Jugend forscht

# Untersuchungen zu sozialen, intelligenten Agenten

von

**Antje Lang**

(Johannes-Kepler-Gymnasium, Chemnitz)

Betreuer:

Herr Dipl.-Inf. Jörg Wellner

(Technische Universität Chemnitz)

# Kurzfassung

Für die vorliegende Arbeit wurde ein Simulationstool für bestimmte Aspekte der Verteilten Künstlichen Intelligenz erstellt. Das Simulationstool ermöglicht einfache Untersuchungen von Agentenverhalten in einem Kooperationsspiel, wie es in einem Spektrum-der-Wissenschaft-Artikel von Sigmund, Fehr und Nowak, 03/2002 beschrieben wurde. Dazu wurden unterschiedliche, unter anderem auch adaptive, Verhaltensweisen eingebunden.
Lernfähigen Agenten, die ihre Ergebnisse am Ende des Spiels auswerten und ihr Verhalten entsprechend anpassen, schnitten dabei am besten ab. Ihr Verhalten ähnelte dem, das bei einem Experiment mit Menschen, die das gleiche Kooperationsspiel durchführten, beobachtet wurde.

# Inhaltsverzeichnis

# 1. Einführung

Schon seit langer Zeit ist es ein großes Ziel der Informatik, sogenannte „Künstliche Intelligenz“ (KI) zu erschaffen, die ähnliche kognitive Fähigkeiten besitzt wie der Mensch. Mit der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI) ist man diesem Ziel ein Stück näher gekommen. Diese beruht auf der Erkenntnis, dass Intelligenz durch die Zusammenarbeit vieler kleiner Einheiten, die einfache Aufgaben erledigen können, entsteht.

## 1.1. Agenten

Solche Einheiten bezeichnet man in der VKI als Agenten. Agenten treffen selbstständig Entscheidungen und können mit anderen Agenten kommunizieren und interagieren, so dass sie in der Lage sind, Probleme gemeinschaftlich zu lösen. Die Grundidee ist dabei, das Problem in viele kleine – für die Agenten lösbare – Probleme aufzuteilen und am Ende die einzelnen Ergebnisse zur Gesamtlösung zusammenzusetzen.

## 1.2. Sozionik

Will man Modelle für eine möglichst optimale Zusammenarbeit der Agenten entwickeln, ist es oft vorteilhaft, sich an realen sozialen Systemen zu orientieren, da diese sehr effizient, stabil und flexibel sind. Diese Verknüpfung von Soziologie und VKI bezeichnet man als Sozionik.
Umgekehrt kann man die Simulation von sozialen Systemen auch in der Soziologie für Forschungszwecke verwenden. Da man auf dem Computer viel kontrolliertere Bedingungen hat und die Parameter beliebig verändern kann, lassen sich die simulierten Systeme einfacher und genauer erforschen als ihre realen Vorbilder.

## 1.3. Kooperation bei Egoisten

Eine Frage der Soziologie ist, wie es bei egoistischen Individuen zur Kooperation kommen kann. Dabei sind Sigmund, Fehr und Nowak in ihrem Artikel „Teilen und Helfen – Ursprünge sozialen Verhaltens“ zu dem Schluss gekommen, dass uns unser altruistisches Verhalten letztendlich (fast) immer einen biologischen Vorteil bringt, das heißt, den Erfolg bei der Fortpflanzung steigert.

## 1.4. Spieltheorie

Bei der Erforschung des menschlichen Verhaltens ist die Spieltheorie ein wichtiges Hilfsmittel. Sie beschäftigt sich mit der mathematischen Analyse von Spielen, die sich oft zumindest teilweise auf reale Situationen übertragen lassen. Bei diesen Spielen müssen zwei oder mehr Teilnehmer Entscheidungen treffen und können dadurch Gewinne oder Verluste machen. Die Höhe des Gewinns beziehungsweise Verlusts hängt sowohl von den eigenen, als auch von den Entscheidungen der Mitspieler ab.
Mit Hilfe der Spieltheorie ist es beispielsweise möglich, eine optimale Strategie für ein bestimmtes Spiel zu berechnen, also die Strategie, die man von einem vollständig rational handelnden Spieler erwarten müsste. Wenn eine Situation zu komplex ist, um sie in mathematische Formeln zu fassen, oder der Aufwand sich nicht lohnen würde, sind Computersimulationen oft vorteilhaft.

