

Seminar 1911

**„Aktuelle Methoden der Wissensrepräsentation und Informationsverarbeitung“,
Sommersemester 2004**

Vortrag: „Verhandlungen in MultiAgenten Systemen“

Volker Nawrath

Matrikelnr.: 4870271

1	EINLEITUNG	3
2	GRUNDLAGEN FÜR DIE BEGEGNUNG VON AGENTEN	5
2.1	PRÄFERENZEN	5
2.2	FORMALE BESCHREIBUNG DER BEGEGNUNGEN	8
2.3	BEGRIFFE DOMINANZ UND GLEICHGEWICHT	9
2.4	BEDEUTUNG DER SPIELTHEORIE.....	11
2.5	ZUSAMMENFASSUNG.....	13
3	SZENARIEN FÜR NICHT-KOOPERATIVE BEGEGNUNGEN	14
3.1	ALLGEMEINES.....	14
3.2	GEFANGENENDILEMMA.....	15
3.3	WEITERE KONFLIKTSZENARIEN	19
4	ERREICHEN VON VEREINBARUNGEN	20
4.1	PROBLEMSTELLUNG UND VORAUSSETZUNGEN	20
4.2	AUKTIONEN	20
4.3	VERHANDLUNGEN.....	22
4.4	ARGUMENTATION.....	30
4.5	ZUSAMMENFASSUNG.....	32
5	FAZIT	32
6	LITERATUR	35
7	ANHANG	36
7.1	SZENARIEN FÜR NICHT-KOOPERATIVE BEGEGNUNGEN	36
7.2	WEITERE KONFLIKTSZENARIEN	37
7.3	AUKTIONEN	39

1 Einleitung

Das Thema dieses Vortrages ist die Betrachtung von Verhandlungen in Multiagenten Systemen. Basis des Vortrages ist das Buch [1] „An Introduction to MultiAgent Systems“ von Michael Wooldridge, Seite 105 – 162. Da dieses Buch einen Überblick zum Themengebiet Multiagenten Systeme gibt, nimmt der Autor vielfach Bezug auf weitere Literatur. Auf diese werde ich gesondert in Form von Fußnoten hinweisen. Ergänzende Quellen, die ich genutzt habe, sind im Kapitel „Literatur“ aufgeführt.

Abbildung 1-1¹ zeigt auf abstrakter Ebene die typische Struktur eines Multiagenten-Systems. Dieses System beinhaltet eine Anzahl von Agenten, von denen etliche miteinander interagieren. Die Agenten bewegen sich in einer definierten Umgebung, und weisen jeweils einen Einflussbereich auf diese Umgebung auf. D.h. die Agenten sind in der Lage, mittels „Sensoren“ Zustände eines Teils der Umgebung wahrzunehmen und entsprechend zu reagieren. Diese Reaktionen bestehen aus Aktionen, die ihrerseits (Teil-) Zustände der Umgebung ändern können. In einigen Fällen können sich die Einflussbereiche verschiedener Agenten überschneiden. Man spricht dann von Abhängigkeiten zwischen Agenten.

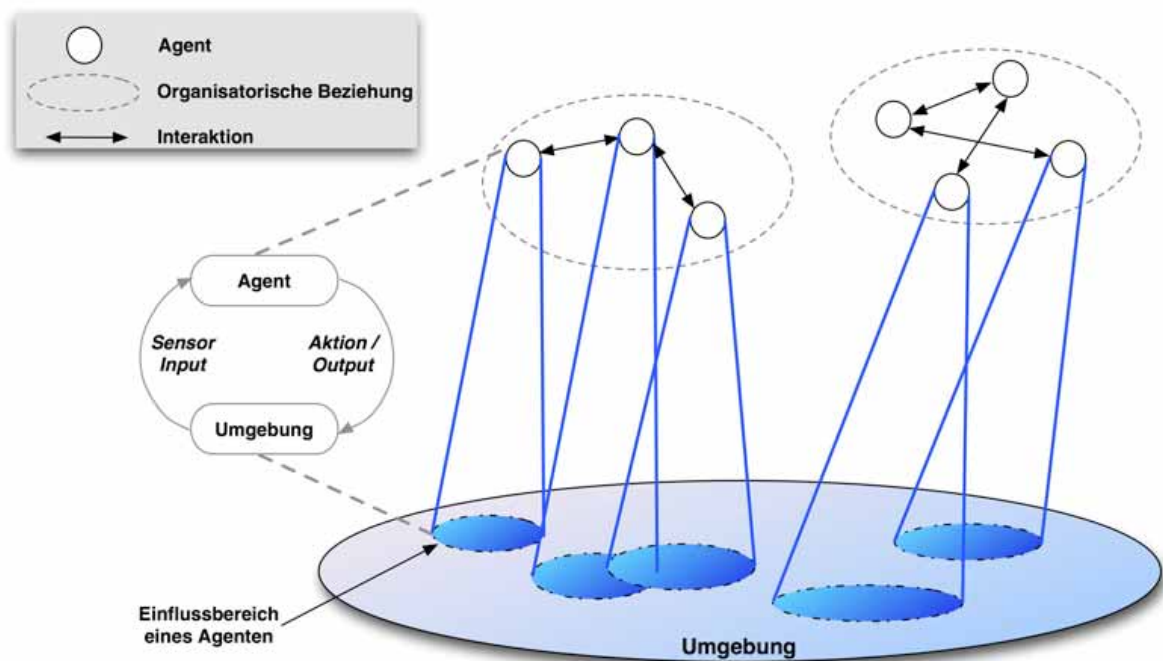


Abbildung 1-1

Agenten arbeiten selten isoliert. Es ist eher so, dass sie die ihnen zugewiesenen Aufgabenstellungen nur in Verbindung mit anderen Agenten erfüllen können, sei es durch die Delegation und Neuaufteilung von Aufgaben, für die Beschaffung von Informationen oder Gütern, oder allgemeiner ausgedrückt durch das Treffen von Vereinbarungen jeglicher Art.

Unter dem Gesichtspunkt des Treffens von Vereinbarungen ergeben sich folgende Fragenstellungen, die in diesem Vortrag betrachtet werden sollen:

¹ Basierend auf Jennings, N.R. (2000). On agent-base software engineering. Artificial Intelligence, 117, 277-296

1. Wie bringe ich einen Agenten dazu, zielgerichtet seine Aufgabe(n) zu erfüllen?
2. Die Verhandlungen finden im Kontext von Begegnungen zwischen mehreren Agenten statt. Wie sollen die Interaktionen zwischen Agenten dargestellt und deren Ergebnisse bewertet werden?
3. Welche Strategien sollen Agenten bei ihren Begegnungen anwenden?
4. Gibt es Konfliktsituationen und welchen Einfluss haben sie auf die zu verwendende Strategie der Agenten?
5. Wie erreiche ich Vereinbarungen?

Die Antwort zur ersten Frage wird im Rahmen der Begriffe „Präferenzen“ und „Nützlichkeitsfunktion“ erläutert (Kapitel 3).

Für die Beantwortung der zweiten Frage wird ein formales Modell für die Beschreibung von Multiagenten Begegnungen eingeführt (Kapitel 3). Im Rahmen der Bewertung der Ergebnisse aus diesen Begegnungen wird auf die Nützlichkeitsfunktion zurückgegriffen.

Auf die dritte Frage soll differenziert eingegangen werden. Mit den Begriffen „Dominanz“ sowie „Gleichgewicht“ werden im Kapitel 3 zwei allgemeine Konzepte für die Lösung dieser Frage eingeführt. Konkret anzuwendende Strategien werden jeweils bei den noch vorzustellenden Typen von Interaktionen dargelegt.

Im Rahmen der vierten Frage wird auf das sog. Gefangenendilemma eingegangen. Dieses ist das prominenteste Szenario für Konfliktsituationen, gerade auch wegen der daraus kontrovers diskutierten Interpretation, dass Nicht-Kooperation eine rationale Handlungsmöglichkeit darstellt. Weitere Konfliktsituationen werden kurz angerissen.

Zur Beantwortung der fünften Frage werden die „Verhandlung“ und die „Argumentation“ als Mechanismen zur Erzielung von Vereinbarungen vorgestellt. Auktionen werden kurz angerissen.

2 Grundlagen für die Begegnung von Agenten

2.1 Präferenzen

Im Rahmen der Multiagenten Begegnungen wird vorausgesetzt, dass jeder Agent eigennützig handelt. D.h. er verfügt über eigene Präferenzen und „Vorstellungen“ wie der aktuelle Zustand der Umgebung sein sollte. Woher diese Präferenzen kommen bzw. wie sie ausgeprägt werden, hängt vom Auftraggeber eines Agenten ab und welche Ziele dieser mit Hilfe des Agenten verfolgt.

Es folgt nun die formale Beschreibung der Präferenzen. Basis hierfür ist die Menge

$$\Omega = \{w_1, w_2, \dots\}$$

aller für den Agenten relevanten Ergebnisse bzw. Zustände w_i bzgl. der Umgebung, in der dieser agiert.

Die Präferenzen eines Agenten werden über eine Funktion

$$u_i = \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

dargestellt. u_i ist eine Funktion zum Agenten i und bildet einen Zustand auf eine reelle Zahl ab. Mit ihr werden die für den Agenten relevanten Zustände bzw. Ergebnisse seiner Handlung bewertet. Vereinfacht ausgedrückt kann man sagen, dass ein Zustand als „besser“ eingeschätzt wird, je höher der Funktionswert ist. Der Funktionswert kann also als Indikator für den erreichbaren Grad der Zielerfüllung angesehen werden.

Beispiel:

Beim Kauf eines Handys spielen die Features eine wesentliche Rolle.

$$\Omega = \{„Handy mit Kamera“, „Handy mit MP3-Player“, \dots\}$$

$$u_i(x) = \begin{cases} 4, & \text{wenn } x \text{ ein Handy mit Kamera ist} \\ 7, & \text{wenn } x \text{ ein Handy mit MP3-Player ist} \\ \dots & \dots \end{cases}$$

Somit lässt sich eine Ordnung \succsim über die für den Agenten relevanten Zustände ableiten. Diese Ordnung repräsentiert die Präferenzen dieses Agenten. Im weiteren Verlauf wird das Symbol \succsim durch $>$ dargestellt.:

$$u_i(w) \geq u_i(w') \quad \text{Abkürzung: } w \succeq_i w'$$

=> Agent i bewertet das Ergebnis w als mindestens gleich gut wie das Ergebnis w' .

$$u_i(w) > u_i(w') \quad \text{Abkürzung: } w \succ_i w'$$

=> Agent i zieht das Ergebnis w dem Ergebnis w' vor; auch „strikte Bevorzugung“ genannt.

Die Relation \succeq_i stellt eine Ordnung über Ω mit folgenden Eigenschaften dar:

Reflexivität: Für alle $w \in \Omega$ gilt $w \succeq w$

Transitivität: Wenn $w \succeq_i w'$ und $w' \succeq_i w''$, dann gilt $w \succeq_i w''$

Vergleichbarkeit: Für alle $w \in \Omega$ und $w' \in \Omega$ gilt entweder $w \succeq_i w'$

oder $w' \succeq_i w$

Für die Relation \succ_i gelten nur die Transitivität und Vergleichbarkeit.

Nützlichkeitsfunktionen

Im vorigen Kapitel 2.1 ist die Präferenzfunktion (u) selbst nicht weiter beschrieben worden. Sie stellt für den Agenten eine Nützlichkeitsfunktion dar, auf die jetzt näher eingegangen werden soll. Die grundsätzliche Fragestellung in Bezug auf eine Nützlichkeitsfunktion ist, als wie nützlich ein „Zugewinn“ oder ein bestimmter neuer Status „empfunden“ wird. Nutzenfunktionen sind i.d.R. nicht-linearer Natur.

Beispiel:

Angenommen, ich nehme an einer Game Show teil und habe die Endrunde geschafft. Mir stehen 1 Mio. EUR zu, die ich sofort mit nach Hause nehmen könnte. Der Showmaster bietet mir allerdings noch eine Wette an, einen Münzwurf. Nehme ich die Wette an, muss ich die 1 Mio. EUR einsetzen und mich für eine Münzseite entscheiden. Gewinne ich, erhalte ich insgesamt 3 Mio. EUR. Verliere ich die Wette, sind die 1 Mio. EUR futsch und ich gehe leer aus. Wie soll ich mich entscheiden?

Zuerst einmal ist anzunehmen, dass die Münze fair ist, d.h. die Wahrscheinlichkeit für jede Seite beträgt 50 Prozent. Daraus lässt sich der zu erwartende Geldwert für beide Entscheidungsalternativen berechnen:

$$\begin{aligned}EW_{\text{Wette}} &= 0,5 * 3 \text{ Mio. EUR} = 1,5 \text{ Mio. EUR} && \text{(Wette wird angenommen)} \\EW_{\text{keine_Wette}} &= 1 \text{ Mio. EUR} && \text{(Wette wird nicht angenommen)}\end{aligned}$$

Wird die Wette angenommen, beträgt der Erwartungswert aufgrund der Gewinnwahrscheinlichkeit von 50% 1,5 Mio. EUR. Im zweiten Fall wird die Wette nicht angenommen und somit der sichere Geldbetrag mitgenommen. Wäre es also rational, die Wette anzunehmen? Das Beispiel des Petersburger Spiels zeigt, dass die bloße Beurteilung auf Basis des Entscheidungswertes zu irrationalen Entscheidungen führen kann (entnommen aus [3]):

Das sog. Petersburger Spiel sieht folgenden Verlauf vor: eine ideale Münze mit den Seiten „Adler“ und „Zahl“ wird so lange geworfen, bis zum ersten Mal „Adler“ erscheint. Geschieht dies sofort beim ersten Wurf, erhält der Spieler 2 EUR. Erscheint der „Adler“ erst beim zweiten Wurf, erhält er das Doppelte, also 4 EUR. Fällt der „Adler“ erst im dritten Wurf, verdoppelt sich die Auszahlung noch einmal, beträgt also 8 EUR. Allgemein gilt also: Fällt die Münze im n-ten Wurf zum ersten Mal auf „Adler“, erhält der Spieler einen Gewinn von 2^n EUR.

Der Erwartungswert für den Gewinn in diesem Spiel beläuft sich auf

$$EW = \frac{1}{2} * 2 + \frac{1}{4} * 4 + \frac{1}{8} * 8 + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} (2^n * 2^{-n}) = \sum_{n=1}^{\infty} 1 = \infty^1$$

Daraus könnte man schließen, dass ein Spieler bereit wäre, hohe Wetteinsätze (hunderttausende, sogar Millionen EUR oder mehr) zu riskieren. Dies wäre aber nicht rational. Ein Versuch, gewisse als unvernünftig empfundene Konsequenzen zu überwinden, wird auf Daniel Bernoulli² zurückgeführt. Er schlug in seiner Abhandlung

¹ Die Wahrscheinlichkeit, dass im ersten Wurf „Adler“ erscheint ist $1/2$ (2^{-1}). Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass „Adler“ erst im zweiten Wurf erscheint, ist $0,5 * 0,5 = 1/4$ (2^{-2}). Die Wahrscheinlichkeit, dass „Adler“ erst im n-ten Wurf erscheint ist 2^{-n} .

² schweizerischer Physiker, Mathematiker und Mediziner, *Groningen 8.2. 1700, Basel 17.3. 1782, Sohn von Johann Bernoulli; Professor in Sankt Petersburg und Basel, begründete die Hydrodynamik und schuf die ersten Ansätze zu einer kinetischen Gastheorie. Entnommen [2].

„Specimen theoriae de mensura sortis“ 1738 der Idee nach vor, bei der Beurteilung von Glücksspielen nicht von dem Erwartungswert der möglichen Gewinne auszugehen, sondern von der „moralischen Erwartung“, d.h. dem Erwartungswert des aus den Gewinnen resultierenden Nutzens. Dabei ging Bernoulli davon aus, dass der Nutzen mit steigendem Gewinn nur unterproportional steige. Dieser Ansatz wurde 1944 von John v. Neumann und Oskar Morgenstern in ihrer Arbeit „Theory of Games and Economic Behavior“ aufgenommen.

