Wahrscheinlichkeit einschätzt, daß S sich wie ein Altruist verhält. Dies muß nicht der wahren

Auffassung von Q entsprechen. Die Anzahl solcher Anfragen wird durch den *world server* eingeschränkt und zählt zu den unabhängigen Variablen (siehe Abschnitt 4.4). Mit Hilfe eines Bayes'sche Netzes wertet der Manager die eigenen Beobachtungen und die von ihm durch Kommunikation gesammelte Information aus (siehe Abschnitt 4.3). Hat sich ein Spielpaar gefunden, so werden beide Agenten aus der Liste ausgetragen.

Findet ein Agent keinen Spielpartner, so muß er für diese Runde aussetzen. Die Entscheidung des Miteinanderspielens beruht daher bedingt durch das Protokoll auf Gegenseitigkeit. Das Verfahren ist iterativ. Es wird solange durchlaufen, bis alle Agenten die Gelegenheit hatten, sich für einen Spielpartner zu entscheiden.

Phase 3 Das *disclosed prisoner's dilemma*

Nun findet das eigentliche Spiel statt. Betrachten wir zwei Agenten A und B, wobei B die Rolle des Managers in der Partnerauswahl hatte. Gemäß dem Protokoll für die Ausführung des Spiels (siehe Abbildung 6) eröffnet der Agent B die Kommunikation im Spiel, indem er an seinen Spielpartner A eine 2x2 Matrix schickt. In dieser Matrix gibt B an, welchen Zug er macht, wenn A sich für C, bzw. D entscheidet. Dann antwortet A an B welchen Zug er machen wird. Bis zu diesem Zeitpunkt waren alle Angaben nicht verpflichtend, daß heißt es ist den Agenten möglich ihren Spielpartner über ihre wahren Zug zu täuschen. Im nächsten Schritt senden die Agenten ihren tatsächlichen Spielzug an den *world server*. Dieser Spielzug ist nun verbindlich für die Auswertung des Spiels.

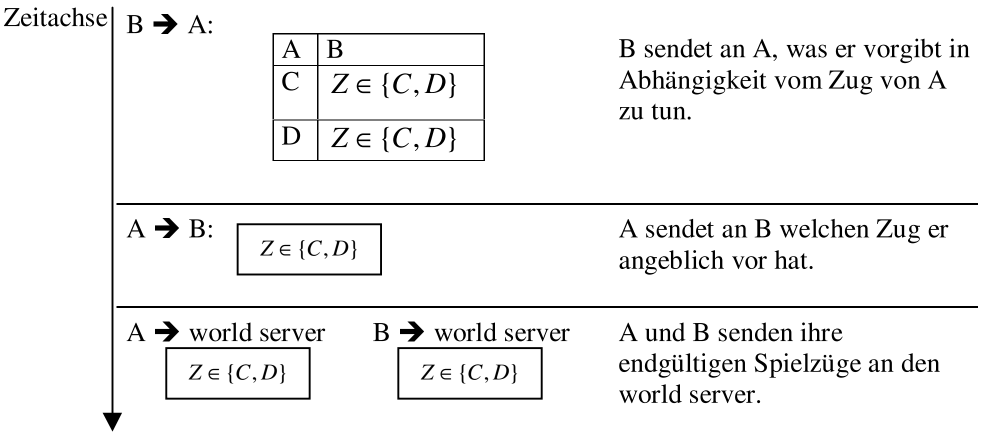

Abbildung 6 Protokoll für den Ablauf des Spiels *disclosed prisoner's dilemma* zwischen den Agenten A und B.

Phase 4 Veröffentlichung der Spielergebnisse

Der *world server* veröffentlicht nun die angekündigten und die als verbindlich abgegebenen Züge. Jeder Agent erfährt aber nur das Verhalten der beiden benachbarten Paare (siehe Abbildung 4). Damit hat jeder Agent nun die Möglichkeit, Berechnungen über die Ehrlichkeit, respektive Vertrauenswürdigkeit und das Verhalten (egoistisch vs. altruistisch) anzustellen. Diese Daten kann er dann bei der nächsten Partnerauswahl und bei der nächsten Kooperationsentscheidung benutzen.