## 1.5. Gemeinwohl-Spiele

Die verschiedenen Spiele können in Nullsummen- und Gemeinwohl-Spiele unterteilt werden. Bei ersteren kann man immer nur so viel gewinnen, wie ein anderer verliert, während bei Gemeinwohl-Spielen alle Teilnehmer etwas gewinnen können, wenn sie zusammenarbeiten. Da aus realen Wirtschaftsbeziehungen normalerweise jeder einen Nutzen zieht (sonst würde er die Beziehung nicht eingehen), beschreiben Gemeinwohl-Spiele eine solche Situation eher. Mit ihrer Hilfe lassen sich einerseits Erkenntnisse über das menschliche Verhalten in bestimmten Situationen gewinnen und andererseits ist es möglich, optimale Strategien bei vorgegebenen Rahmenbedingungen zu ermitteln.

## 1.6. Beschreibung des simulierten Gemeinwohl-Spiels

In dem Gemeinwohl- beziehungsweise Kooperations-Spiel, das in dem oben genannten Artikel „Teilen und Helfen – Ursprünge sozialen Verhaltens“ beschrieben wurde, spielen immer vier Personen zusammen. Jede von ihnen erhält ein Startguthaben von 20 Euro. Von diesem Guthaben kann nun in jeder Runde ein beliebiger Betrag in eine Kasse gegeben werden. Anschließend verdoppelt der Spielleiter das Geld in der Kasse und jeder der vier Mitspieler erhält ein Viertel von dem entstandenen Kapital, unabhängig davon, wieviel er eingezahlt hat. Das gleiche Spiel kann auch mit der Möglichkeit von Sanktionen durchgeführt werden: Will man, dass ein Spieler eine Geldstrafe an den Spielleiter zahlt, weil er zu wenig in die Kasse gegeben hat, so muss man auch selbst etwas bezahlen, allerdings einen geringeren Betrag als der „Sünder“.

Als das Experiment mit Menschen durchgeführt wurde, zahlten diese meistens in den ersten Runden etwa die Hälfte ihres Guthabens in die Kasse ein und in den letzten Runden nichts. Die Bereitschaft zur Kooperation ist durch die Möglichkeit der Bestrafung gestiegen, so dass auch in den Schlussrunden sehr hohe Beträge eingezahlt wurden.
Altruismus bedeutet bei diesem Spiel viel Geld in die Kasse zu geben und damit seine Mitspieler zu unterstützen; egoistisch verhält man sich, wenn man nichts einzahlt und somit die anderen nicht unterstützt.