Das Bernoulli-Prinzip sieht keine fest vorgegebene Nutzenfunktion vor. Das wesentliche Charakteristikum des Prinzips ist die Transformation der Ergebnisbeträge in Nutzenwerte. Die Nutzenfunktion soll dies möglichst gut nachbilden. Die Bestimmung der Nutzenfunktion erfolgt auf Basis der Bernoulli-Befragung. Näheres ist in [3] nachzulesen, hier soll nur zum Abschluss ein Beispiel für die Nützlichkeitsfunktion in der oben genannte Münzwette präsentiert werden:

$$u(x) = 0,1 * \sqrt{x}$$

Daraus folgen die Nutzenwerte

$$EN_{Wette} = 0,5 * u(3Mio.) = 0,5 * 0,1 * \sqrt{3Mio.} = 86,6025$$

$$EN_{keine_Wette} = u(1Mio.) = 0,1 * \sqrt{1Mio} = 100$$

Hier zeigt sich, dass bei Anwendung dieser Nützlichkeitsfunktion, nach rationaler Überlegung, die Wette nicht angenommen werden sollte. Die Interpretation dieser Funktion (siehe **Abbildung 2-1**) lässt den Schluss zu, dass z.B. die erste Million am wichtigsten ist und der Nutzen jeder weiteren Million sinkt.

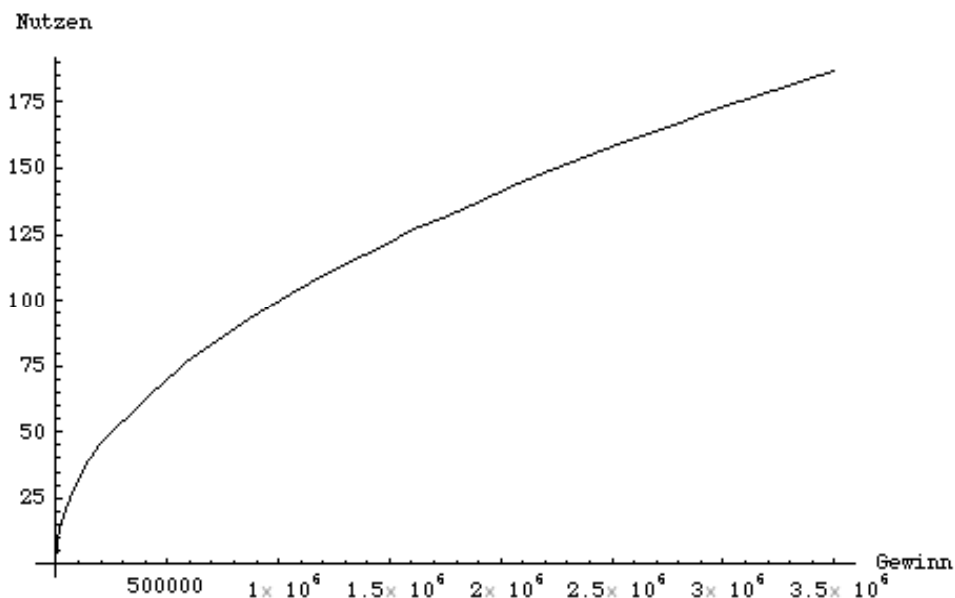


Abbildung 2-1

2.2 Formale Beschreibung der Begegnungen

Nachdem die formale Repräsentation der Präferenzen festgelegt ist, muss noch ein Modell für die Begegnungen zwischen Agenten beschrieben werden. Um dies zu vereinfachen, wird im Folgenden von zwei Agenten ausgegangen. Die Idee eines solchen Modells ist, dass beide Agenten ihre auszuführende Aktion gleichzeitig wählen. Das Resultat der Aktionen ist ein Ergebniszustand aus der Menge Ω , die mit der Beschreibung der Präferenzen eingeführt wurde. Das Ergebnis hängt genauer gesagt von der Kombination der Ausführung beider Aktionen ab. Beide Agenten können also das Ergebnis beeinflussen.

Eine weitere vereinfachende Annahme im Rahmen dieses Vortrages, ohne Beschränkung der Allgemeingültigkeit des Modells, ist die Festlegung auf zwei mögliche Aktionen, die Kooperation (C - „to cooperate“) und die Nicht-Kooperation (D - „to defect“; auch konkurrieren, sabotieren und verraten, je nach Situation). Das Modell für die Begegnung von Agenten lautet wie folgt:

- $A_c = \{C, D\}$ Menge der möglichen Aktionen.
- $\tau: A_c \times A_c \rightarrow \Omega$ Ein Aktionspaar (x_i, x_j) führt zu einem Ergebniszustand in der Umgebung Ω . x_i wird von Agent i , und x_j wird von Agent j ausgeführt.
- Beispiel: $\tau(C, D) = w_1 \in \Omega$
 In diesem Aktionspaar (C, D) kooperiert Agent i und Agent j konkurriert. Dies führt zu Zustand w_1 .

Folgende beispielhafte Möglichkeiten ergeben sich in unserem Modell für Begegnungen:

- (a) $\tau(D, D) = w_1, \tau(D, C) = w_2, \tau(C, D) = w_3, \tau(C, C) = w_4$
 (b) $\tau(D, D) = w_1, \tau(D, C) = w_1, \tau(C, D) = w_1, \tau(C, C) = w_1$
 (c) $\tau(D, D) = w_1, \tau(D, C) = w_2, \tau(C, D) = w_1, \tau(C, C) = w_2$

In Beispiel (a) bildet die Umgebung jede Kombination von Aktionen auf jeweils einen anderen Zustand ab. Beispiel (b) zeigt eine Umgebung, in der es egal ist, welche Aktion die Agenten ausführen. Und schließlich ist es in Beispiel (c) egal, welche Aktion Agent i ausführt. Entscheidend ist die von Agent j durchgeführte Aktion.

Interessant wird die Angelegenheit in Verbindung mit der Nutzenbewertung durch die Agenten. Jedes Aktionspaar kann auf Basis der Präferenzen der beteiligten Agenten bewertet werden. Somit werden die Agenten in die Lage versetzt, die Konsequenzen wertmäßig durch das Ergebnis ihrer Nutzenfunktionen nachzuvollziehen.

Beispiel für Präferenzen:

- | | | | | |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Agent i | $u_i(w_1) = 1,$ | $u_i(w_2) = 1,$ | $u_i(w_3) = 4,$ | $u_i(w_4) = 4$ |
| Agent j | $u_j(w_1) = 1,$ | $u_j(w_2) = 4,$ | $u_j(w_3) = 1,$ | $u_j(w_4) = 4$ |

Anwendung des Beispiels (b) auf die Präferenzen:

- | | | | | |
|-----------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Agent i | $u_i(D, D) = 1,$ | $u_i(D, C) = 1,$ | $u_i(C, D) = 4,$ | $u_i(C, C) = 4$ |
| Agent j | $u_j(D, D) = 1,$ | $u_j(D, C) = 4,$ | $u_j(C, D) = 1,$ | $u_j(C, C) = 4$ |

Wie sieht nun für dieses Beispiel die Bewertungsreihenfolge (Ordnung) des Agenten i aus?

$$(C, C) \succeq_i (C, D) >_i (D, C) \succeq_i (D, D)$$

Hier zieht Agent i all die Ergebniszustände vor, in denen er kooperiert. Dies gilt auch für Agent j . Insofern stellt die Kooperation auf Basis ihrer Präferenzen, für beide Agenten eine vernünftige Handlungsalternative dar.

Zum Schluss möchte ich noch eine weithin genutzte Darstellungsform des vorigen Szenarios vorstellen. Es handelt sich um die in der Spieltheorie verwendete Payoff-Matrix. Sie hat für das vorangegangene Beispiel folgenden Inhalt:

	i konkurriert	i kooperiert
j konkurriert	1 / 1	4 / 1
j kooperiert	4 / 1	4 / 4

Diese Matrix wird wie folgt zu lesen. Jede dieser 4 Zellen repräsentiert jeweils einen der Ergebniszustände. Die Zelle oben rechts bspw. repräsentiert den Zustand, in dem Agent i kooperiert und Agent j nicht kooperiert. Der Wert in der oberen rechten Ecke jeder Zelle stellt den „payoff“ von Agent i dar. Der Wert in der linken unteren Ecke jeder Zelle steht für den „payoff“ des Agenten j. Der Begriff „payoff“ (im Deutschen wird er auch als Auszahlung bezeichnet) stammt aus der Spieltheorie und repräsentiert den Nutzen des Ergebniszustandes für die Agenten.

2.3 Begriffe Dominanz und Gleichgewicht

2.3.1 Dominanz

Bevor auf spezielle Situationen bzgl. der Begegnung zweier Agenten eingegangen wird, soll noch auf die grundsätzliche Frage eingegangen werden, die sich für die beteiligten Agenten stellt:

„Was ist zu tun?“

Die kurze und einfache Antwort lautet:

„Ein Agent hat die Aktion auszuführen, die für ihn zum bestmöglichen Ergebnis führt“

Ein Konzept, welches die Antwort präzisiert, ist der Begriff der Dominanz. Liegen z.B. zwei Teilmengen Ω_x und Ω_y möglicher Ergebnisse bzw. Zustände vor, so gilt:

Strikte Dominanz

Ω_x dominiert (strikt) Ω_y , gdw.

$$\forall w_x \in \Omega_x, \forall w_y \in \Omega_y \text{ gilt } w_x \succ_i w_y$$

D.h. jeder Zustand w_x aus der Teilmenge Ω_x wird jedem Zustand w_y der Teilmenge Ω_y durch Agent i vorgezogen.

Schwache Dominanz

Es liegt eine schwache Dominanz von Ω_x über Ω_y , gdw.

$$\forall w_x \in \Omega_x, \forall w_y \in \Omega_y \text{ gilt } w_x \succeq_i w_y$$

Agent i bewertet jeden Zustand w_x aus der Teilmenge Ω_x mindestens genauso gut wie die Zustände w_y der Teilmenge Ω_y .

Jetzt kann auch die eingangs gestellte Frage „Was ist zu tun?“ genauer beantwortet werden: ein Agent hat die für ihn dominante Strategie auszuführen. Der Begriff Strategie kommt aus der Spieltheorie und kann als Aktion bzw. eine Folge von Aktionen bezeichnet

werden, die ein Agent ausführt. Für eine strikt dominante Strategie gilt in Anlehnung der oben definierten Dominanz:

In einer Entscheidungssituation ist das schlechtest mögliche Ergebnis einer dominierenden Aktion nicht schlechter als das bestmögliche Ergebnis einer dominierten Aktion.

Das Ausführen dominanter Strategien wird als rationales Handeln angesehen. Hierbei sind allerdings die folgenden Punkte zu beachten:

Zunächst einmal ist aus der Menge der möglichen Strategien die ggf. dominante Strategie zu ermitteln. Dies kann durch ein Ausschlussverfahren vorgenommen werden. Hierzu wird untersucht, ob eine Strategie s_1 von einer weiteren Strategie dominiert wird. Ist dies der Fall, wird sie von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Durch iterative Anwendung dieses Verfahrens werden alle dominierten Strategien ausgeschlossen.

Das Ergebnis des Verfahrens kann sein, dass entweder keine oder mehrere dominante Strategien vorliegen. Im zweiten Fall erfolgt die Untersuchung auf schwach dominierte Strategien. Aus der Menge der verbliebenen Strategien werden die gelöscht, die schwach dominiert werden. Hierbei besteht aber die Problematik, dass es nicht von vornherein falsch bzw. irrational ist, schwach dominierte Strategien anzuwenden. Es besteht also die Gefahr, dass Strategien von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden, die durchaus nützlich sein können.

2.3.2 Gleichgewicht

Ein weiteres Konzept für die Suche nach optimalen Strategien ist der Begriff des Nash Gleichgewichtes. Eine Definition nach [4] ist:

Ein Nash-Gleichgewicht ist eine Strategiekombination der Spieler, für die gilt, dass es für keinen Spieler profitabel ist, seine Strategie zu ändern, wenn die anderen Spieler ihre Strategie unverändert lassen. Jeder Spieler wählt dann offenbar die beste Antwort auf die Strategie der anderen Spieler.

Ein Nash Gleichgewicht führt also dazu, dass die beteiligten Spieler auf eine bestimmte Kombination von Aktionen festlegt werden. Sie kennen die Handlungsmöglichkeiten der anderen Agenten sowie deren Nutzenbewertung der Ergebniszustände. Ein simples Beispiel für ein Nash Gleichgewicht ist der Straßenverkehr. Angenommen, ein Verkehrsteilnehmer A hält sich Deutschland auf. Daraus lässt sich unschwer ableiten, dass er als PKW-Fahrer auf der rechten Straßenseite fahren sollte. Der Grund hierfür ist, dass das Rechts-Fahren ein Nash Gleichgewicht darstellt. Wenn jeder andere Verkehrsteilnehmer rechts fährt, kann A nicht besser handeln als auch rechts zu fahren. Das Links-Fahren würde für ihn weniger optimal sein, da davon auszugehen ist, dass er relativ schnell einen Unfall bauen würde.

Untersuchen wir das Nash Gleichgewicht anhand des folgenden Beispiels, welches als Payoff-Matrix dargestellt ist:

	i konkurriert	i kooperiert
j konkurriert	2, 2	3, 0
j kooperiert	3, 0	1, 1

Insgesamt sind 4 sogenannte Aktionspaare möglich. Diese werden jetzt im einzelnen diskutiert, wobei z.B. (D, C) bedeutet, dass Agent i konkurriert und Agent j kooperiert:

- (D, D) Unter der Annahme dass Agent j nicht kooperiert, kann Agent i seinen Payoff verbessern, indem er kooperiert. Die analoge Überlegung kann für Agent j erfolgen. Insgesamt stellt dieses Aktionspaar kein Nash Gleichgewicht dar, da ein Agent unter der Annahme, dass der andere Agent konkurriert, mit einer geänderten Strategie seinen Payoff verbessern kann.
- (D, C) Unter der Annahme dass Agent j kooperiert, kann Agent i seinen Payoff von 0 auf 1 verbessern, wenn er seine Strategie von Nicht-Kooperation auf Kooperation ändert. Auch dieses Aktionspaar stellt somit kein Nash Gleichgewicht dar.
- (C, D) Unter der Annahme dass Agent i kooperiert, kann Agent j seinen Payoff von 0 auf 1 verbessern, indem er seine Strategie von Nicht-Kooperation auf Kooperation ändert. Somit stellt auch dieses Aktionspaar kein Nash Gleichgewicht dar.
- (C, C) Unter der Annahme, dass Agent j kooperiert, kann Agent i seinen Payoff nicht weiter verbessern, wenn er, statt zu kooperieren, konkurriert. Hier würde sich für ihn das Ergebnis von 1 auf 0 verschlechtern.

Für Agent j gilt die analoge Überlegung. Unter der Annahme, dass Agent i kooperiert, kann j durch eine Strategieänderung seinen Payoff nur verschlechtern.

Somit stellt dieses Aktionspaar ein Nash Gleichgewicht dar.

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass das Nash Gleichgewicht nicht unbedingt die vom Payoff her gesehen bestmögliche Alternative für einen Agenten darstellt. Nur verhindert die Aussicht, dass die anderen Agenten dabei nicht mitmachen, die Auswahl dieser Aktion.

Das Nash Gleichgewicht stellt ein Konzept für die Lösung nicht kooperativer Spiele dar. Das Finden solcher Lösungen ist natürlich von großem Interesse, so dass das Nash Gleichgewicht in der Forschung der Spieltheorie eine große Bedeutung erlangt hat. Abschließend sei noch auf zwei wichtige Ergebnisse dieser Forschung hingewiesen:

- Nicht jedes Interaktionsszenario weist ein Nash Gleichgewicht auf.
- Es gibt Szenarien, die mehr als ein Nash Gleichgewicht haben.

2.4 Bedeutung der Spieltheorie

2.4.1 Der Begriff

Die Informationen zu diesem Unterkapitel wurden [2] und [3] entnommen.

In den letzten Kapiteln wurde u.a. mit den Begriffen „Payoff“ und „Strategie“ Bezug auf die Spieltheorie genommen. Deshalb erfolgt an dieser Stelle eine kurze Erläuterung der Spieltheorie und ihr Einfluss auf die Beschreibung von Multiagenten Systemen.