Phase 5 Auszahlung

Aufgrund der abgegebenen verbindlichen Spielzüge wird die Auszahlung an die Agenten berechnet. Dabei wird die Pay-off-Matrix des *iterated prisoner's dilemma* (siehe Abbildung 1) zugrundegelegt.

Hat der Spieler keine Punkte mehr, kann er an keinem Spiel mehr teilnehmen. Wird der Agent von den anderen Mitgliedern der Gesellschaft sozial geschnitten, ist dies für ihn unter Umständen eine harte Bestrafung: er kann an weiteren Spielen nicht mehr teilnehmen. Er wird ausgegrenzt und verliert die Möglichkeit sich wieder einzugliedern.

4.3. Die Berechnungen der Agenten

Bei dem *disclosed prisoner's dilemma* mit Partnerauswahl sind für eine erfolgreiche Teilnahme an mehreren Stellen qualifizierte Entscheidungen notwendig. Diese Entscheidungen sind um so qualifizierter, je besser der Agent berechnen kann, wie sehr er einem Agenten, der ihm Informationen übermittelt, vertrauen kann. Desweiteren verbessert eine realistische Abschätzung wie altruistisch ein Agent ist das eigene Spielergebnis. Wir stellen die folgende Methoden zur Berechnung vor.

Wie vertrauenswürdig ist Agent Q?

Um entscheiden zu können ob ein Agent B zuverlässige Angaben über das soziale Verhalten eines anderen Agenten macht, ist es wichtig für den mit ihm kommunizierenden Agenten einschätzen zu können wie vertrauenswürdig B ist. Die Vertrauenswürdigkeit eines Agenten wird berechnet aus $\frac{AnzahlZüge(angekündigt \equiv ausgeführt)}{AnzahlZüge(insgesamt)}$. Leitmotiv dafür ist, daß ein Agent, der bei der Ankündigung seiner Züge ehrlich ist, dies auch bei der Übermittlung von Information ist. Es stehen dem Agenten aber nicht immer eigene Beobachtungen für eine solche Berechnung zur Verfügung. Desweiteren beschränkt unsere Problemklasse die Kommunikation, es ist nämlich möglich, daß sich die Agenten in der Welt rasch entscheiden müssen oder aber die Kommunikation sehr aufwendig und damit teuer ist. Um dieses Problem zu lösen bieten wir die Möglichkeit an, daß nicht Rohdaten übermittelt werden, sondern nur die subjektive Einschätzung und damit nur eine einzige Zahl. In einem Bayes'sche Netz werden dann für jeden Agenten ein Knoten eingefügt. Macht ein Agent eine Aussage über einen anderen wird eine entsprechende Kante eingezeichnet und die bedingte Wahrscheinlichkeit für diesen Knoten neu berechnet. Mit Hilfe von Standard-Lernalgorithmen für Bayes'sche Netze wird die neue Information durch das Netzwerk propagiert. Der Aufbau eines solchen Netzes und die Anwendung des Algorithmus sind in (Schillo 1998) näher beschrieben.

Mit welcher Wahrscheinlichkeit handelt Agent Q wie ein Altruist?

Wenn Agent A vor der Entscheidung steht mit welchem anderen Agenten er kooperieren soll, ist es für ihn von Vorteil einschätzen zu können, ob Q sich kooperativ verhalten wird. Mit anderen Worten die Entscheidung von A wird qualifizierter, wenn er weiß wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, daß Q sich altruistisch verhält. Diese Wahrscheinlichkeit berechnet der Agent entweder selbst aus seinen eigenen Beobachtungen oder aber er fragt andere Agenten, wie sie Q einschätzen (dazu ist wichtig die Vertrauenswürdigkeit des Informanten bestimmen zu könne, s.o.). Letztendlich basieren die Einschätzungen aber immer auf einem empirischen Wert, der von einem beobachtenden Agenten aus den Verhaltensmustern von Q berechnet wird: $\frac{AnzahlZüge(altruistisch)}{AnzahlZüge(insgesamt)}$. Dabei ist ein Zug altruistisch, wenn die Vorbedingungen gleich denen in Abschnitt 0 waren, Q altruistisch gehandelt hat und seine Handlung ehrlich vorher angab. Ein Agent A kooperiert mit einem anderen Agenten, wenn dessen Quotient über einem Schwellenwert liegt.