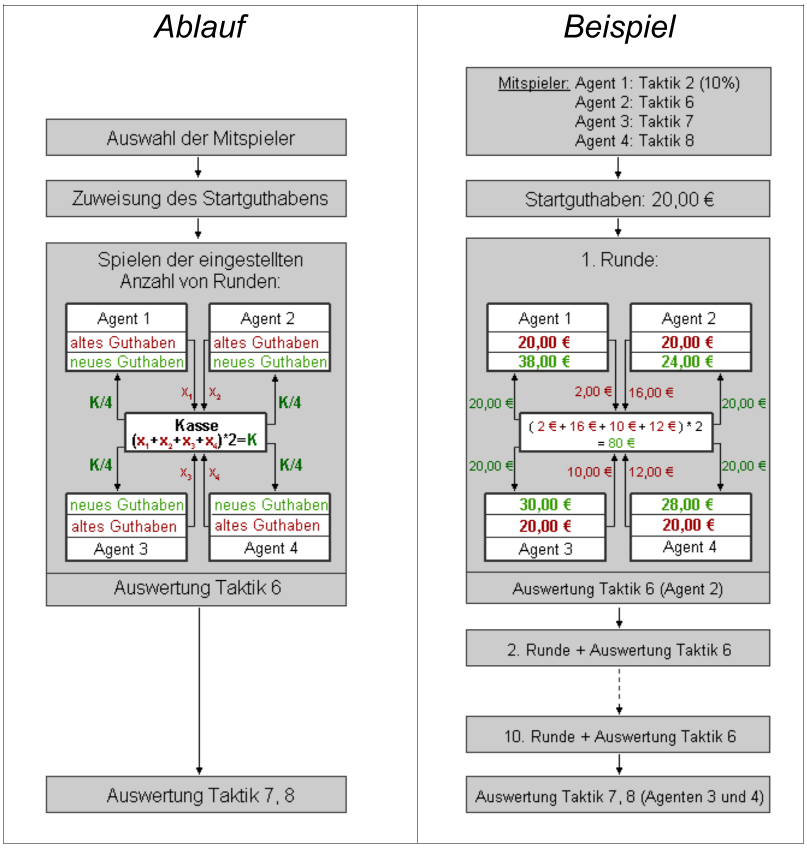
# 2. Die Simulation

Das unter 1.6. beschriebene Gemeinwohl-Spiel wurde für den PC simuliert. Die menschlichen Spieler sind dabei durch computergesteuerte Agenten ersetzt worden, die nach einer vorgegebenen Taktik handeln.

## 2.1. Einstellungen und Ablauf der Spiele

Startet man das Programm, können unter „Einstellungen“ die Anzahl der Runden pro Spiel und die Höhe des Startguthabens festgelegt werden, wobei Letzteres für die Simulation praktisch nicht relevant ist. Außerdem gibt es verschiedene Taktiken zur Ausahl, die vorgeben, wie sich ein Agent verhält. Da kann man einstellen, wie viele Agenten mit einer bestimmten Taktik an der Simulation beteiligt sein sollen. Von diesen Agenten werden dann für jedes Spiel zufällig vier Teilnehmer ausgewählt, so dass die Zusammenstellung immer wieder wechselt. Agenten mit der Taktik 6, 7 und 8 werten jeweils am Ende einer Runde beziehungsweise eines Spiels die bisherigen Ergebnisse aus und passen ihre Strategie entsprechend an.

In einem Schema ist der Ablauf eines Spiels noch einmal veranschaulicht (die einzelnen Taktiken werden unter 2.2. genauer erläutert):




Wie oft gespielt werden soll, kann im Hauptfenster ausgewählt werden. Durch einen Klick auf „Start“ werden die Spiele gestartet. Am Ende sind die Ergebnisse in verschiedenen Tabellen und Diagrammen zu sehen und können gespeichert und später wieder geladen werden.

## 2.2. Die Taktiken

Die Agenten können verschiedene Taktiken zugewiesen bekommen. Einige folgen immer dem gleichen Muster und andere sind auf unterschiedliche Weise in der Lage, die Strategie den Gegebenheiten anzupassen.
Im Folgenden werden die Agenten auch mit Xer-Agenten bezeichnet, wobei X für die entsprechende Taktik steht. Ein Agent mit Taktik 1 ist also ein 1er-Agent. Die Bezeichnung „Prozentsatz" bezieht sich immer auf den Prozentsatz bezüglich des Guthabens der Agenten.

### Taktik 1

Agenten mit dieser Taktik geben einen zufälligen Betrag von ihrem Guthabens in die Kasse.

### Taktiken 2, 3, 4

Agenten mit dieser Taktik haben eine „starre" Strategie. Man kann einen bestimmten Prozentsatz einstellen und die Agenten geben dann in jeder Runde diesen Anteil ihres Guthabens in die Kasse.
Der Prozentsatz wird hinter der Bezeichnung des Agenten in Klammern angegeben, ein 2er-Agent (75%) gibt also 75 % seines Guthabens.