Die Spieltheorie beschäftigt sich mit einer Vielzahl von Konfliktsituationen, d.h. von Situationen, in denen sich die Aktionen verschiedener Entscheidungssubjekte in ihren

Ergebnissen wechselseitig beeinflussen. Solche Situationen begegnen uns täglich, in der Wirtschaft, im Beruf oder Privatleben usw.: Unternehmen brauchen Wettbewerbsstrategien, Gewerkschaften und Arbeitgeberverbände Verhandlungsstrategien und Trainer planen Strategien für ihre Mannschaften auf dem Spielfeld. Allein schon die „harmlose“ Fragestellung, was am Wochenende unternommen werden soll, kann unter spieltheoretischen Ansätzen betrachtet werden. Die erste Arbeit zur Spieltheorie ist der Aufsatz von John von Neumann (1903-1957) „Zur Theorie der Gesellschaftsspiele“, der den Begriff Spieltheorie begründete. Als eigenes Fachgebiet wurde die Spieltheorie durch das Werk von Neumann und Morgenstern „Theory of Games and Economic Behaviour“, 1944,

Alle aufgezählten Grundelemente liefern zugleich verschiedene Ansatzpunkte zur Klassifikation unterschiedlicher Spieltypen bzw. –Situationen:

- Zahl der Spieler
 - **2-Personen-Spiele**
 - **n-Personen-Spiele**
- Zahl der Strategien
 - **Endliche Spiele** (Endliche Anzahl von Strategien pro Spieler verfügbar)
 - **Unendliche Spiele** (Unendliche Anzahl von Strategien für mindestens einen Spieler verfügbar)
- Art der Kooperation
 - **Kooperative Spiele**
 - **Nicht-kooperative Spiele**
- Unterscheidung nach auftretenden Ergebnissummen
 - Spiele mit **variabler Summe**
 - Spiele mit **konstanten Summen**

2.4.2 Kooperative Spiele vs. nicht-kooperative Spiele

Eine mögliche Klassifikation von Spielen besteht in der Unterscheidung nach kooperativen und nicht-kooperativen Spielen. Bei nicht-kooperativen Spielen finden keinerlei Absprachen oder Vereinbarungen zwischen Spielern statt, wohingegen bei kooperativen Spielen die unterschiedlichsten Methoden zu Übereinkünften, Koalitionen, Kompensationszahlungen usw. bestehen.

Beide Spielformen gehören zu den sogenannten Spielen mit variabler Summe. Die Summe bezieht sich auf die Nutzenfunktion bzw. deren Ergebnis bzgl. eines Zustandes. Man betrachtet hierbei für einen Zustand die Summe des Nutzens der beteiligten Spieler. Im Gegensatz dazu stehen die Spiele mit konstanten Summen, in denen ein Spieler seine Situation nur auf Kosten des Gegenspielers verbessern kann, d.h.

$$u_i(w) + u_j(w) = \text{konstant für alle } w \in \Omega$$

Ein Extrem hiervon stellen die sogenannten Nullsummen Spiele (z.B. Schach) dar, für die gilt:

$$u_i(w) + u_j(w) = 0 \text{ für alle } w \in \Omega$$

2.4.3 Zusammenhang mit Multiagenten Systemen

Wie vorher schon angedeutet, stellt die Spieltheorie ein formales Gerüst zur Beschreibung verschiedener Konfliktsituationen bereit. Daher liegt es nahe, die Spieltheorie auch als

Grundlage für die Interaktion von Agenten zu verwenden, wobei folgende Zuordnung zu den entsprechenden Begriffen erfolgen kann:

<i>Spieler</i>	Die beteiligten Agenten
<i>Spielregeln</i>	Die Regeln werden einerseits über die Menge Ω aller für den Agenten relevanten Ergebnisse bzw. Zustände festgelegt. Ferner bilden sog. Protokolle eine weitere Grundlage für den Mechanismus der Interaktion zwischen Agenten. Auf sie wird an späterer Stelle genauer eingegangen.
<i>Strategien</i>	Die Menge A_c der für die Agenten möglichen Aktionen
<i>Konfliktsituation</i>	Begegnung zweier oder mehrerer Agenten
<i>Spielergebnisse</i>	Die Ergebnisse werden über die Präferenzen bzw. Nützlichkeitsfunktionen der Agenten abgebildet. Als gebräuchliche Notation in der Spieltheorie haben wir die Payoff Matrix schon kennen gelernt.

Es ist allerdings zu beachten, dass die Betrachtung der Multiagenten Begegnungen unter spieltheoretischen Gesichtspunkten nicht unumstritten ist. Generell wird auch die Frage diskutiert, inwieweit die Spieltheorie überhaupt auf die „reale“ Welt übertragen werden kann. Eine Diskussion hierüber nehme ich im Abschlusskapitel vor. Grundsätzlich wird der Spieltheorie dennoch eine große Bedeutung auch für Multiagenten Begegnungen eingeräumt. Der Grund hierfür ist, dass sie formale Mechanismen bereitstellt, die theoretisch fundiert sind und sich daher für die Computeranwendung anbieten.

2.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die formalen Grundlagen für die Interaktion zwischen Agenten besprochen. Über die sog. Präferenzen werden die „Vorstellungen“ oder „Wünsche“ eines Agenten abgebildet, wie die Umgebung, in der er agiert, aussehen soll. Um eine Bewertung der verschiedenen Zustände vornehmen zu können, erfolgt die Definition der Nützlichkeitsfunktion, welche für jeden Zustand einen Nutzen für den Agenten berechnet, den dieser Zustand hinsichtlich seiner Präferenzen hat. Schließlich wurden die Begegnungen zwischen Agenten erläutert und im Zusammenhang mit der Nutzenfunktion der Begriff der dominanten Strategien geklärt.

Die Dominanz gibt eine Antwort auf die Frage, welche Aktionen bzw. Strategien ein Agent in Multiagenten Begegnungen anwenden soll. Ein weiteres Konzept hierzu stellt das Nash Gleichgewicht dar. Es führt dazu, dass die beteiligten Agenten sich auf eine bestimmte Kombination von Aktionen festlegen. Grundlage hierfür ist, dass die Agenten Vermutungen über die Strategien der jeweils anderen Agenten anstellen.

Anhand der bisherigen Ausführungen wurde die Bedeutung der Spieltheorie deutlich. Daher wurde kurz auf sie eingegangen und als formales Gerüst zur Beschreibung von Konfliktsituationen beschrieben. Ihre Bedeutung liegt darin, dass sie Anwendung auf viele Bereiche findet, z.B. zwischenmenschliche, staatliche oder ökonomische Interaktionen. Aufgrund ihrer theoretischen Fundierung erfolgt ihre Verwendung auch in Multiagenten Systemen.

3 Szenarien für nicht-kooperative Begegnungen

3.1 Allgemeines

Wie im vorigen Kapitel (2, Grundlagen für die Begegnung von Agenten) angedeutet, wurden die Forschungsergebnisse der Spieltheorie auch auf die Betrachtung von Multiagenten Systemen angewandt. Eine Art der Klassifikation von Spielen und damit Interaktionen ist die Differenzierung nach kooperativ und nicht-kooperativ. Dieser Aufteilung möchte ich in meinem Vortrag folgen und beginne mit speziellen Szenarien für nicht-kooperative Begegnungen zwischen Agenten.

Hierbei beschränke ich mich, um die Erläuterungen zu vereinfachen, auf die sogenannten symmetrischen¹ 2-Personen-Interaktionen und zwei mögliche Aktionen, die von den Agenten ausgeführt werden können. Die Aktionen sind „C“ für Kooperation und „D“ für Nicht-Kooperation. Die nachfolgende Tabelle zeigt diesbezüglich alle 24 mögliche Präferenzordnungen.

1	C,C > i C,D > i D,C > i D,D	Kooperation dominiert
2	C,C > i C,D > i D,D > i D,C	Kooperation dominiert
3	C,C > i D,C > i C,D > i D,D	
4	C,C > i D,C > i D,D > i C,D	Stag Hunt
5	C,C > i D,D > i C,D > i D,C	
6	C,C > i D,D > i D,C > i C,D	
7	C,D > i C,C > i D,C > i D,D	
8	C,D > i C,C > i D,D > i D,C	
9	C,D > i D,C > i C,C > i D,D	
10	C,D > i D,C > i D,D > i C,C	
11	C,D > i D,D > i C,C > i D,C	
12	C,D > i D,D > i D,C > i C,C	
13	D,C > i C,C > i C,D > i D,D	Game Of Chicken
14	D,C > i C,C > i D,D > i C,D	Gefangenen Dilemma
15	D,C > i C,D > i C,C > i D,D	
16	D,C > i C,D > i D,D > i C,C	
17	D,C > i D,D > i C,C > i C,D	
18	D,C > i D,D > i C,D > i C,C	
19	D,D > i C,C > i C,D > i D,C	
20	D,D > i C,C > i D,C > i C,D	
21	D,D > i C,D > i C,C > i D,C	
22	D,D > i C,D > i D,C > i C,C	
23	D,D > i D,C > i C,C > i C,D	Nicht-Kooperation dominiert
24	D,D > i D,C > i C,D > i C,C	Nicht-Kooperation dominiert

¹ symmetrisch bedeutet, dass die Präferenzen beider Agenten gleich sind

Der bekannteste und am ausführlichsten untersuchte Typ von Interaktionen ist das sogenannte Gefangenendilemma. Es stellt eine Art von sozialem Dilemma dar. Ich werde diese Form der Interaktion ausführlich inkl. der daraus entstehenden Interpretationen erläutern. Weitere Typen von Interaktionen, wie Stag Hunt und Game Of Chicken werde ich der Vollständigkeit halber kurz anreißen.

3.2 Gefangenendilemma

3.2.1 Beschreibung

Das Szenario des Gefangenendilemmas lässt sich an folgendem Beispiel erläutern:

Zwei Personen werden eines gemeinsamen Verbrechens angeklagt und sind in getrennten Zellen eingesperrt. Es besteht keine Möglichkeit der Kommunikation für die beiden, so dass sie nicht in der Lage sind, Vereinbarungen zu treffen.

Sie stehen jeweils kurz vor einem Einzelverhör durch den Staatsanwalt und beide wissen:

- Halten beide dicht, d.h. gesteht keiner von ihnen, werden sie zu 1 Jahr Gefängnis verurteilt.
- Gestehen beide, wird jeder zu einer Gefängnisstrafe von 5 Jahren verurteilt.
- Gesteht schließlich nur einer und belastet dabei zugleich seinen nicht geständigen Komplizen, kann er als „Zeuge der Anklage“ sogar mit einer Haftverschonung rechnen, während dem anderen Mittäter 10 Jahre Gefängnis drohen.

Bevor wir diese Situation weiter diskutieren, wird dieses Szenario mit den bisher eingeführten Begriffen für Multiagenten Systeme verknüpft:

Geständnis -> Aktion: Nicht-Kooperation, Verrat (D)

„Dicht halten“ -> Aktion: Kooperieren (C)

Angeklagte -> ich (Spieler i) und mein Gegenspieler (Spieler j)

Beispiel einer Payoff-Matrix, wobei die resultierenden Gefängnisstrafen (Anzahl Jahre) jeweils in einen Nutzenwert umgerechnet werden. Für beide Spieler gilt die selbe Nutzenfunktion mit $u(0 \text{ Jahre}) = 0$, $u(1 \text{ Jahr}) = -1$, $u(5 \text{ Jahre}) = -5$, $u(10 \text{ Jahre}) = -10$:

	ich gestehe	ich kooperiere
Gegenspieler gesteht	-5	-10
Gegenspieler kooperiert	-10	-1

Ausgehend von der Aktion des Gegenspielers ergeben sich zwei Möglichkeiten.

a) Erstens, mein Gegenspieler kooperiert, d.h. er gesteht nicht:

In diesem Falle ist mein Payoff 1 Jahr Gefängnis (-1), falls ich ebenfalls kooperiere. Ich kann mich aber auch besser stellen, indem ich meine Gegenspieler hereinlege und gestehe. Ich brauche dann nicht ins Gefängnis (0 Punkte Payoff).

b) Erstens, mein Gegenspieler verrät mich und gesteht:

In diesem Falle muss ich 10 Jahre ins Gefängnis (Payoff -10), falls ich kooperiere und nicht gestehe. Sage ich hingegen aus, brauche ich nur 5 Jahre ins Gefängnis (Payoff -5) und Sorge darüber hinaus auch dafür, dass mein Gegenspieler ebenfalls die Gefängnisstrafe erhält.

Kooperieren beide Spieler, wird insgesamt der höchstmögliche Nutzen für alle Beteiligten erreicht. Ich kann meine allerdings Situation verbessern, indem ich meine Gegenspieler verrate. Kooperiert er weiterhin und ich gestehe, so brauche ich nicht in das Gefängnis, während er die Höchststrafe von 10 Jahren erhält. Die gleichen Überlegungen stellt mein Gegenspieler allerdings auch an.

So kommt es zum Dilemma dieses Szenarios. Obwohl für beide die gegenseitige Kooperation ein vergleichsweise glimpfliches Ergebnis zur Folge hat, ist es, für jeden der Beteiligten einzeln betrachtet, besser, den jeweils Anderen zu verraten. Es besteht also ein Anreiz, sich nicht-kooperativ zu verhalten. Wenn der andere weiterhin kooperiert, erreiche ich ein besseres Ergebnis, als mit beiderseitiger Kooperation. Verrät mein Gegenspieler mich allerdings auch, so stehe ich wenigstens nicht schlechter da, als er. Das Ergebnis ist dann allerdings suboptimal gegenüber der gegenseitigen Kooperation.

Das Fazit dieses Dilemmas ist, dass bei einzelner Betrachtung die Nicht-Kooperation eine rationale Handlungsweise ist. Wenn aber alle Beteiligten nicht kooperativ sind, führt dies zu einem suboptimalen Ergebnis, da mit gegenseitiger Kooperation ein „besseres Gleichgewicht“ erreicht würde.

Ein weiteres Beispiel für das Szenario des Gefangenendilemmas (vereinfachte Form):

Zwei Staaten liefern sich ein Wettüben, um aus ihrer Sicht das militärische Gleichgewicht sicherzustellen. Nun besteht für beide Staaten die Möglichkeit, wenig (Kooperation) oder viel (Nicht-Kooperation) in die Aufrüstung zu investieren. Einzeln betrachtet ist es für die beiden Staaten besser, viel aufzurüsten. Dies führt entweder zur eigenen Überlegenheit, wenn der andere Staat nur wenig aufrüstet oder verhindert die eigene Wehrlosigkeit, wenn der andere Staat viel aufrüstet. Wenn beide allerdings stark aufrüsten, führt dies zu einem suboptimalen Ergebnis, da ein Gleichgewicht erreicht wurde, welches billiger zu haben wäre (beide rüsten nur wenig auf).

3.2.2 Schlussfolgerung aus dem Gefangenendilemma

Gemäß der Beschreibung im vorangegangenen Kapitel könnte man zu dem Schluss kommen, dass die Kooperation eine irrationale Strategie ist. Dies hinterlässt natürlich ein ungutes Gefühl. Angewendet auf zwischenmenschliche, -staatliche und weitere Arten von Interaktionen würde dies bedeuten, dass Kooperation von denen ausgenutzt wird, die sich rational verhalten. Dies entspricht nicht der idealen Vorstellung eines zivilisierten Umgangs miteinander. Dementsprechend gibt es etliche Ansätze, die Kooperation als rationale Handlung zu begründen.

Ein Kritikpunkt ist, dass die Schlussfolgerungen zum Gefangenendilemma davon ausgehen, dass Menschen immer kühl rational handelnde Individuen sind, die auf Kosten anderer versuchen, ihren eigenen Vorteil zu vergrößern. Die Kritiker argumentieren, dass dem nicht so ist, sondern dass wir i.d.R. mit einem mehr oder weniger großem Maß an Vertrauen in die Begegnungen mit Dritten gehen und davon ausgehen, dass der Andere den eigenen Wert von Kooperation teilt. Ein simples Beispiel wäre die Freigabe eines Sitzplatzes in den öffentlichen Verkehrsmitteln z.B. an ältere Personen. Hier wird

offensichtlich freiwillig die „Verschlechterung des eigenen Nutzens“ in Kauf genommen. Diese Argumentation unterliegt allerdings ihrerseits einigen Kritikpunkten. Es wird darauf hingewiesen, dass viele Interaktionen in der realen Welt nicht dem Gefangenendilemma entsprechen. Diese Aktionen beinhalten von sich aus schon Mechanismen („Bestrafung“), die dafür sorgen, dass ein gewisses Maß an Kooperation von Interesse ist. Im Beispiel des Sitzplatzes kann die Nicht-Kooperation (keine Sitzplatzfreigabe) durch Sanktionen seitens der anderen Fahrgäste (böse Blicke, Kommentare usw.) geahndet werden.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Kritik an den Schlussfolgerungen zum Gefangenendilemma basiert auf der Möglichkeit, dass zwei Beteiligten gleich oder ähnlich denken („fallacy of twins“) und somit zur Schlussfolgerung kommen, dass eine gemeinsame Kooperation am Besten ist. Darüber hinaus ergibt sich die Frage, inwieweit ein Nutzenverlust als nicht so schlimm empfunden wird. In diesem Fall wäre es durchaus möglich, dass die beteiligten Personen das Risiko der Kooperation eingehen.