4.4. Variablen der Experimente

Als unabhängige Variablen des Experimentes benutzen wir die Einschränkung der Kommunikation, die Nutzung des Mechanismus Vertrauen, die Größe des Sichtbereiches und die Zusammensetzung der Agentengesellschaft. Durch einen Parameter des *world servers* können wir beliebig viele oder wenige Anfragen in der Phase der Ermittlung der Spielpaare erlauben, somit kann die Kommunikation variiert werden. Den Agenten kann wahlweise die Nutzung von Vertrauen bereitgestellt werden oder nicht. Durch weitere Vorgaben an den *world server* können wir den

Sichtbereich einstellen, d.h. die Anzahl der Agenten, die ein Spieler pro Runde beobachten darf. Wichtigste unabhängige Variable ist die Variation der Zusammensetzung der Agentengesellschaft. Hier können wir die verschiedenen Typen von Agenten verändern, also die Wahrscheinlichkeit, mit der sie gegen ihr soziales Verhaltensmuster verstoßen und die Anzahl der Agenten pro Typus. Außerdem können wir die Strategie der Egoisten variieren, die sie benutzen um ihre Züge anzukündigen: sie können wie Altruisten ankündigen oder aber gemäß ihren Absichten immer Verrat ankündigen.

Abhängige Variablen sind die Performanz der einzelnen Agenten, die Performanz der ganzen Gruppe und die Anzahl der Agenten, die nicht mehr an Spielen teilnehmen können, weil sie keinen Spielpartner mehr finden.

5. Konklusion

Wir haben das *disclosed prisoner's dilemma* mit Partnerauswahl vorgestellt, mit dem Experimente in künstlichen Gesellschaften durchgeführt werden können. Die Modellierung umfaßt die Konzepte Vertrauen, Kooperation, soziale Verhaltensmuster und Strafe. In unsere Arbeit lassen sich die bestehenden Arbeiten von Axelrod oder Bazzan, Bordini und Campbell integrieren (Axelrod 1984), (Bazzan et al. 1997). Das vorgeschlagene Modell bietet sozial kompetenten Agenten die Gelegenheit, ihre Fähigkeit durch ihr Spielergebnis unter Beweis zu stellen. Wir haben dazu weder die Annahme von gänzlich benevolenten Agenten noch ein a priori Wissen der Agenten über die sozialen Verhaltensmuster der anderen machen müssen.

Mit unserem Modell lassen sich Agentengesellschaften simulieren, bei denen Agenten darauf angewiesen sind, herauszufinden, mit wem es sich lohnt zu kooperieren, selbst wenn die anderen Agenten verschiedene sozialer Verhaltensmuster (Egoist, Altruist) ausfüllen. Das Konzept des Vertrauens hilft ihnen in kürzerer Zeit herauszufinden mit welchen anderen Agenten eine Kooperation lohnt. Wir haben beschrieben, wie sich die Vertrauenswürdigkeit eines Agenten und die Häufigkeit eines altruistischen Verhaltens berechnen lassen. Durch den ebenfalls vorgestellten Mechanismus der Partnerauswahl haben die Agenten die Möglichkeit andere Agenten, die sich als egoistisch oder als Lügner erweisen mit Isolation vom Spiel und damit mit Ressourcenverlust zu bestrafen.

Wir haben mit dem Modell von Vertrauen einen „sozialen Kitt“ geschaffen, über den innerhalb einer Gruppe Informationen zuverlässig kommuniziert und zur Koordination von Verhalten genutzt werden können. In zukünftigen Arbeiten werden wir die Ergebnisse unserer Simulation vorstellen und damit die hier aufgestellten Hypothesen verifizieren. Bisher haben wir nur das Modell formuliert und mit Hilfe soziologischer Metaphern eine adäquate Beschreibung gefunden.