### Taktik 5

Agenten mit dieser Taktik handeln nach dem „Tit for Tat"-Prinzip („wie du mir, so ich dir"), das heißt sie geben immer so viel in die Kasse, wie die anderen in der Runde vorher durchschnittlich gegeben haben. Sie betrachten dabei nicht den Betrag, sondern den Prozentsatz bezüglich des Guthabens des entsprechenden Agenten.
Für die erste Runde kann man einstellen, wie viel sie geben sollen, entweder einen bestimmten Prozentwert ihres Guthabens oder einen zufälligen Betrag.

Tit for Tat wurde von dem Sozialpsychologen Anatol Rapaport erfunden, der sich an einem Wettbewerb von Robert Axelrod beteiligte, bei dem es darum ging, eine Strategie zu finden, mit der sich das Gefangenendilemma möglichst gut lösen lässt. Sein Programm kooperierte immer in der ersten Runde und tat dann das, was der Gegner vorher getan hatte. Rapaport gewann mit dieser Strategie, obwohl die Konkurrenz teilweise sehr komplexe Programme hatte.
Bezogen auf die Handlungsmöglichkeiten ähnelt das Gemeinwohl-Spiel dem Gefangenendilemma, da es einerseits eigentlich besser ist nichts zu geben, weil man von dem Geld, das man einzahlt, am Ende der Runde nur die Hälfte zurückbekommt, andererseits ist es vor allem auf lange Sicht für alle besser, wenn jeder etwas einzahlt, denn je mehr Geld in der Kasse ist, desto mehr wird verdoppelt.

### Taktiken 6, 7, 8

*Allgemein*

Agenten mit einer dieser Taktiken sind lernfähig. Sie können selbstständig entscheiden, wieviel Prozent ihres Guthabens sie in die Kasse geben wollen und haben dabei die Auswahl zwischen den Prozentsätzen 0%, 10%, 20%, ..., 100%.
In einer Matrix wird gespeichert, ob die Auswahl erfolgreich war oder nicht, also ob die Agenten bei einem bestimmten Prozentsatz viel oder wenig Gewinn erzielt haben. Was als Gewinn betrachtet wird unterscheidet sich bei den einzelnen Taktiken. Um einen sinnvollen Vergleichswert zu haben, merken sich die Agenten, wieviel sie in den bisherigen Spielen durchschnittlich gewonnen haben.

Berechnung des Durchschnittsgewinns

Aus dem Gewinn G wird je nach Taktik am Ende eines Spiels oder einer Runde der neue Durchschnittsgewinn berechnet:

$$\text{neuer Durchschnittsgewinn} = \frac{(\text{alter Durchschnittsgewinn} * (\text{Faktor} - 1) + G)}{\text{Faktor}}$$

Der Faktor ist abhängig von der Taktik und entspricht zunächst der Anzahl der schon gespielten Spiele beziehungsweise Runden, so dass der Mittelwert aus allen bisherigen Werten gebildet wird.
Nach einer gewissen Anzahl von Spielen bleibt der Faktor konstant. Damit soll erreicht werden, dass sich der Durchschnittswert auch nach sehr vielen Spielen noch relativ schnell dem möglicherweise veränderten Verhalten der Mitspieler anpasst.

Berechnung der Matrixwerte

Aus dem Durchschnittsgewinn D und dem Gewinn G berechnet der Agent den neuen Matrixwert:

$$\text{neuer Wert} = \text{alter Wert} + \frac{(G - D)}{\text{Konstante}}$$

Je größer G im Vergleich zu D ist, desto mehr steigt der Wert an, ist G kleiner als D, sinkt er. Die Division durch eine Konstante dient dazu, dass die Matrixwerte auch nach vielen Spielen nicht zu groß werden. Der Wert der Konstante ist bei den einzelnen Taktiken unterschiedlich.
Wenn ein Prozentsatz vorher noch nicht benutzt wurde, dann wird als alter Wert 0 angenommen.