Der bisher diskutierte Ansatz des Gefangenendilemmas geht nur von einer „Spielrunde“ aus. Es gibt eine Variation dieses Szenarios, das iterierte Gefangenendilemma, in der Kooperation durchaus eine vernünftige Handlungsweise sein kann. Die Begründung hierfür wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

3.2.3 Das iterierte Gefangenendilemma

In diesem Szenario, wird das Spiel zum Gefangenendilemma mehrmals hintereinander gespielt. Eine Runde besteht aus je einer Aktion von beiden Beteiligten, die simultan ausgeführt werden. Jeder Spieler weiß, welche Aktion der jeweils andere Spieler in der letzten Runde ausgeführt hat. Unterschieden wird hierbei nach Spielen mit einer vorher festgelegten Anzahl Runden und mit einer unendlichen Anzahl von Runden. Die Frage ist, wie sich die Beteiligten in dem Bewusstsein verhalten, dass die aktuelle eigene Aktion durchaus Einfluss auf die zukünftigen Aktionen des Gegenspielers haben kann.

Beginnen wir die Untersuchung des Gefangenendilemmas mit einer endlichen Anzahl von Spielrunden. Aufgrund der Kenntnis der Anzahl Runden ist es einsichtig, dass die Strategie für die letzte und endgültige Runde sehr wichtig ist. Diese letzte Runde ist dann wie ein 1-Runden-Spiel zu betrachten. Aufgrund der Überlegungen im vorigen Kapitel stellt die Nicht-Kooperation beider Agenten die rationale Handlungsweise für diese Runde dar. Da die Strategie für die letzte Runde somit festgelegt ist, kann die vorletzte Runde als letzte „reale“ Runde angesehen werden. Aber auch sie ist als 1-Runden-Spiel anzusehen, womit die Nicht-Kooperation die einzig rationale Handlungsweise ist. Mit der iterativen Analyse zurück bis zur ersten Runde kommt man daher zum Schluss, dass für dieses Szenario die Nicht-Kooperation die dominante Strategie ist. Da eine endliche Rundenanzahl den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht, wäre dies eine schlechte Nachricht für die Verfechter der Kooperation. Aber so schlecht muss es für sie nicht aussehen, denn solange für beide Beteiligten die Möglichkeit besteht, auch in Zukunft miteinander zu agieren, kann die Kooperation eine vernünftige Handlungsweise sein. Womit wir jetzt den Bogen zur Variante „unendliche Rundenanzahl“ spannen können.

Die Variante „unendliche Rundenanzahl“ des Gefangenendilemmas kann gleichgesetzt werden mit einem Szenario auf Basis einer endlichen Rundenanzahl, in dem aber nicht bekannt ist, über wie viele Runden dieses Szenario geht. Es liegt also „der Schatten der Zukunft“ auf diesem Spiel. Keiner der Beteiligten weiß, ob er noch in Zukunft mit dem Gegenspieler zu tun hat. Somit kann sich der bisher beschriebene Anreiz zur Nicht-Kooperation aus folgenden Gründen verringern. Erstens, wenn ich in dieser Runde nicht kooperiere, kann der Gegenspieler mich in zukünftigen Runden durch Nicht-Kooperation „bestrafen“. Zweitens besteht für mich die Möglichkeit, den anfänglichen Nutzenverlust,

den die Nicht-Kooperation des Gegenspielers in der ersten Runde verursacht, in zukünftigen Runden zu amortisieren.

1980 organisierte Robert Axelrod¹ ein öffentliches Turnier, in dem untersucht werden sollte, inwieweit Kooperation in einer Gruppe eigennütziger Agenten entsteht. Teilnehmer waren Politikwissenschaftler, Psychologen, Ökonomen und Wissenschaftler, die sich mit der Spieltheorie beschäftigten. Sie sollten Programme erstellen, die das iterierte Gefangenendilemma spielen. Mögliche Aktionen waren die Kooperation und die Nicht-Kooperation. Eine Anforderung an die Programme war die Kenntnis der vergangenen Aktionen des Gegners. Jedes Programm hatte gegen alle anderen Programme in 5 Spielen mit jeweils 200 Runden anzutreten. Der Sieger des Turniers muss den höchsten Payoff insgesamt aufweisen.

Die teilnehmenden Programme verfolgten recht unterschiedliche Strategien, die von wenigen Programmzeilen bis hin zu komplizierten Algorithmen realisiert wurden. Das Ergebnis des Turniers war eine kleine Überraschung, da die recht einfache Strategie Tit-For-Tat als Gesamtsieger hervorging. Diese Strategie verfolgt den Ansatz, dass in der ersten Runde immer kooperiert wird und in den folgenden Runden die gegnerische Aktion aus der Vorrunde angewendet wird.

Es darf allerdings nicht der Fehler gemacht werden, daraus den Schluss zu ziehen, dass Tit-For-Tat über jede Strategie siegt. So hat sie z.B. gegen rein nicht-kooperative Strategien keine Chance zu gewinnen. Insgesamt kann sie, da sie immer mit Kooperation beginnt, gegen keine andere Strategie direkt gewinnen. Sie führt bestenfalls zu einem gleichen, ansonsten zu einem schlechteren Ergebnis, wobei die Verluste nicht hoch sind. Der Erfolg von Tit-For-Tat im Turnier ist darin begründet, dass diese Strategie gegen andere Programme antrat, die sich kooperativ zeigten. Insofern regt Tit-For-Tat andere Spieler zu kooperativem Verhalten an, sofern Kooperation in deren Handlungsspektrum vorgesehen ist.

3.2.4 Bedeutung für Agentensysteme

Betrachtet man nicht nur Multiagenten Systeme sondern generell Interaktionen im privaten, staatlichen, ökonomischen Kontext usw., so stellt sich die Frage, ob und wie Kooperation in einer Welt von eigennützig handelnden Individuen möglich ist. Diese Frage stellt den Ausgangspunkt für eine Reihe von Untersuchungen dar. Drei Aspekte stehen dabei im Mittelpunkt der Untersuchung. Erstens, wie kann Kooperation zwischen Egoisten überhaupt entstehen, wenn jedes Individuum einen Anreiz hat, sich egoistisch zu verhalten? Zweitens, welche kooperativen Strategien sind die Besten und wie setzen sie sich durch? Drittens, haben kooperative Strategien eine Chance zu überleben, d.h. können sie sich gegenüber nicht-kooperativen Strategien behaupten?

Betrachtet man das ursprüngliche Szenario des Gefangenendilemmas, könnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Kooperation keine rationale Handlungsweise ist. Besteht jedoch die Möglichkeit, dass die Spieler in fortlaufenden Interaktionen immer wieder zusammentreffen (iteriertes Gefangenendilemma), kann sich Kooperation entwickeln und ausbreiten. Eine Voraussetzung hierfür ist, dass die Chance des Wiedertreffens ausreichend hoch sein muss („Schatten der Zukunft“).

¹ Robert Axelrod ist ein US-amerikanischer Politikwissenschaftler. Er gilt als einer der bedeutendsten Vertreter der Rational Choice Theory. Axelrod besitzt einen Abschluss in Mathematik (1969) und er promovierte in Politikwissenschaft (1969) an der Yale University. Er arbeitete im Planungsstab des US-Verteidigungsministeriums und zeitweise bei der RAND Cooperation. Axelrod lehrte an den Universitäten Berkeley und Michigan. Er berät unter anderem die Vereinten Nationen, die Weltbank und das Pentagon. ... Axelrod ist besonders für seine interdisziplinär angelegten Konfliktanalysen bekannt. ... (entnommen [4])

Im Falle der Multiagenten Systeme wird das eigennützte Verhalten eines Agenten (= Programm) durch seine Präferenzen auf Basis von Nutzenfunktionen vorgegeben. Agenten sollen für ihren Auftraggeber bzw. Eigentümer das Bestmögliche herausholen. Am Beispiel des Gefangenendilemmas wird deutlich, welche Strategien als rational angesehen werden und welche Auswirkungen das Einhalten bzw. Nicht-Einhalten dieser Strategien haben. Insofern müssen die dem Agenten zugrunde liegenden Algorithmen mit diesen Szenarien umgehen können, sofern diese von nicht-kooperativer Art sind.

Eines sollte allerdings noch beachtet werden. Obwohl das Gefangenendilemma einen großen Teil der Literatur, und auch diesem Vortrag, beansprucht, gibt es durchaus weitere Szenarien bzgl. Interaktionen. Diese werden in den folgenden Kapiteln kurz angerissen.

3.3 Weitere Konfliktszenarien

Wie schon mit der Tabelle zu Beginn des Kapitels angedeutet, gibt es bzgl. symmetrischer $2 * 2$ Interaktionen insgesamt 24 mögliche Typen von Begegnungen. Ich deute weitere Beispiele nur vollständigheitshalber kurz an. Im Anhang können weiterführende Informationen nachgelesen werden.

3.3.1 Stag Hunt

Stag Hunt (Hirschjagd) ist ein weiteres Beispiel für ein soziales Dilemma. Der Name entstand aufgrund eines Szenarios, welches vom Schweizer Philosophen Jean-Jacques Rousseau entworfen wurde (Discourse on Inequality, 1775).

Die Geschichte, die hinter diesem Szenario steht, ist folgende:

Zwei Jäger jagen einen Hirsch. Um den Hirsch zu erlegen, ist allerdings die Kooperation beider Jäger unbedingt erforderlich. Mit diesem Hirsch können die Jäger ihr gesamtes Dorf ernähren. Beiden Jägern steht jeweils zusätzlich die Alternative zur Verfügung, von der Hirschjagd abzusehen und alleine einen viel einfacher zu jagenden Hasen zu erlegen. Dieser reicht jedoch nur für die Ernährung der Familie des entsprechenden Jägers.

Die Interpretation dieses Szenarios wird im Anhang erläutert.

3.3.2 Game of Chicken

Die Charakterisierung dieses Spiels geht zurück auf den Film "Denn sie wissen nicht, was sie tun" mit James Dean. In diesem Film stiehlt eine Jugendgang Autos und spielt damit folgendes Spiel. Jeder Fahrer sitzt allein im Auto und fährt auf ein Kliff zu. Derjenige Fahrer, der zuerst aus dem auf das Kliff zufahrende Auto springt und das Auto allein das Kliff hinunterstürzen lässt, ist der Angsthase (chicken). Derjenige, der zuletzt aus dem Auto springt, ist der Held, der sich damit die Wertschätzung durch die Gang und die Zuneigung eines begehrten weiblichen Mitglieds der Gang erwirbt. Wer allerdings zu spät aus dem Auto springt, stürzt mit diesem über das Kliff in den sicheren Tod.

Die Interpretation dieses Szenarios wird im Anhang erläutert.

3.3.3 Battle of Sexes

In diesem Spiel geht es um die Abendgestaltung für das Wochenende. Petra (Spieler i) möchte in die Oper und Andreas (Spieler j) ist dafür, zum Boxkampf zu gehen. Nun ist es aber so, dass Petra Boxen nicht mag und Andreas nichts von der Oper hält. Beide möchten aber den Abend gemeinsam verbringen. Alleine etwas zu unternehmen stellt für beide also die schlechtest mögliche Alternative dar.

4 Erreichen von Vereinbarungen

4.1 Problemstellung und Voraussetzungen

Kommen wir in diesem Kapitel zur Fragestellung, wie Vereinbarungen im Umfeld eigennütziger Agenten getroffen werden können. Dieses Thema ist mit dem Begriff der Kooperation verknüpft. Im vorigen Kapitel ging es um Szenarien, in denen der Nutzengewinn (Profit) des einen Agenten auf Kosten seines Gegenspielers ging. Bei extremsten Fällen handelt es sich um die sog. Nullsummen Spiele bzw. Begegnungen. Im Allgemeinen haben wir es aber nicht mit derart extrem ausgeprägten Szenarien zu tun. Die meisten realen Begegnungen beinhalten das Potenzial, beiderseitig vorteilhafte Vereinbarungen zu treffen. Es ist hierfür allerdings erforderlich, dass sowohl Kooperationsbereitschaft als auch ein Mindestmaß an gemeinsamen Interessen bei allen beteiligten Parteien vorhanden sind. Bezogen auf Multiagenten Systeme bedeutet dies, dass alle beteiligten Agenten in der Lage sein müssen, beiderseitig nützliche Vereinbarungen zuzulassen.

Allgemein lassen sich zwei Voraussetzungen für das Erreichen von Vereinbarungen identifizieren:

- Ein Protokoll definiert die Regeln, wie die Begegnung und das Aushandeln einer Vereinbarung ablaufen sollen.
- Design einer Strategie, die ein Agent während der Verhandlung anwendet. Diese Strategie hat den maximalen Erfolg für den Agenten zum Ziel. Nachfolgend sollen drei Mechanismen für die Erreichung von Vereinbarungen vorgestellt werden: die Auktion, die Vereinbarung und die Argumentation. Während ich im Rahmen der Auktionen und Argumentation nur auf das Protokoll eingehen werde, zeige ich für die Vereinbarungen die Grundlagen für den das? mögliche Design einer Strategie auf.

4.2 Auktionen

4.2.1 Allgemeines

Auktionen waren bis vor einiger Zeit kaum (klingt so englisch) im Alltagsleben verbreitet. Diese Art des Handelns blieb größtenteils Auktionshäusern vorbehalten, in denen eher Kunst- und Sammelobjekte versteigert wurden. Weil das Internet (speziell Web und Mail) immer mehr das Alltagsleben durchdrang, war es möglich, Auktionen in größerem Maßstab und zu geringeren Kosten bereitzustellen. Das derzeit bekannteste (aber nicht unbedingt das erste) Beispiel hierfür ist das virtuelle Auktionshaus Ebay.

Bezogen auf Multiagenten Systeme, findet eine Auktion zwischen einem Agenten, dem Auktionator und einer Menge von Agenten, den Bieter statt. Gegenstand der Auktion ist die Veräußerung eines Gutes. Das Ziel einer Auktion besteht darin, dass der Auktionator dieses Gut einem der Bieter zuteilt. Im Allgemeinen möchte der Auktionator das Gut zu einem maximal möglichen Preis verkaufen, während die Bieter den zu bezahlenden Preis minimieren möchten.

4.2.2 Protokoll

Das Protokoll der Auktionen wird durch drei Einflussgrößen (Dimensionen) bestimmt:

Bestimmung des Gewinners	<i>First-Price Auktionen</i>	Sieger der Auktion ist derjenige mit dem Höchstgebot. Er bezahlt auch diesen gebotenen Preis.
	<i>Second-Price Auktionen</i>	Sieger der Auktion ist derjenige mit dem Höchstgebot. Er bezahlt aber nur den Betrag des zweithöchsten Gebotes.
Kenntnis der Gebote	<i>Open Cry Auktionen</i>	Jeder Agent kennt die Gebote der anderen Bieter.
	<i>Sealed-Bid Auktionen</i>	Die Agenten kennen nicht die Gebote der anderen Bieter.
Biet-Mechanismus	<i>One Shot Auktionen</i>	Es findet nur eine einzige Bierrunde statt.
	<i>Ascending Auktionen</i>	Die Auktion startet bei einem niedrigen Preis. Sukzessive Erhöhung der Gebote pro Runde.
	<i>Descending Auktionen</i>	Die Auktion startet bei einem hohen Preis. Sukzessive Verringerung des Preises pro Runde.

Weitere Informationen zu Auktionen finden sich im Anhand.

4.3 Verhandlungen

4.3.1 Formale Grundlagen und Zielstellung

Der Mechanismus der Verhandlungen stellt eine allgemeine Form der Aushandlung von Übereinkünften da. Er geht über die Möglichkeiten von Auktionen als Mittel der Veräußerung von Gütern hinaus. Im Rahmen dieses Themenkomplexes wird auf einige Techniken der Verhandlung eingegangen. Diese wurden von Rosenschein und Zlotkin¹ vorgeschlagen. Ein Beitrag ihrer Arbeit war die Einführung der Unterscheidung nach verschiedenen Typen von Verhandlungsdomänen, wert-orientiert und task-orientiert. Bevor auf diese näher eingegangen wird, sollen noch einige formale Grundlagen beschrieben werden.

Allgemein gesehen bestehen Verhandlungen aus vier verschiedenen Komponenten:

- **Verhandlungsspielraum (negotiation set).** Er repräsentiert die Menge der in einer Verhandlung möglichen Vorschläge.
- **Protokoll.** Das Protokoll legt fest, welche Vorschläge für einen Agenten erlaubt sind. Es ist als Funktion auf den Verhandlungsverlauf definiert.
- **Sammlung von Strategien.** Sie bestimmt, welche Vorschläge jeweils ein Agent unterbreiten kann. Diese Strategien sind nur dem Agenten selber bekannt. Für die anderen beteiligten Agenten muss nicht erkennbar sein, welche Strategie er verfolgt.
- **Erkennen einer Vereinbarung.** Es muss eine Regel geben, anhand derer erkannt wird, wann ein Deal bzw. eine Vereinbarung erreicht wurde und worin diese Vereinbarung besteht.