6. Ausblick

Mit dem hier präsentierten Modell lassen sich unserer Meinung nach eine Reihe von weiteren Annäherungen an realistische Anwendungen testen. Zunächst ist die Entwicklung von intelligenteren Egoisten für uns interessant. Darüber hinaus würden wir gerne adaptierende Agenten in eine solche Agentengesellschaft einbringen, d.h. wenn ein Agent zu einem gewissen Prozentsatz Egoist ist, soll er die Möglichkeit haben, diesen Prozentsatz über die Zeit hin zu verändern. Er kann also zu einem Altruisten werden oder noch egoistischer als bisher agieren. Des Weiteren sind wir daran interessiert Agenten zu modellieren, die von Anfang an wissen, daß sie nur eine beschränkte Anzahl von Runden mitspielen werden.

Am interessantesten erscheint uns jedoch eine weitere Abwandlung des *prisoner's dilemma:* nämlich die Veränderungen der Matrix in Abhängigkeit von der Zeit. Damit ließen sich Zeiten hoher und niedriger Erträge modellieren. Damit können wir die Veränderung der Vertrauenswürdigkeit in Abhängigkeit von der Höhe der zu gewinnenden Punkthöhe studieren und hoffen dort auf ein menschliches Phänomen zu treffen: „Bei Geld hört die Freundschaft auf“.

7. Referenzen

(Axelrod 1984) Axelrod, R. *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books, 1984

(Bachmann 1998) Bachmann, R. *Kooperation, Vertrauen und Macht in Systemen Verteilter Künstlicher Intelligenz.* Erster Deutscher Workshop „Sozionik“, Hamburg, Februar 1998.

(Bazzan et al. 1997) Bazzan, A. L. C., Bordini, R. H. und Campbell, J. A. Agents with Moral Sentiments in an Iterated Prisoner's Dilemma Exercise. In: Dautenhahn, K., Masthoff, J. und Numaoka, C. *Socially Intelligent Agents*. Papers from the 1997 AAAI Fall Symposium, November 8-10, Cambridge, Massachusetts, Technical Report FS-97-02, 1997.

(Dasgupta 1990) Dasgupta, Partha. Trust as a Commdity. Kapitel 4, Seiten 49-72, Gambetta, Diego (Hg.), *Trust*, Blackwell, 1990.

(Deutsch 1973) Deutsch, Morton. *The Resolution of Conflict*. New Haven and London: Yale University Press, 1973.

(Edelman 1987) Edelman, Gerald M. *Neural Darwinism : the theory of neuronal group selection.* Basic Books, 1987.

(Funk et al. 1998) Funk, Petra. Gerber, Christian. Lind, Jürgen und Schillo, Michael. SIF: an Agent-Based Simulation Toolbox using the EMS Paradigm. In: *Proceedings of EUROSIM'98*, 1998.

(Luce und Raiffa 1957) Luce, R. und Raiffa, L. *Games and Decisions*. Wiley, New York, 1957.

(Luhmann 1979) Luhmann, N. *Trust and Power*. Chichester, Wiley, 1979.

(Malsch et al. 1996) Malsch, T. et al. *Expeditionen ins Grenzgebiet zwischen Soziologie und Künstlicher Intelligenz.* In: Künstliche Intelligenz, 2:96, S. 6-12, 1996.

(Marsh 1994) Marsh, S. P. *Formalising Trust as a Computational Concept.* Phd Thesis, Department of Computing Science and Mathematics, University of Stirling, 1994.

(Pearl 1997) Pearl, J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. San Mateo, California: Morgan Kaufmann, 1997.

(Russell und Norvig 1996) Russell, S. und Norvig, P. A*rtificial Intelligence, A Modern Approach.* Prentice-Hall, 1996.

(Schillo 1998) Schillo, Michael. *Modellierung von Vertrauen mit Hilfe von Bayes'schen Netzen*. Diplomarbeit, AG Multi-Agentensysteme, Universität des Saarlandes, in Vorbereitung, 1998.

(Schillo et al. 1997) Schillo, M., Funk, P. Gerber, C., Lind, J. *Social Interaction Framework - a generic testbed for social agents*. Technical Report, 1997.