Auswahl des neuen Prozentsatzes

Um zu entscheiden, wieviel Prozent des Guthabens als nächstes in die Kasse gegeben werden sollen, werden zunächst die Matrixwerte, die zu den elf Prozentsätzen gehören, mit 100 multipliziert, um die Anzahl der Stellen vor dem Komma zu erhöhen, und dann zu ganzen Zahlen gerundet. Bei Prozentsätzen, die noch nicht benutzt wurden, also auch noch keinen Matrixwert haben, wird mit dem Mittel aus allen anderen Werten gerechnet.
Dann wird der kleinste Wert ermittelt. Falls er negativ ist, wird sein Betrag zu allen Matrixwerten addiert, so dass es keine negativen Wahrscheinlichkeiten gibt.
Die entstandenen Zahlen werden mit dem Wert, der unter Einstellungen bei „Spezialisierung“ festgelegt ist, multipliziert und anschließend wird die Zahl 10 addiert. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit 0 für keinen Prozentsatz auftreten. Durch den Spezialisierungswert S kann man außerdem einstellen, wie stark sich das Addieren der 10 auf die Verteilung der Wahrscheinlichkeiten auswirken soll. Ist S klein, dann werden auch Prozentsätze, deren Matrixwert sehr niedrig ist, mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit ausgewählt, ist er groß, dann wird der Agent fast nur die Prozentsätze wählen, die einen hohen Matrixwert haben, er „spezialisiert“ sich also auf diese Prozentsätze.
Für die Auswahl werden die nach den Berechnungen entstandenen elf Zahlen zusammengezählt und jede Zahl erhält einen Bereich von der Summe, welcher ihrer Größe entspricht. Dann wird eine Zufallszahl zwischen eins und der Summe gewählt und je nachdem in welchem Bereich diese Zufallszahl liegt, wird der entsprechende Prozentsatz zugeordnet.

Die verschiedenen Berechnungen sind also bei den drei Taktiken ähnlich und unterscheiden sich nur in den Werten für G, den Faktor und die Konstante und darin, wann und wie oft sie jeweils ausgeführt werden. Wann welche Taktik eine Auswertung durchführt ist im Schema unter 2.1. noch einmal genauer zu sehen.
Bei den einzelnen Taktiken gibt es außerdem jeweils ein Beispiel zu diesen Rechnungen.

*Taktik 6*

Bei Taktik 6 erfolgt die Auswahl des Prozentsatzes vor jeder Runde und die Berechnung des Durchschnittsgewinns und des neuen Matrixwertes nach jeder Runde.

Um den Gewinn G zu ermitteln, berechnet der Agent zuerst, wieviel Geld er in der entsprechenden Runde dazugewonnen hat. Das ergibt sich aus der Differenz des Guthabens am Ende und am Anfang der Runde. Das Ergebnis wird dann in Prozent bezüglich des Guthabens am Anfang der Runde ausgedrückt:

$$G = \frac{(\text{altes Guthaben} - \text{neues Guthaben})}{(\text{altes Guthaben})} * 100$$

Der Faktor für die Bildung des Durchschnittsgewinns entspricht der Anzahl der Runden, die in den bisherigen Spielen insgesamt gespielt wurden, das heißt, wenn ein Spiel jeweils 10 Runden hat, dann hat der Faktor nach 3 Spielen den Wert 30.
Nach mehr als 1.000 Runden insgesamt bleibt der Faktor konstant bei 1.001.

Die Konstante für die Berechnung der neuen Matrixwerte ist für diese Taktik 10.000.