Verhandlungen gehen normalerweise über mehrere Runden, in denen jeder Agent jeweils einen Vorschlag unterbreitet. Die Vorschläge werden auf Basis der von den Agenten verfolgten Strategien vorgenommen. Mit Erreichen einer Vereinbarung endet die Verhandlung. Der daraus resultierende Deal legt die Inhalte der Vereinbarung fest.

Schließlich sind die Verhandlungen danach zu differenzieren, ob nur ein Attribut oder mehrere Attribute verhandelt werden. Ein Beispiel für mehrere Attribute kann der Kauf eines Computers sein, in dem nicht nur der Preis verhandelt wird, sondern ggf. noch über zusätzlich beigelegte Software, erweiterte Garantieleistungen usw. Die Menge der möglichen Vereinbarungen steigt mit der Anzahl der Verhandlungsgegenstände (Attribute). Dazu sind die möglichen Ausprägungen der Verhandlungsattribute mit zu berücksichtigen:

2^n mögliche Deals; n ist die Anzahl der zu verhandelnden booleschen Attribute

m^n mögliche Deals; m ist die Anzahl der möglichen Werte eines Attributes,
 n ist die Anzahl der Attribute

In manchen Verhandlungssituationen kommt noch die Fragestellung hinzu, welches überhaupt die zu verhandelnden Punkte sind.

¹ Rosenschein, Jeffrey S. und Zlotkin, Gilad (1994). Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated negotiation among computers. MIT Press, Cambridge, MA.

Neben der Anzahl Attribute mit ihren Ausprägungen stellt die Anzahl der beteiligten Agenten eine weitere Quelle der Komplexität dar. Unterschieden wird nach 1:1, m:1 und m:n – Verhandlungen.

4.3.2 Verhandlungsdomänen

4.3.2.1 Task-orientierte Domänen

4.3.2.1.1 Formale Beschreibung

Eine Task-orientierte Domäne ist ein Tripel

$\langle T, Ag, c \rangle$

T ist eine endliche Menge möglicher Tasks (Aufgaben)

$Ag = \{1, \dots, n\}$ ist eine endliche Menge beteiligter Agenten

$c: 2^T \rightarrow \mathbb{R}^+$ ist eine Funktion, welche die Kosten jeder Teilmenge von Aufgaben definiert

Die Kostenfunktion muss zwei Bedingungen genügen. Die Kosten für das „Nichtstun“ sind Null und die Funktion muss die Eigenschaft der Monotonie aufweisen. Die zweite Eigenschaft heißt intuitiv gesehen nichts anderes, als dass das Hinzufügen eines Tasks niemals zu einer Verringerung der Kosten führt.

Beispiel:

Peter muss jeden Morgen seine zwei Kinder zu zwei verschiedenen Schulen fahren. Sein Nachbar Michael hat drei Kinder, die ebenfalls zu zwei verschiedenen Schulen gefahren werden müssen. Beide könnten jetzt darüber verhandeln, ob es besser wäre, wenn sie sich zusammentun würden, um die Fahrten zu optimieren. Gingen z.B. ein Kind von Peter und ein Kind von Michael gemeinsam auf eine Schule, könnte man dies durch eine Autofahrt vornehmen, anstatt dass jeder von ihnen getrennt sein Kind zu dieser Schule bringt.

$T = \{\text{Kind1}_{\text{Peter}} \rightarrow \text{Schule1}, \text{Kind2}_{\text{Peter}} \rightarrow \text{Schule2}, \text{Kind1}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule1}, \text{Kind2}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule3}, \text{Kind3}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule3}\}$

$Ag = \{1, 2\}$, wobei Peter durch 1 und Michael durch 2 repräsentiert wird

$c: 2^T \rightarrow \mathbb{R}^+$, $c :=$ gefahrene Kilometer

Es besteht kein Zwang, zu einer Einigung zu kommen. Schlimmstenfalls fahren Peter und Michael ihre Kinder weiterhin jeder für sich zur Schule.

Ein sog. Encounter (Begegnung) tritt auf, wenn Agenten Tasks aus der Menge T zugeordnet werden. Dies entspricht der Ausgangssituation einer Verhandlung. Jeder Agent hat bestimmte Tasks auszuführen. Angewendet auf das Beispiel von oben heißt es, dass Peter seine beiden Kinder zu den Schulen 1 sowie 2 und Michael seine Kinder zu den Schulen 1 und 3 fährt. Formal ist ein Encounter wie folgt definiert:

$\langle T_1, \dots, T_n \rangle$

$T_i \subseteq T$ und

$i \in Ag$, d.h. jedem Agenten i ist eine Teilmenge T_i der möglichen Tasks zugeordnet.

Beispiel:

$T_1 = \{\text{Kind1}_{\text{Peter}} \rightarrow \text{Schule1}, \text{Kind2}_{\text{Peter}} \rightarrow \text{Schule2}\}$

$$T_2 = \{\text{Kind1}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule1}, \text{Kind2}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule3}, \text{Kind3}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule3}\}$$
$$c(T_1) = 13 \text{ Kilometer}$$
$$c(T_2) = 17 \text{ Kilometer}$$

Im Rahmen der weiteren Betrachtung werde ich mich auf Verhandlungen zwischen zwei Agenten beschränken.

Es kann intuitiv davon ausgegangen werden, dass die Möglichkeit eines Deals zwischen den beteiligten Agenten gegeben ist. Dieser Deal besteht in einer neuen Zuordnung von Aufgaben, so dass jeder Agent einen Nutzen gegenüber der Ausgangssituation zieht. Formal ist der Deal wie folgt dazustellen:

Encounter $\langle T_1, T_2 \rangle$

Deal $\delta = \langle D_1, D_2 \rangle$ mit $D_1 \cup D_2 = T_1 \cup T_2$

Beispiel:

$D_1 = \{\text{Kind1}_{\text{Peter}} \rightarrow \text{Schule1}, \text{Kind1}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule1}\}$

$D_2 = \{\text{Kind2}_{\text{Peter}} \rightarrow \text{Schule2}, \text{Kind2}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule3}, \text{Kind3}_{\text{Michael}} \rightarrow \text{Schule3}\}$

D.h. Peter fährt sein eines Kind sowie ein Kind von Michael zur Schule 1. Michael fährt das zweite Kind von Peter und seine beiden restlichen Kinder zu den Schulen 2 und 3.

Um den Nutzensgewinn eines Deals gegenüber der Ausgangssituation beurteilen zu können, müssen den Deals Kosten zugeordnet werden können:

Kosten des Agenten 1 für den Deal $\delta = \langle D_1, D_2 \rangle$:
 $\text{cost}_1(\delta) := c(D_1)$

Kosten des Agenten 2 für den Deal $\delta = \langle D_1, D_2 \rangle$:
 $\text{cost}_2(\delta) := c(D_2)$

Beispiel:

$\text{cost}_1(\delta) := c(D_1) = 7 \text{ Kilometer}$

$\text{cost}_2(\delta) := c(D_2) = 12 \text{ Kilometer}$

Der Nutzen eines Deals kann jetzt als Differenz der Kosten der Ausgangssituation zu den Kosten des Deals definiert werden. Die Ausgangssituation, also die Tasks, die den Agenten ursprünglich zugeordnet waren, wird auch Konfliktdeal genannt.

Nutzen Agenten 1 für den Deal $\delta = \langle D_1, D_2 \rangle$:
 $\text{utility}_1(\delta) := c(T_1) - \text{cost}_1(\delta)$

Nutzen Agenten 2 für den Deal $\delta = \langle D_1, D_2 \rangle$:
 $\text{utility}_2(\delta) := c(T_2) - \text{cost}_2(\delta)$

Beispiel:

$\text{utility}_1(\delta) = 13 - 7 = 6 \text{ Kilometer}$

$\text{utility}_2(\delta) = 17 - 12 = 5 \text{ Kilometer}$

Der Nutzen stellt also den Gewinn eines Deals gegenüber der Ausgangssituation dar. Ist der Nutzen negativ, steht ein Agent mit dem Deal schlechter da, als wenn er die ursprünglichen Tasks ausführt. Kommt kein Deal zustande (= Konflikt, daher der Name Konfliktdeal), führen die Agenten ihre ursprünglich zugeordneten Tasks aus.

4.3.2.1.2 Dominanz

Nachdem die formalen Grundlagen geklärt wurden, kann jetzt auf die Dominanz von Deals eingegangen werden. Ein Deal δ_1 dominiert einen Deal δ_2 ($\delta_1 > \delta_2$), gdw. folgende zwei Bedingungen erfüllt sind:

$$(1) \forall i \in \{1, 2\}, \text{utility}_i(\delta_1) \geq \text{utility}_i(\delta_2)$$

Deal δ_1 ist für jeden Agenten mindestens genauso gut wie Deal δ_2

$$(2) \exists i \in \{1, 2\}, \text{utility}_i(\delta_1) > \text{utility}_i(\delta_2)$$

Deal δ_1 ist für mindestens einen Agenten besser als Deal δ_2

Abbildung 4-1 zeigt die schematische Darstellung der möglichen Deals in einer Verhandlung. Die Menge aller möglichen Deals wird vom Kreis incl. seines Rands dargestellt. Diese Form wurde nur der einfacheren und übersichtlicheren Präsentation wegen gewählt. Der Verhandlungsspielraum kann durchaus auch andere, nicht-symmetrische Formen annehmen.

Die Gerade durch die Punkte A und C symbolisiert den Nutzen des Konfliktdeals für Agent i. Die Gerade durch die Punkte B und D stellt den Nutzen des Konfliktdeals für Agent j dar. Der Punkt E repräsentiert den Konfliktdeal im Verhandlungsspielraum.

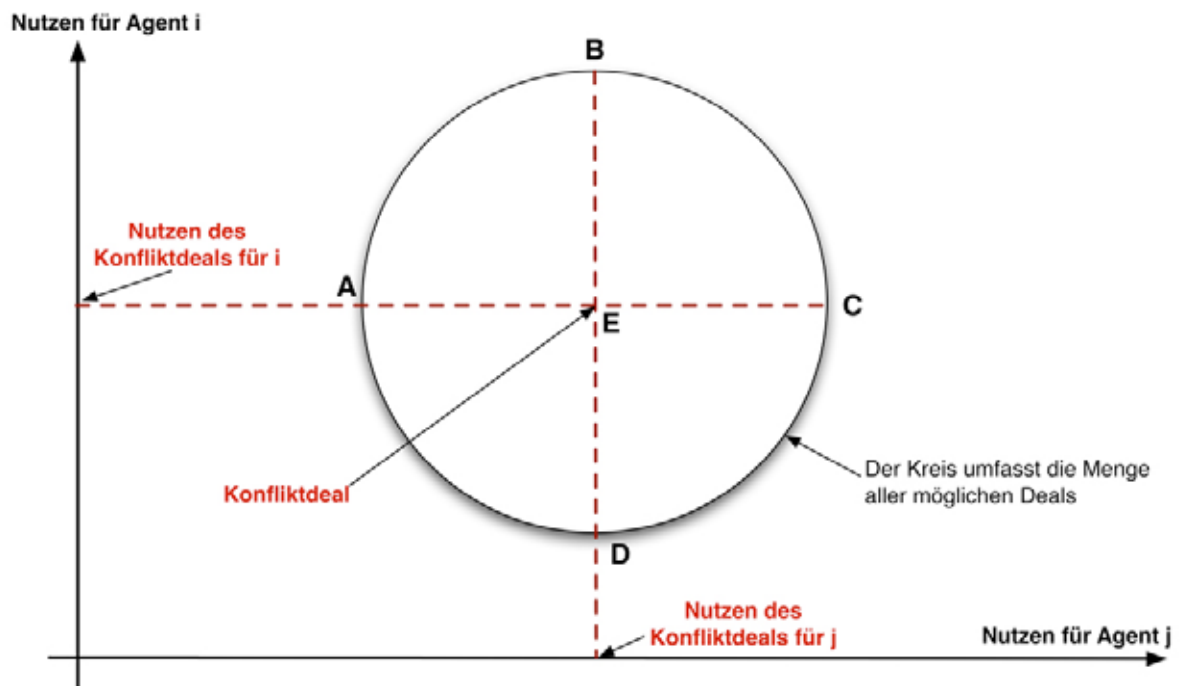


Abbildung 4-1

Abbildung 4-2 und **Abbildung 4-3** zeigen durch die roten Flächen, welche Deals von vornherein ausscheiden. Im Falle von **Abbildung 4-2** sind dies alle Deals für Agent i, die unter der Geraden durch A und C liegen. Für die **Abbildung 4-3** sind dies die Deals für Agent j, die links von der Geraden durch B und D liegen. Der Grund dafür ist einsichtig: Ihr Nutzen ist kleiner als der vom Konfliktdeal. Deshalb brauchen sie als Vorschläge für die Verhandlung gar nicht erst in Betracht gezogen werden.

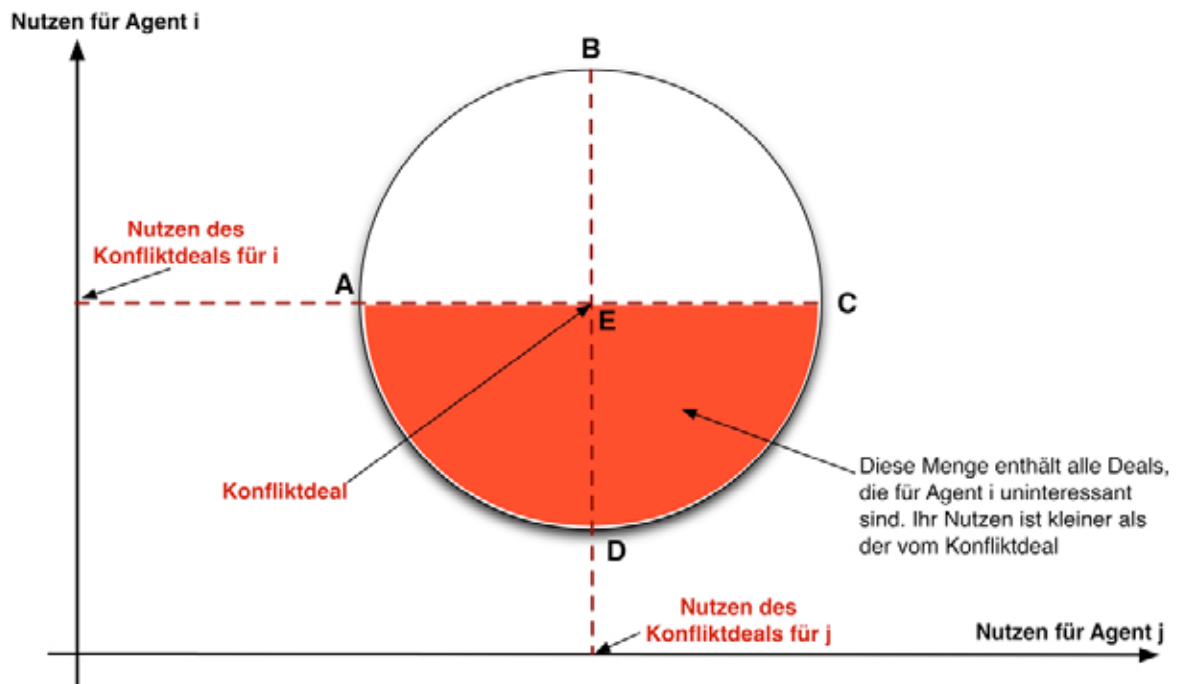


Abbildung 4-2

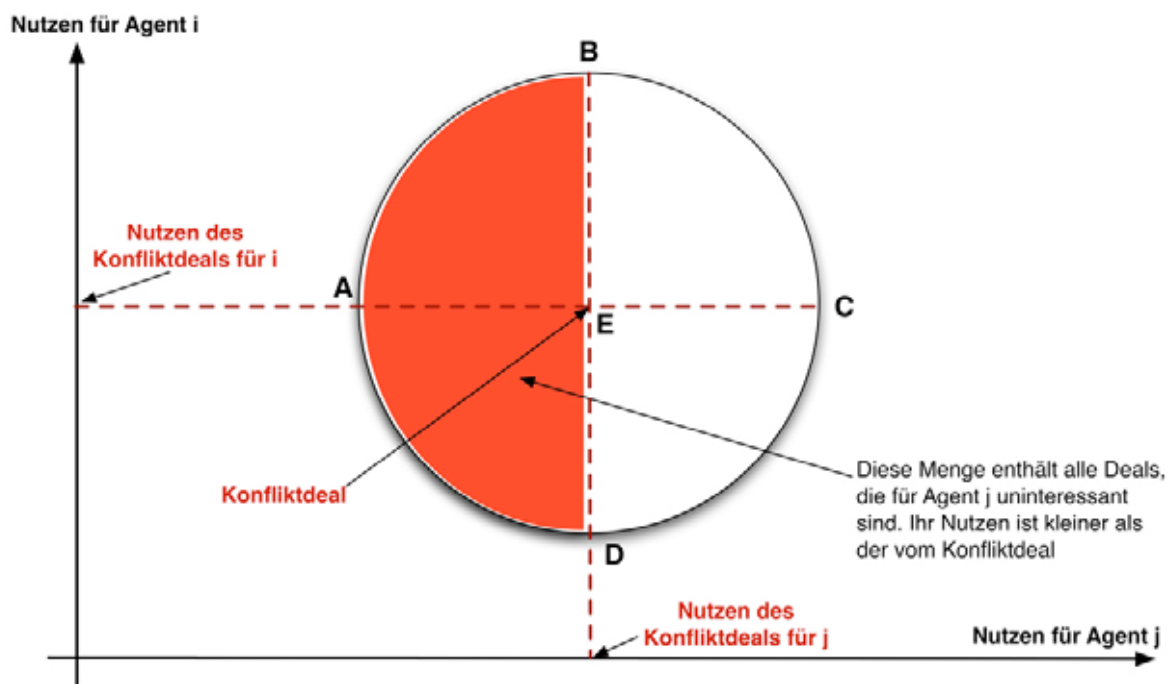


Abbildung 4-3

Ein Deal δ gilt als pareto optimal, wenn es keinen alternativen Deal gibt, der das Ergebnis für einen Agenten verbessern könnte, ohne gleichzeitig das Ergebnis der anderen Agenten zu verschlechtern.

Ein Deal heißt individuell rational, wenn er den Konfliktdeal schwach dominiert. D.h. also, dass ein Deal δ nicht individuell rational ist, wenn der Konfliktdeal von mindestens einem Agenten diesem Deal δ vorgezogen wird.

Insgesamt lässt sich daraus ableiten, dass die Verhandlungsmenge¹ eines Agenten zwei Bedingungen genügen muss. Die vorgeschlagenen Deals müssen individuell rational und pareto optimal sein. Dies ist in **Abbildung 4-4** angedeutet. Die grüne Fläche beinhaltet alle Deals, die sowohl für Agent i als auch Agent j einen größeren Nutzen als der Konfliktdeal haben. Sie sind individuell rational, da sie den Konfliktdeal schwach dominieren. Allerdings sind nur die Deals auf der begrenzenden Kreislinie zwischen den Punkten B und C pareto optimal. Der Punkt X beispielsweise ist nicht pareto optimal. Agent i kann einen weiteren Deal (Punkt Y) vorschlagen, der für ihn einen größeren Nutzen bringt, ohne dass Agent j seinen Nutzen aus X einbüßt.

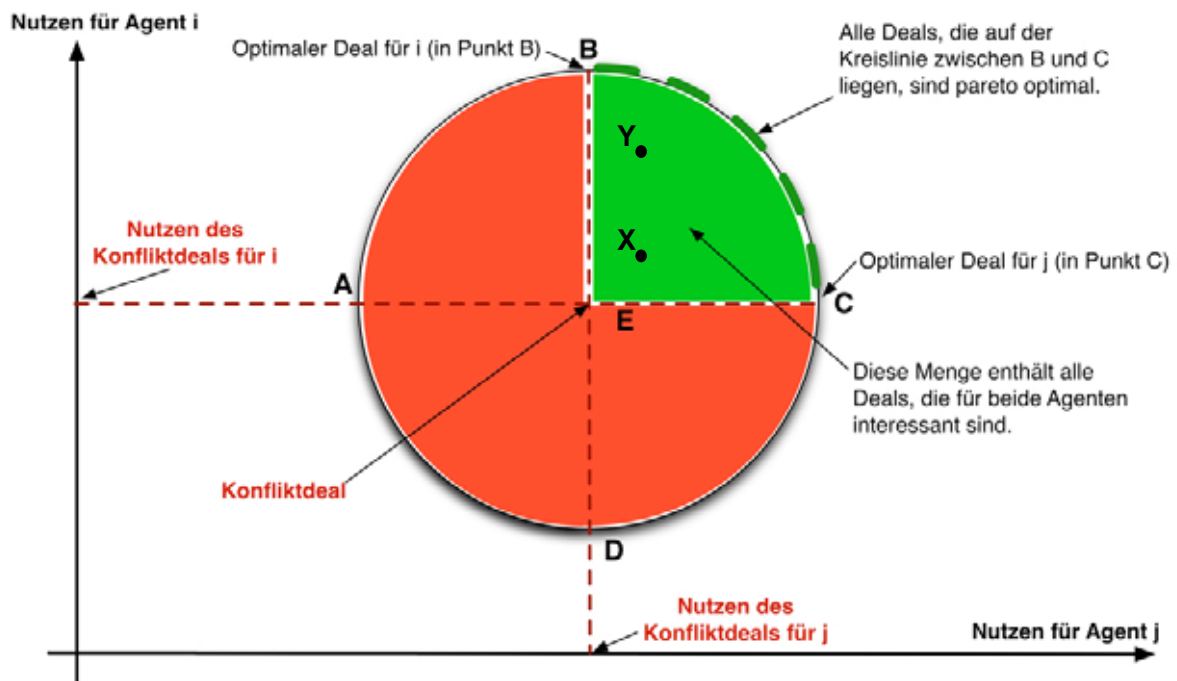


Abbildung 4-4

4.3.2.1.3 Protokoll

Das hier vorzustellende Protokoll für task-orientierte Domänen ist bekannt als „monotonic concession protocol“ (concession: Zugeständnis). Die Regeln dieses Protokolls sehen vor, dass die Verhandlung sich über eine vorher nicht festgelegte Anzahl von Runden erstreckt. In der ersten Runde schlagen beide Agenten simultan einen Deal aus ihrer jeweiligen Verhandlungsmenge vor. Eine Vereinbarung wird erreicht, wenn einer der beiden Agenten den vom anderen Agenten angebotenen Deal als mindestens so gut einschätzt, wie seinen eigenen Deal, formal:

$$utility_1(\delta_2) \geq utility_1(\delta_1) \text{ oder } utility_2(\delta_1) \geq utility_2(\delta_2)$$

Bezogen auf **Abbildung 4-4** im vorigen Kapitel bedeutet es, dass beide Agenten idealerweise bei ihren optimalen Deals beginnen, d.h. Agent i beginnt im Punkt B und Agent (j?) im Punkt C. Die im weiteren Verlauf vorgeschlagenen Deals bewegen sich dann auf der Kreislinie aufeinander zu. Die Vorschläge von Agent i sollten sich also in Richtung Punkt C und die Vorschläge von Agent j in Richtung Punkt B bewegen.

¹ Menge der möglichen Vorschläge, die ein Agent während der Verhandlung unterbreiten kann

Im Falle einer Vereinbarung muss geprüft werden, welche Agenten das jeweils andere Angebot besser als ihr eigenes einschätzen. Wenn beide Agenten das jeweils andere Angebot als gleich gut oder besser als ihr eigenes einschätzen, wird einer der beiden Deals per Zufall ausgewählt. Dieser Deal stellt dann die Vereinbarung dar. Im anderen Fall, wenn nur ein Agent den anderen Vorschlag gleich gut oder besser als seinen eigenen Vorschlag hält, gilt dieser andere Vorschlag als vereinbarter Deal.

Wenn in der aktuellen Runde keine Vereinbarung erreicht wurde, fährt man fort, indem beide Agenten simultan jeweils ein neues Angebot abgeben. Die Bedingung für diese neue Runde ist, dass keiner der Agenten einen Vorschlag unterbreiten darf, der vom anderen Agenten schlechter als dessen unterbreitete Vorschlag der Vorrunde bewertet wird.

Eine Verhandlung gilt als gescheitert, wenn keiner der Agenten in einer Runde mehr zu einem Zugeständnis bereit ist. In diesem Fall kommt dann der Konfliktdeal zum Einsatz.

Ein Vorteil dieses Protokolls liegt in seiner Transparenz. Die beteiligten Parteien können leicht die Einhaltung des Protokolls kontrollieren. Darüber hinaus ist gewährleistet, dass die Verhandlung nach einer endlichen Anzahl von Runden zu einem Ergebnis kommt. Entweder beenden die beteiligten Parteien die Verhandlung mit einer Vereinbarung oder der Konfliktdeal kommt zum Einsatz. Das Protokoll garantiert allerdings keine obere Grenze für die Laufzeit. Im Gegenteil, die Größenordnung kann sich im Rahmen $O(2^{\text{Mächtigkeit}(T)})$ bewegen.

4.3.2.1.4 Strategie

Nachdem nun das Protokoll festgelegt ist, muss noch geklärt werden, wie sich die Agenten im Rahmen des monotonic concession protocol verhalten sollen. Einen Ansatz liefert die sog. Zeuthen Strategie. Die Idee dieser Strategie ist die Messung der Bereitschaft der Agenten, den Konfliktdeal zu riskieren. Intuitiv kann der Ansatz damit begründet werden, dass bei geringerer Differenz zwischen dem Nutzen des aktuellen Vorschlages und dem Konfliktdeal, die Bereitschaft des Agenten zum Konflikt größer ist, d.h. je größer der Nutzengewinn aus dem Vorschlag zum Konfliktdeal ist, umso mehr hat der Agent zu verlieren, wenn es zum Konflikt kommt. Formal kann dies wie folgt ausgedrückt werden:

$$risk_i^t = \begin{cases} 1, & \text{wenn } utility_i(\delta_i^t) = 0 \\ \frac{utility_i(\delta_i^t) - utility_i(\delta_j^t)}{utility_i(\delta_i^t)}, & \text{sonst} \end{cases}$$

$risk_i^t$: Risikowert des Agenten i in Runde t

$utility_i(\delta_i^t)$: Nutzen des eigenen Vorschlages gegenüber dem Konfliktdeal

$utility_i(\delta_j^t)$: Nutzen des vom anderen Agenten vorgeschlagenen Deals gegenüber dem Konfliktdeal

Das Risiko (risk) kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen, da der Nutzen des eigenen Vorschlages immer größer oder gleich dem Nutzen des vom anderen Agenten vorgeschlagenen Deals ist. Höhere Werte bedeuten ein geringeres Risiko, d.h. der Agent hat gegenüber dem Konfliktdeal weniger zu verlieren. Ein Risikowert von 1 bedeutet, dass der eigene Vorschlag keinen Nutzengewinn gegenüber dem Konfliktdeal bringt. Der Agent würde in diesem Fall zu keinem Zugeständnis bereit sein. Geringere Werte deuten also darauf hin, dass der Agent im Konfliktfall mehr zu verlieren hat.

Gemäß der Zeuthen Strategie hat derjenige Agent in Runde t ein Zugeständnis zu machen, der den geringeren Risikowert aufweist, d.h. am meisten durch einen Konflikt zu verlieren hat. Für den Fall, dass beide Agenten den gleichen Risikowert aufweisen, empfiehlt es

sich, durch eine Regelung festzulegen, welcher der beiden Agenten in der aktuellen Runde das Zugeständnis zu machen hat.

Abschließend soll die Zeuthen Strategie kurz bewertet werden. Zuerst ist festzuhalten, dass das Protokoll keinen Verhandlungserfolg garantiert. Im Konfliktfall führen die Agenten ihre ursprünglichen Aufgaben (Konfliktdeal) aus. Das Protokoll garantiert eine endliche Verhandlungsdauer und rationales Handeln, da eine Vereinbarung für beide Agenten günstiger ist, als wenn diese ihre ursprünglichen Aufgaben ausführen müssten. Die Zeuthen Strategie befindet sich im Nash Gleichgewicht. Unter der Annahme, dass ein Agent diese Strategie verwendet, kann der andere Agent nicht besser handeln, als ebenfalls diese Strategie zu verwenden.

4.3.2.2 Wert-orientierte Domänen

In task-orientierten Domänen werden die Aufgaben explizit definiert und jedem Agenten eine (Teil-) Menge dieser Aufgaben zugeordnet. Man könnte also sagen, dass dies dem Ansatz entspricht, dass jeder Agent eine Menge von vorgegebenen Programmen innehat, die er ausführen kann. In task-orientierten Domänen verhandeln die Agenten darüber, wer welche Aufgaben auszuführen hat. Wert-orientierte Domänen verfolgen einen allgemeineren Ansatz. In ihnen werden die Ziele als Wertfunktionen zu den einzelnen Zuständen einer Umgebung definiert. Das Ziel eines Agenten ist es, den Zustand mit dem größten Wert zu erreichen. Die Agenten verhandeln in wert-orientierten Domänen nicht nur über den gewünschten Endzustand, sondern auch darüber, wie dieser Zustand erreicht werden soll.

Um dies zu erreichen, steht den beteiligten Agenten eine Menge von Plänen zur Verfügung. Die Pläne überführen jeweils einen Zustand der Umgebung in einen anderen. Um eine Vereinbarung zwischen den Agenten zu erreichen, müssen diese die auszuführenden Pläne verhandeln. Das Ergebnis ist dann eine Kollektion von Plänen, die einen Endzustand erwirken, welcher für jeden Agenten den für ihn größtmöglichen Wert darstellt.

Bewegt sich ein Agent alleine in einer Umgebung, kann er ggf. nicht alle zur Verfügung stehenden Pläne ausführen, um das absolute Maximum an Nutzen in dieser Umgebung herauszuholen. Er kann nur auf Pläne zurückgreifen, die er alleine ausführen kann. Insofern ist sein Ziel, den Plan j_{opt}^{single} auszuführen, den er alleine bewältigen kann, und der ihm den bestmöglichen Zustand in diesem Szenario garantiert. In einem Multiagenten System hingegen kann er von der Präsenz weiterer Agenten profitieren, indem er versucht, andere Agenten dazu zu bringen, sich an der Ausführung von Plänen zu beteiligen, deren Nutzen größer als der von j_{opt}^{single} ist. Stellt j_{opt}^{single} allerdings schon das absolute Maximum an Nutzen für den Agenten in dieser Umgebung dar, ergibt sich für den Agenten nicht die Notwendigkeit der Verhandlung mit anderen Agenten. Er kann sich durch Kooperation nicht verbessern, so dass es nicht rational für ihn wäre, andere Pläne auszuführen.

Verhandlungen zwischen Agenten können aber auch dann notwendig werden, wenn verschiedene Pläne der Agenten sich gegenseitig behindern oder in Konflikt geraten. Ein Beispiel hierfür liefert der Alltag: für morgen habe ich geplant, mit dem Auto einen Freund auf dem Lande zu besuchen. Meine Frau allerdings benötigt das Auto morgen, um ihre Mutter zu besuchen. Beide Pläne können nicht gemeinsam erfolgreich ausgeführt werden, so dass beide beteiligten Parteien versuchen müssen, sich irgendwie zu einigen.

4.4 Argumentation

4.4.1 Zielstellung

Die bisher vorgestellten, auf der Spieltheorie basierenden Ansätze (Auktionen, Verhandlungen), weisen einige Nachteile auf. Einer davon ist die Tatsache, dass die erreichten Vereinbarungen nicht weiter erläutert bzw. gerechtfertigt werden. Die „Auftraggeber“ wollen aber nachvollziehen können, wie es zu den Abmachungen gekommen ist. Sie müssen den Entscheidungen des Agenten vertrauen können. Dies geht nur, wenn der Agent verständlich erklärt, warum er die Entscheidungen so und nicht anders getroffen hat.

Des Weiteren wurde die Möglichkeit vernachlässigt, dass sich die Präferenzen eines Agenten während einer Verhandlung ändern können. Möchte ich beispielsweise ein Auto kaufen, kann eine meiner Vorlieben sein, dass im Auto unbedingt ein elektrisch zu bedienendes Sonnendach eingebaut sein muss. Lese ich aber während meines Auswahlprozesses in einer Autozeitschrift, dass diese Art von Sonnendächern unzuverlässig arbeitet und nicht regendicht ist, könnte diese Information meine Präferenzen entscheidend ändern.

Diese zwei Nachteile führten zur neuen Überlegung einer argumentativen Verhandlung. Vereinfacht gesagt geht es darum, dass ein Agent versucht, andere Agenten von der Richtigkeit (Wahrheit) bzw. Falschheit (Irrtum) eines Sachverhaltes zu überzeugen. Der Prozess der Argumentation besteht darin, dass die Agenten Argumente für oder gegen die Vorschläge anbringen zusammen mit den entsprechenden Rechtfertigungen.