Beispiel

Drei Agenten, die einen zuälligen Betrag geben (Taktik 1) spielen gegen einen Agenten mit Taktik 6 (Spezialisierungswert S = 2). Das Startguthaben beträgt 20 € und jedes Spiel hat 10 Runden.
Nach den ersten fünf Runden des ersten Spiels hat der 6er-Agent ein Guthaben von 91,60 € und seine Matrix sieht so aus:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 0,010 | *noch nicht benutzt* | 0,008 | *noch nicht benutzt* | 0,008 | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | 0,000 | *noch nicht benutzt* |

(Die Zahlen sind zur besseren Anschaulichkeit auf drei Nachkommastellen gerundet)

Als nächstes wählt der Agent den Prozentsatz für die sechste Runde des ersten Spiels aus:

1. Multiplikation mit 100 und runden der Werte:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 1 | *noch nicht benutzt* | 1 | *noch nicht benutzt* | 1 | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | 0 | *noch nicht benutzt* |

Bei den noch nicht benutzten Spalten wird der Mittelwert aller anderen Werte eingetragen. In diesem Fall ist das ¾, was gerundet 1 ergibt:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |

2. Die Addition des Betrags des kleinsten Wertes entfällt, da kein Wert negativ ist.

3. Multiplikation mit dem Spezialisierungswert (hier 2) und Addition der Zahl 10:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 12 |

Summe: 130

4. Bestimmung einer Zufallszahl zwischen 1 und der Gesamtsumme (hier 130) und Zuordnung des Prozentsatzes:

Zufallszahl: 15

Bereiche:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *von* | 1 | **13** | 25 | 37 | 49 | 61 | 73 | 85 | 97 | 109 | 119 |
| *bis* | 12 | **24** | 36 | 48 | 60 | 72 | 84 | 96 | 108 | 118 | 130 |

Die Zufallszahl liegt zwischen 13 und 24, der Agent gibt also in der nächsten Runde 10% seines aktuellen Guthabens (91,60 €), was 9,16 € entspricht.

Am Ende der Runde erhält er 51,36 € zurück. Zieht man die 9,16 € ab, die eingezahlt wurden, kommt man auf einen Gewinn von 42,20 €. Das entspricht rund 46,070% des vorherigen Guthabens (in diesem Fall 91,60 €).

Aus diesen 46,070% und dem alten Durchschnittsgewinn von rund 36,246% berechnet der Agent den neuen Durchschnittsgewinn (mit Faktor = 6, da sechs Runden gespielt wurden):

neuer Durchschnittsgewinn = (36,246% * 5 + 46,070%) / 6
neuer Durchschnittsgewinn ≈ 37,883%

Es folgt die Berechnung des neuen Matrixwertes:

neuer Wert = 0 + (46,070 – 37,833) / 10.000
neuer Wert ≈ 0,001

(Als alter Wert wurde die 0 angenommen, da die entsprechende Spalte in der Matrix zuvor noch nicht benutzt wurde, also noch kein Wert vorhanden war.)

Die Matrix sieht also jetzt so aus:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 0,010 | **0,001** | 0,008 | *noch nicht benutzt* | 0,008 | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | *noch nicht benutzt* | 0,000 | *noch nicht benutzt* |

Mit den neuen Matrixwerten berechnet der Agent den Prozentsatz für die nächste Runde.

*Taktik 7*

Bei Taktik 7 erfolgt die Auswahl des Prozentsatzes vor jedem Spiel und die Berechnung des Durchschnittsgewinns und des neuen Matrixwertes nach jedem Spiel. Der Prozentsatz, der bei dem Auswahlverfahren gewählt wird, bleibt während des Spiels für alle Runden gleich.

Der Gewinn G entspricht dem Guthaben, das der Agent am Ende des Spiels besitzt.

Der Faktor für die Bildung des Durchschnittsgewinns ergibt sich aus der Anzahl der Spiele.
Nach hundert Spielen bleibt der Faktor konstant bei 100.

Die Konstante ergibt sich aus: Startguthaben * 2 ^ (Anzahl der Runden pro Spiel)
Das entspricht dem Guthaben eines Agenten am Ende des Spiels, wenn jeder der vier Mitspieler immer sein gesamtes Guthaben einzahlt.