Der Mechanismus der Argumentation basiert auf der klassischen Logik, d.h. der Deduktion und wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

4.4.2 Logikbasierte Argumentation

In der klassischen Logik ist ein Argument eine Folge von Begründungen auf Basis von Regeln und Prämissen (Menge Δ), die in eine Schlussfolgerung φ münden:

$$\Delta \vdash \varphi$$

Sei beispielsweise Δ_1 eine Datenbank von Voraussetzungen, bestehend aus folgenden Fakten (die nicht bewiesen werden müssen) und Regeln (Implikationen), in Prolog-ähnlicher Notation:

menschlich<Heracles>.	<i>Herakles ist ein Mensch</i>
vater<Heracles, Zeus>.	<i>Zeus ist der Vater von Herakles</i>
vater<Apollo, Zeus>.	<i>Zeus ist der Vater von Apollo</i>
göttlich<X> => \neg sterblich<X>	<i>Wenn X ist göttlich ist, ist X unsterblich</i>
menschlich<X> => sterblich<X>	<i>X ist sterblich, wenn X ein Mensch ist</i>
vater<X, Zeus> => göttlich<X>	<i>X ist göttlich, wenn Zeus Vater von X ist</i>
\neg (vater<X, Zeus> => göttlich<X>)	<i>Zeus ist Vater von X und X ist nicht göttlich</i>

Nun können wir das Argument Arg_1 für die Aussage „Herakles ist sterblich“ aufbauen:

(sterblich<Herakles>, {menschlich<Herakles>, menschlich<x> => sterblich<X>})

sterblich<Herakles>: Repräsentation der Aussage „Herakles ist sterblich“

menschlich<Herakles> und

menschlich<x> => menschlich<X>: Begründungen für die Aussage

Arg₁ kann widerlegt werden, d.h. der Widerspruch lautet „Herakles ist unsterblich“. Der Widerspruch Arg₂ ist formal wie folgt zu formulieren:

$$(\neg \text{sterblich}\langle \text{Heracles} \rangle, \{ \text{vater}\langle \text{Heracles}, \text{Zeus} \rangle, \text{vater}\langle X, \text{Zeux} \rangle \Rightarrow \text{göttlich}\langle X \rangle, \\ \text{göttlich}\langle X \rangle \Rightarrow \neg \text{sterblich}\langle X \rangle \})$$

Die zweite Begründung des Argumentes Arg₂ kann durch Arg₃ entkräftet werden, so dass insgesamt Arg₂ ungültig wird:

$$(\neg(\text{vater}\langle X, \text{Zeus} \rangle \Rightarrow \text{göttlich}\langle X \rangle), \{ \neg(\text{vater}\langle X, \text{Zeus} \rangle \Rightarrow \text{göttlich}\langle X \rangle) \})$$

Es muss allerdings beachtet werden, dass die Aussage von Arg₂ (Herakles ist unsterblich) wieder „wahr gemacht“ werden kann, indem die entkräftete Begründung „ $\text{vater}\langle X, \text{Zeux} \rangle \Rightarrow \text{göttlich}\langle X \rangle$ “ durch eine andere Begründung ersetzt wird.

Insgesamt muss die Problematik geklärt werden, welche Argumente ein Agent anwenden soll. Intuitiv gibt es Argumente, welche eher akzeptiert werden als andere. Es lassen sich fünf Klassen von Argumenten unterscheiden, die eine Hierarchie der Akzeptanz darstellen:

- Die Klasse A₁ aller Argumente, die auf Basis der Menge Δ von Fakten und Regeln gebildet werden können.
- Die Klasse A₂ aller nicht-trivialen Argumente auf Basis von Δ. Ein Argument gilt als nicht-trivial, wenn dessen Begründung konsistent ist, d.h. die Bestandteile der Begründung widersprechen sich nicht gegenseitig.
- Die Klasse A₃ aller Argumente auf Basis von Δ, für die es keine widerlegenden Argumente gibt (siehe Arg₂ im vorigen Beispiel).
- Die Klasse A₄ aller Argumente auf Basis von Δ, deren Begründung nicht entkräftet werden kann (siehe Arg₃ im vorigen Beispiel).
- Die Klasse A₅ aller tautologischen Argumente. Ein Argument gilt als tautologisch, wenn es ohne Begründung als wahr gilt.

Über diese Klassen lässt sich eine Ordnung \leq über die Akzeptanz von Argumenten bilden:

$$A_1 \leq A_2 \leq A_3 \leq A_4 \leq A_5$$

Eine höher indizierte Klasse enthält Argumente, die mehr akzeptiert werden als die niedrig nummerierter Klassen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Anwendung von Argumenten höherer Klassen weniger Anlass zum Widerspruch bzw. zur Entkräftung geben als Argumente niedrigerer Klassen.

Die Idee hinter der Anwendung der Deduktion in Multiagenten Systemen ist, dass mit einem Agenten verhandelt wird, der eine bestimmte Aufgabe ausführen soll. Dieser muss durch Argumente „überzeugt“ werden, dass er die für ihn bestimmte Aufgabe ausführen soll. Hieraus entsteht ein Dialog zwischen den beteiligten Agenten. Er ist eine Folge von Argumenten, die abwechselnd von den beteiligten Agenten hervorgebracht werden. Hat ein Agent ein Argument hervorgebracht, muss der andere Agent auf Basis der ihm zur Verfügung stehenden Fakten und Regeln versuchen, das Argument entweder zu widerlegen oder eine Begründung in diesem Argument zu entkräften. Dieser Dialog wird solange fortgesetzt, bis ein Agent kein widerlegendes oder entkräftendes Argument mehr hervorbringen kann. Der „Gewinner“ des Dialoges ist der Agent, der das letzte nicht zu widerlegende oder zu entkräftende Argument eingebracht hat.

4.5 Zusammenfassung

In vielen Interaktionen zwischen Agenten geht es um die Frage, wie Vereinbarungen im Umfeld eigennütziger Agenten getroffen werden können. Kooperationsbereitschaft sowie ein Mindestmaß an gemeinsamen Interessen bei allen beteiligten Parteien sind Voraussetzung für das Treffen von beiderseitig nützlichen Vereinbarungen. Des Weiteren muss ein Protokoll die Regeln definieren, innerhalb derer die Verhandlungen, die zu den Vereinbarungen führen sollen, ablaufen. Im Rahmen dieses Protokolls müssen für den Agenten Strategien möglich sein, deren Anwendung den maximalen Erfolg garantieren.

In diesem Kapitel wurden drei Formen von Vereinbarungen vorgestellt. Die Auktionen sind ein Mechanismus zur Veräußerung von Gütern. Die Verhandlungen gehen in ihrer Form über den reinen Aspekt der Veräußerung hinaus. Dieser Typ von Interaktion differenziert nach task-orientierten und wert-orientierten Domänen. In sogenannten task-orientierten Domänen geht es darum, Aufgaben zwischen den Agenten neu zu verteilen, um daraus für beide einen Nutzensgewinn zu erzielen. Wert-orientierte Domänen verfolgen einen allgemeineren Ansatz. In ihnen sind den Agenten keine festen Aufgaben vorgegeben, sondern sie orientieren sich daran, Zustände zu erreichen, die für sie den größten Wert darstellen. Um diese zu erreichen, müssen Agenten in Verhandlung treten, um die dafür notwendigen Pläne auszuhandeln. Zum Abschluss folgte eine Erläuterung der sogenannten Argumentation. Diese Form der Verhandlung berücksichtigt die Möglichkeit zwischenzeitlicher Änderung der Präferenzen von Agenten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen der Agenten für den User bzw. Auftraggeber. Basis für die Argumentation ist die klassische Logik, auch Deduktion genannt.

5 Fazit

In diesem Vortrag wurden die Multiagenten Systeme unter den Gesichtspunkten „Interaktion von Agenten und Bewertung der daraus entstehenden Ergebniszustände“, „Konfliktsituationen und resultierende Interpretation“ und „Aushandeln von Vereinbarungen“ betrachtet.

Ein wesentlicher Baustein für das Verhalten von Agenten in diesen Interaktionen ist die Festlegung ihrer Präferenzen. Diese repräsentieren die „Vorstellungen“ der Agenten, wie die Umgebung aussehen bzw. sein sollte, in der sie sich bewegen. Die Festlegung der Präferenzen erfolgt über die sogenannte Nützlichkeitsfunktion, die für jeden relevanten Zustand einen Nutzen für den Agenten repräsentiert.

Nach der formalen Modellierung der Multiagenten Interaktion stellt sich die Frage, wie Agenten sich optimal in diesen Begegnungen verhalten sollen. Unabhängig vom Typ der Interaktion wurden in diesem Vortrag zwei Lösungskonzepte vorgestellt. Das erste Konzept ist mit dem Begriff der Dominanz verknüpft. Die Auswahl dominanter Strategien wird als rationales Handeln angesehen. Eine strikte Dominanz herrscht, wenn in einer Entscheidungssituation das schlechtest mögliche Ergebnis einer dominierenden Alternative nicht schlechter ist als das bestmögliche Ergebnis einer dominierten Alternative. Das zweite Konzept bezieht sich auf das sog. Nash Gleichgewicht. Hier geht es darum, dass die beteiligten Agenten Annahmen über das Verhalten ihrer „Gegenspieler“ treffen und ihr eigenes Verhalten danach ausrichten. Sie können im entsprechenden Szenario unter diesen getroffenen Annahmen keine besseren Entscheidungen treffen, als sich auf bestimmte Aktionen festlegen, obwohl es i.d.R. Handlungsalternativen gibt, die für den einzelnen Agenten bessere Ergebnisse zur Folge haben.

In der weiteren Betrachtung der Multiagenten Interaktion wurde auf die Möglichkeit von Konfliktsituationen eingegangen. Als das bekannteste Szenario wurde das Gefangenendilemma vorgestellt und die optimale Strategie untersucht. Die Interpretation des Ergebnisses war, dass Nicht-Kooperation ein rationales Verhalten darstellt. Dies wurde und wird kontrovers diskutiert, da dies nicht der Vorstellung eines zivilisierten Umgangs miteinander entspricht. Im Rahmen der weiteren Untersuchung wurde das Szenario erweitert, um den sog. „Schatten der Zukunft“ mit zu berücksichtigen, d.h. es wurde auf die Frage eingegangen, wie sich die Aktion eines Agenten auf mögliche zukünftige Begegnungen mit seinen „Gegenspielern“ auswirkt. Hier stellte sich die Strategie „Tit-For-Tat“ als insgesamt erfolgreiche Strategie heraus. Gegen rein nicht-kooperative Strategien kann sie zwar nicht „gewinnen“, aber sobald die „Gegner“ zu kooperativem Verhalten bereit sind, spielt sie ihre Stärken aus. Aus diesem Untersuchungsergebnis ergibt sich die Interpretation, dass kooperatives Handeln durchaus eine rationale Strategie ist und andere beteiligte Agenten zur Kooperation „ermuntern“ kann.

Im letzten Teil wurden verschiedene Mechanismen vorgestellt, Vereinbarungen in Multiagenten Begegnungen zu erreichen. Hierzu gehören die Auktionen, deren Anwendungsziel die Veräußerung von Gütern ist. Einen Schritt weiter gehen der Mechanismus der Verhandlungen mit seiner Differenzierung nach task- und wert-orientierten Domänen. Das Ziel in task-orientierten Domänen besteht darin, dass die Agenten versuchen, ihre ihnen ursprünglich zugeordneten Aufgaben so untereinander neu zu verteilen, dass sie davon profitieren. In wert-orientierten Domänen geht es einem Agenten darum, für ihn wünschenswerte Zustände zu erreichen. Hierzu muss er ggf. in Verhandlung mit weiteren Agenten treten, damit er gemeinsam mit ihnen die Pläne aushandeln kann, mit denen er sein Ziel erreicht. Die Argumentation als letzter vorgestellter Mechanismus basiert auf der klassischen Logik, d.h. der Deduktion. Hier sollen zwei Schwächen der vorbenannten Mechanismen beseitigt werden, die fehlende Transparenz bzgl. der Wahl der Aktionen sowie die Unveränderlichkeit der Präferenzen während der Verhandlungen.

Bis auf den Mechanismus der Argumentation liegen allen betrachteten Themen zu Multiagenten Systemen die theoretischen Grundlagen der Spieltheorie zugrunde. Die Spieltheorie beschäftigt sich mit einer Vielzahl von Konfliktsituationen und ihre Auswirkungen auf die Handlungen der beteiligten Parteien. Da sie mathematisch fundiert ist, bietet sich eine Anwendung auf programmierte Agenten an. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass die in der Spieltheorie erarbeiteten Lösungskonzepte deskriptiver (beschreibender) Art sind, d.h. sie legen die Eigenschaften optimaler Lösungen fest, ohne Algorithmen bereitzustellen, wie diese Lösungen erreicht werden können. Am Beispiel der Verhandlungen zeigt sich außerdem, dass es schwierig ist, berechenbare Algorithmen zu finden. Viele Probleme sind NP-vollständig oder schlimmer.

Weiterhin muss beachtet werden, dass die Anwendung spieltheoretischer Erkenntnisse auf Multiagenten Systeme einiger Kritik unterliegt. Hauptpunkt dieser Kritik ist, ob sich die Erkenntnisse überhaupt auf Szenarien der „realen Welt“ übertragen lassen. Ein Beispiel ist die Annahme, dass die Präferenzen eines Agenten (mathematisch) genau formuliert werden können und sich diese auch nicht weiter ändern. Die Menschen tun sich aber schwer, ihre Präferenzen präzise festzulegen, zumal sie das nicht alleine durch eine numerische Bewertungsreihenfolge tun. Soll ein programmierter Agent für einen menschlichen Auftraggeber handeln, wird es dementsprechend schwierig oder gar unmöglich sein, dessen Präferenzen im Agenten abzubilden.

Die beiden Kritikpunkte sollen nicht die Spieltheorie an sich in Frage stellen, sondern nur beleuchten, wann bzw. unter welchen Voraussetzungen es sinnvoll ist, sie anzuwenden.

Mit ihr steht nämlich ein formalisierter und klar definierter Begriffsapparat zur Verfügung, der es erlaubt

- Konfliktsituationen der unterschiedlichsten Art in bestimmten einheitlichen Grundkategorien zu beschreiben;
- die typischen Problemstrukturen verschiedener Konfliktsituationen herauszuarbeiten;
- Voraussetzungen für das Zustandekommen verschiedener Arten von Vereinbarungen exakt zu formulieren.

6 Literatur

[1]	Michael Wooldridge. An Introduction to MultiAgent Systems. Reprinted August 2002
[2]	Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, Mannheim, 2004. Der Brockhaus in Text und Bild 2004, Version für Apple Macintosh
[3]	Michael Bitz. Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre II, Entscheidungstheoretische Grundlage, Kurseinheit 3, 04/98
[4]	de.wikipedia.org. Mehrsprachige Enzyklopädie, deren Inhalte frei nutzbar sind. Ein Projekt der Wikimedia Foundation Inc., 3911 Harrisburg St. NE, St. Petersburg, FL 33703, USA

7 Anhang

Die Informationen im Anhang dienen der weiteren Vertiefung einiger Themen. Aus Zeitgründen konnten Sie im eigentlichen Vortrag nicht dargelegt werden.

7.1 Szenarien für nicht-kooperative Begegnungen

7.1.1 Ergänzungen zum iterierten Gefangenendilemma

Nachfolgend liste ich eine Auswahl der im Turnier verwendeten Strategien auf:

- **All-Defect**; Hier wird die als rational angesehene Strategie des endlich iterierten Gefangenendilemmas angewandt. Unabhängig von der Aktion des Gegners wird immer konkurriert.
- **Zufall**; Hier werden die zurückliegenden Aktionen des Gegners ignoriert und auf Zufallsbasis kooperiert bzw. konkurriert.
- **Tit-For-Tat**; Diese Strategie verfolgt den Ansatz, dass in der ersten Runde immer kooperiert wird und in den folgenden Runden die gegnerische Aktion aus der Vorrunde angewendet wird. Einfach ausgedrückt, tue das, was der andere Spieler im Zug zuvor getan hat („wie Du mir, so ich Dir“).
- **Tester**; In der ersten Runde wird versuchsweise die Nicht-Kooperation ausgeführt. Bestraft dies der Gegner in der zweiten Runde durch Nicht-Kooperation, spielt das Programm fortan Tit-For-Tat. Ansonsten besteht die Strategie darin, in zwei aufeinander folgenden Runden zu kooperieren, um dann wieder zu konkurrieren.
- **Joss**; Tit-For-Tat ist die Basis für diese Strategie. Jedoch konkurriert Joss mit einer Wahrscheinlichkeit von 10%, auch wenn der andere kooperiert.
- **Friedman**; Diese Strategie wendet die Nicht-Kooperation niemals zuerst an, doch verzeiht es sie nie. D.h. nachdem der Gegenspieler einmal die Kooperation versagt, konkurriert Friedman fortan in jeder folgenden Runde.

Als mögliche Erklärungsversuche für den Gesamterfolg von Tit-For-Tat werden folgende Charakterisierungen gesehen:

- Sei nicht neidisch auf den Erfolg der anderen. Es ist nicht unbedingt notwendig, den Gegner zu schlagen, um einen guten Nutzen zu erzielen.
- Weiche nicht als erster vom kooperativen Verhalten ab. Es ist zwar ein Risiko, mit Kooperation zu beginnen. Aber der Nutzenverlust in der ersten Runde ist relativ klein gegenüber der Möglichkeit, einen Nutzensgewinn durch gegenseitige Kooperation zu erzielen.
- Erwidere sowohl Kooperation als auch Nicht-Kooperation. Im Beispiel von Tit-For-Tat wird nicht-kooperatives Verhalten in gleichem Umfang bestraft. Allerdings wird auch vergeben, wenn der Gegner wieder kooperatives Verhalten zeigt.
- Sei nicht zu clever. Tit-For-Tat war im Turnier das mit am einfachsten gestrickte Programm. Programme mit komplizierten Algorithmen schnitten erstaunlich schlecht ab. Eine Ursache hierfür liegt darin, dass viele Programme aufgrund ihres sehr komplexen Verhaltens nicht mehr vom Gegner einzuschätzen waren. Daraus resultierten Strategien, deren Aktionen ein eher zufälliges Muster zeigten. Des

Weiteren versuchten viele Programme, ein Handlungsmuster vom Gegner zu erstellen. Dabei ignorierten sie, dass die Gegner genau das Gleiche mit ihnen machten, d.h. die Programme besaßen kein Modell bzgl. wechselseitigen Lernens. Schließlich besaßen viele komplexe Programme nicht die Möglichkeit des Vergebens. Sobald der Gegner konkurrierte, reagierten sie dementsprechend mit Nicht-Kooperation, ohne in Betracht zu ziehen, dass Kooperation in zukünftigen Spielrunden möglich ist.

7.2 Weitere Konfliktszenarien

7.2.1 Stag Hunt

Ergänzende Bemerkungen :

Beide Jäger bevorzugen die Kooperation, um den Hirsch zu erlegen. Es garantiert das für jeden einzelne bestmögliche Ergebnis. Allerdings ist die Hirschjagd ein schwieriges Unterfangen und nicht immer mit Erfolg gesegnet. Für den kooperierenden Jäger wäre es hingegen das schlechteste aller Ergebnisse, wenn sich der jeweils andere Jäger nicht kooperativ zeigt und auf die (einfachere¹) Hasenjagd gehen würde. Er stände nämlich dann mit leeren Händen da. Eine erfolgreiche Hasenjagd wird als nicht so gut wie eine erfolgreiche Hirschjagd eingeschätzt. Insgesamt ergibt sich folgende Präferenzreihenfolge:

$$(C, C) >_i (D, C) >_i (D, D) >_i (C, D)$$

Es gibt keinen unmittelbaren Anreiz in diesem Szenario zu konkurrieren. Im Gegenteil, es besteht ein Interesse zur Kooperation. Dies gilt aber nur, wenn man sich der Kooperation der anderen Seite sicher sein kann. Sobald eine gewisse Wahrscheinlichkeit besteht, dass die andere Seite nicht kooperieren wird, würde man selbst konkurrieren.

Beispiel einer Payoff-Matrix (zum Vergleich rechts das Gefangenendilemma):

	i konkurriert	i kooperiert		i konkurriert	i kooperiert
j konkurriert	2	1	j konkurriert	1	0
j kooperiert	3	4	j kooperiert	5	3
	1	4		0	3

Im Gegensatz zum Gefangenendilemma erhält man durch das Hereinlegen des anderen Beteiligten (man kooperiert nicht, während der Andere kooperiert) keinen größeren Payoff als bei gegenseitiger Kooperation.

7.2.2 Game of Chicken

Ergänzende Bemerkungen:

Eine Payoff-Matrix (zum Vergleich rechts das Gefangenendilemma) kann folgendermaßen aussehen:

¹ Hasen sind erheblich einfacher zu jagen und der Jagderfolg ist auf alle Fälle gesichert.

Kooperation: aus dem Auto springen
 Konkurrieren: im Auto bleiben

Beispiel einer Payoff-Matrix (zum Vergleich rechts das Gefangenendilemma):

	i konkurriert	i kooperiert		i konkurriert	i kooperiert
j konkurriert	0	1	j konkurriert	1	0
j kooperiert	3	2	j kooperiert	5	3
	1	2		0	3

Linke obere Spalte: Beide Spieler verlassen nicht das Auto und stürzen die Klippe herunter mit Todesfolge.

Linke untere Spalte, rechte obere Spalte: Einer der Spieler springt als erster aus dem Auto und gilt als Feigling. Da er aber am Leben bleibt, erhält er einen höheren Payoff, als in dem Fall, dass beide Fahrer im Auto verbleiben.

Rechte untere Spalte: Springen beide Spieler gleichzeitig aus dem Auto, wenn es gefährlich wird, ist keiner von ihnen der Sieger. Dennoch erhalten sie einen höheren Payoff, als der einzelne kooperierende Spieler (der Feigling), quasi als Belohnung, dass sie an einem gefährlichen Spiel teilgenommen haben.

Wie soll nun ein Spieler i seine Strategie für das Spiel auslegen? Dies hängt davon ab, für wie mutig er Spieler j hält. Wenn i annimmt, dass j mutiger als er selbst ist, so wäre es das Beste für i, wenn er kooperiert, d.h. (rechtzeitig) aus dem Wagen springt. Dies wäre vernünftig, da j den Wagen sowieso nicht vorher verlassen würde.

7.2.3 Battle of Sexes

Ergänzende Bemerkungen:

Kooperation Petra	Sie opfert sich und entscheidet sich für den Boxkampf
Nicht-Kooperation Petra	Sie bleibt bei ihrer Vorliebe und geht zur Oper
Kooperation Andreas	Er entscheidet sich für die Oper
Nicht-Kooperation Andreas	Er entscheidet sich für seine Vorliebe, den Boxkampf

Beispiel einer Payoff-Matrix (zum Vergleich rechts das Gefangenendilemma):

	Petra konkurriert	Petra kooperiert		i konkurriert	i kooperiert
Petra konkurriert	0	1	j konkurriert	1	0
Petra kooperiert	2	0	j kooperiert	5	3
	1	0		0	3

Aus der Payoff-Matrix lässt sich entnehmen, dass die beiderseitige Kooperation und Nicht-Kooperation die schlechtest möglichen Handlungsalternativen sind. Einen Nutzen können die beteiligten Parteien nur erreichen, wenn nur einer von ihnen kooperiert. Allerdings ist er derjenige, der den geringeren Nutzen daraus zieht.

7.3 Auktionen

7.3.1 Ergänzung zu den allgemeinen Bemerkungen

Ein Aspekt für die Beurteilung von Strategien in Auktionen ist von spezieller Bedeutung. Es handelt sich hierbei um die Werteinschätzung des zu versteigernden Gutes. Hier sind grundsätzlich drei Arten zu unterscheiden:

- **Öffentlicher Wert (common value).** Der aktuelle Wert des zu versteigernden Gutes ist für alle Bieter gleich. Voraussetzung hierfür ist, dass alle Bieter über die gleichen Informationen verfügen. Ist dies nicht der Fall, kann es durchaus zu unterschiedlichen Preisvorstellungen kommen. Sobald ein Bieter Signale erhält, dass seine Preisvorstellung nicht korrekt ist, kann er seine eigene Preiseinschätzung ändern.
- **Persönlicher Wert (private value).** Es gibt auch Güter, die für bestimmte Bieter einen speziellen Wert darstellen. Sei als Beispiel eine stark limitierte Sonderedition von Handys genannt, ferrari-rot und mit eingravierter Unterschrift von Michael Schumacher. Für einen richtigen Fan kann dieses Handy aufgrund dieses Zusatzfeatures durchaus einen höheren Wert haben, als technisch vergleichbare Handys von der Stange. Jemand, der Michael Schumacher nicht ausstehen kann, würde sich das Handy wahrscheinlich nicht kaufen. Für ihn liegt der Wert also niedriger (evtl. sogar bei Null) als bei technisch vergleichbaren Handys.
- **Abhängige Werteinschätzung (correlated value).** Diese Werteinschätzung wird teilweise durch private Einflüsse aber auch durch die Werteinschätzung anderer Agenten bestimmt. Beispielsweise misst der Bieter einem Gemälde seinen persönlichen Wert bei. Allerdings spielt er mit dem Gedanken, das Gemälde später einmal zu verkaufen. Natürlich möchte er einen Gewinn daraus erhalten. Aus diesem Grund muss er die Werteinschätzung anderer in seine Überlegung einbeziehen.

7.3.2 Typen von Auktionen

7.3.2.1 Englische Auktionen

Bei Englischen Auktionen handelt es sich um Auktionen vom Typ First-price, Open cry, Ascending. Der Auktionator beginnt bei einem niedrigsten Preis (reservation price) für das zu versteigernde Gut. Wenn niemand bereit ist, mehr als den reservation price zu bieten, wird das Gut dem Auktionator für diesen Preis verkauft. Die Teilnehmer bieten jeweils für das angebotene Produkt. Das Gebot muss dabei höher sein, als das z.Zt. aktuelle Gebot. Alle Teilnehmer wissen, welche Gebote von welchem Bieter gemacht wurden und können beliebig am Gebotsprozess teilnehmen. Wenn kein Teilnehmer mehr bereit ist, ein höheres Gebot zu nennen, erhält derjenige mit dem höchsten Gebot den Zuschlag. Er hat diesen gebotenen Preis zu bezahlen.

7.3.2.2 *Holländische Auktionen*

Holländische Auktionen sind vom Typ Open cry, descending. Der Auktionator beginnt mit einem künstlich hohen Preis für das Gut. Dieser Preis liegt über dem erwarteten Wert aller Teilnehmer. Sukzessive verringert er dann den Preis um einen kleinen Betrag, bis ein Teilnehmer ein Gebot abgibt, welches dem aktuell angebotenen Preis entspricht. Das Gut wird dann diesem Bieter zum genannten Preis verkauft.

7.3.2.3 *First-price, sealed-bid Auktionen*

Wie der Name schon andeutet, sind diese Auktionen vom Typ First-price, Sealed-bid. Zusätzlich ist festgelegt, dass es nur eine Runde (One-shot) gibt, in der die Teilnehmer dem Auktionator ihre Gebote mitteilen. Das Gut wird dem Bieter mit dem höchsten Gebot zugeteilt, der diesen Preis dann auch zu bezahlen hat.

7.3.2.4 *Vickrey Auktionen*

Vickrey Auktionen sind vom Typ One-shot, Second-price, Sealed-bid. Eine Auktion besteht nur aus einer einzigen Gebotsrunde. Die Teilnehmer kennen nicht die Gebote der anderen. Den Zuschlag erhält derjenige, der das höchste Gebot abgibt. Allerdings bezahlt er nur den Preis des zweithöchsten Gebotes.

7.3.3 **Strategien**

7.3.3.1 *Englische Auktionen*

Die optimale Strategie für einen Bieter ist, nacheinander mit kleinem Zuschlag das bisherige Höchstgebot zu überbieten. Diese Strategie verfolgt er solange, bis das aktuell gültige Gebot seine Wertvorstellung erreicht.

Eine besondere Situation tritt ein, wenn ein Gut verkauft wird, über dessen wahren Wert sich die Bieter nicht im Klaren sind, z.B. ein Stück Land mit einer unbekanntem Menge an Bodenschätzen. Soll sich der Gewinner der Auktion freuen, dass er den Zuschlag erhalten hat? Oder sollte er sich Gedanken darüber machen, dass keiner der anderen Teilnehmer bereit war, so hoch zu bieten? Hat er den Wert des Gutes etwa überschätzt? Dies wird als *winner's curse* bezeichnet.

7.3.3.2 *Holländische Auktionen*

Es gibt keine dominante Strategie für diesen Typ von Auktion. Allerdings ist zu beachten, dass auch hier die Situation des *winner's curse* auftreten kann.

7.3.3.3 *First-price, sealed-bid Auktionen*

Betrachtet man das zweithöchste Gebot, so ist aus Sicht des Gewinners die Differenz zwischen diesem Gebot und seinem Gebot eine unnötige Verschwendung. Die abgegebenen Gebote stellen aber die Wertvorstellungen der jeweiligen Bieter dar, die mehr oder weniger weit auseinander liegen können. Als empfohlene Strategie folgt hieraus, dass die Teilnehmer nicht ein Gebot in Höhe ihrer Wertvorstellung abgeben sollten, sondern eines, welches darunter liegt. Wie viel unter dem geschätzten Wert das Gebot liegen soll, kann allerdings nicht vorgegeben werden. Das hängt davon ab, welche Wertvorstellung die anderen Bieter haben. Da diese Information vorher unbekannt ist, muss ein Teilnehmer versuchen einzuschätzen, welchen Wert das Gut für die anderen Bieter darstellt.

7.3.3.4 Vickrey Auktionen

Die dominante Strategie dieses Auktionstyps ist das Bieten genau in Höhe der eigenen Werteinschätzung des Gutes. Die Begründung ist wie folgt: angenommen, man bietet höher, als einem das Gut wert ist. Da das zweithöchste Gebot unbekannt ist, besteht die Gefahr, dass das Gut auch zu einem überhöhten Preis ersteigert wird. Setzt man das Gebot andererseits unter dem geschätzten Wert an, ist die Chance geringer, das Gut zu ersteigern. Es muss in die Überlegung eingezogen werden, dass der zu bezahlende Preis nicht vom eigenen Gebot abhängt, sondern von der Höhe des zweiten Gebotes. Bietet man genau den geschätzten Wert und erhält den Zuschlag, liegt der tatsächlich zu bezahlende Preis daher unter dem eigenen geschätzten Wert.

7.3.3.5 Abschließende Bemerkungen zu Auktionen

Aus Sicht des Auktionators stellt sich die Frage nach dem anzuwendenden Protokoll. Es sollen kurz drei Aspekte angesprochen werden, die Einfluss auf diese Thematik nehmen.

Der erste Aspekt ist die Preismaximierung. Er wird wesentlich durch die Risikoeinstellung der beteiligten Parteien beeinflusst. Bei risikoneutralen Bietern dürfte, unter vereinfachenden Annahmen, für alle 4 beschriebenen Auktionstypen der zu erwartende Preis gleich sein. Voraussetzung dafür ist zwingend, dass jeder Bieter seine Wertvorstellung als Basis für die optimale Strategie verwendet. Risikoscheue Bieter nehmen in Kauf, dass sie etwas mehr für ein Gut bezahlen, als sie es vom Wert her einschätzen. Diese Bieter möchten also sicher gehen, dass sie das Gut auch wirklich ersteigern. In dieser Hinsicht können Holländische Auktionen sowie First-price, sealed-bid Auktionen zu höheren Einnahmen für den Auktionator führen. Für risikoscheue Auktionatoren bieten sich Englische Auktionen und Vickrey Auktionen an. Diese Annahmen sind allerdings stark vereinfachend und mit Vorsicht zu genießen. Sie sollen eher einen Denkanstoß für die Bewertung der einzelnen Auktionstypen darstellen.

Als zweiter Aspekt ist die Problematik der Bieterkoalition zu nennen und inwieweit die Auktionsprotokolle gegen Bieterkoalitionen gefeit sind. In solch einem Fall schließen sich die Bieter zusammen und erreichen durch niedrig gehaltene Gebote letztlich einen niedrigeren Preis. Der Gewinner der Auktion könnte dann z.B. das Gut zu seinem wahren Wert verkaufen und den daraus entstehenden Gewinn mit den restlichen Bietern teilen. Keine der vier beschriebenen Auktionstypen ist von vornherein gegen dieses Problem immun. Eine Möglichkeit besteht darin, die Identität der Bieter untereinander geheim zu halten. Dies stellt für die Bieter von Open-cry Auktionen allerdings keine optimale Lösung dar, da sie über die Gebote genau Bescheid wissen möchten.

Der dritte Aspekt betrifft die Ehrlichkeit des Auktionators. Dieser kann im Falle von Vickrey Auktionen unwahre Angaben über das zweithöchste Angebot machen und auch, z.B. bei Englischen Auktionen selber falsche Angebote (shills) abgeben, um den Preis künstlich in die Höhe zu treiben. Die Einschaltung einer vertrauenswürdigen Instanz oder eine digitale Signierung der Gebote kann helfen, diesen Betrug zu verhindern.