<u>Beispiel</u>

Drei Agenten mit Taktik 1 spielen gegen einen Agenten mit Taktik 7 (S = 5). Das Startguthaben beträgt 20 € und jedes Spiel hat 10 Runden.
Nach 1.000 Spielen sieht die Matrix des Agenten mit Taktik 7 so aus:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | -0,480 | -0,548 | -0,499 | -0,483 | -0,462 | -0,444 | -0,354 | -0,250 | 0,334 | 1,169 | 3,067 |

(Die Zahlen sind zur besseren Anschaulichkeit auf drei Nachkommastellen gerundet)

Als nächstes wählt der Agent den Prozentsatz für die das 1.001. Spiel aus:

1. Multiplikation mit 100 und runden der Werte:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | -48 | -55 | -50 | -48 | -46 | -44 | -35 | -25 | 33 | 117 | 307 |

2. Addition des Betrags des kleinsten Wertes (hier │-55│):

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 7 | 0 | 5 | 7 | 9 | 11 | 20 | 30 | 88 | 172 | 362 |

3. Multiplikation mit dem Spezialisierungswert (hier 5) und Addition der Zahl 10:

| | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | 45 | 10 | 35 | 45 | 55 | 65 | 110 | 160 | 450 | 870 | 1.820 |

Summe: 3.665

4. Bestimmung einer Zufallszahl zwischen 1 und der Gesamtsumme (hier 3.665) und Zuordnung des Prozentsatzes:

Zufallszahl: 2.907

Bereiche:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *von* | 1 | 46 | 56 | 91 | 136 | 191 | 256 | 366 | 526 | 976 | **1.846** |
| *bis* | 45 | 55 | 0 | 135 | 190 | 255 | 365 | 525 | 975 | 1.845 | **3.665** |

Die Zufallszahl liegt zwischen 1.846 und 3.665, der Agent gibt also in diesem Spiel in jeder Runde sein gesamtes Guthaben in die Kasse.

Nach den zehn Runden besitzt der Agent 2.020 €.
Aus diesem Betrag und dem alten Durchschnittsgewinn von rund 1474,556 € berechnet der Agent den neuen Durchschnittsgewinn:

neuer Durchschnittsgewinn = (1.474,557€ * 99 + 2.020€) / 100
neuer Durchschnittsgewinn ≈ 1.480,011€

Es folgt die Berechnung des neuen Matrixwertes:

neuer Wert = 3,067 + (2.020 – 1.480,011) / (20 * 2 ^ 10)
neuer Wert ≈ 3,093

Die Matrix sieht also jetzt so aus:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Agent 1* | -0,480 | -0,548 | -0,499 | -0,483 | -0,462 | -0,444 | -0,354 | -0,250 | 0,334 | 1,169 | **3,093** |

Mit den neuen Matrixwerten berechnet der Agent den Prozentsatz für das nächste Spiel.

*Taktik 8*

Bei Taktik 8 erfolgt die Auswahl der Prozentsätze vor jedem Spiel und die Berechnung des Durchschnittsgewinns und der neuen Matrixwerte nach jedem Spiel. Die Runden werden jetzt im Gegensatz zu Taktik 7 einzeln betrachtet. Die Matrix eines Agenten hat elf Spalten für die Prozentsätze 0%, 10%, 20%, ..., 100% und so viele Zeilen, wie es Runden pro Spiel gibt. Bei der Auswahl wird am Anfang des Spiels für jede Runde ein Prozentsatz gewählt und am Ende des Spiels wird überprüft, wie erfolgreich die Zusammenstellung war. War sie gut, wird in der Matrix für jede Runde beim entsprechenden Prozentsatz etwas dazugezählt, war sie schlecht, wird etwas abgezogen.

Den Gewinn G ist das Guthaben, das der Agent am Ende des Spiels besitzt.

Der Faktor für die Bildung des Durchschnittsgewinns ergibt sich aus der Anzahl der Spiele.
Nach hundert Spielen bleibt der Faktor konstant bei 100.

Die Konstante ergibt sich aus: Startguthaben * 2 ^ (Anzahl der Runden pro Spiel)
Das entspricht dem Guthaben eines Agenten am Ende des Spiels, wenn jeder der 4 Mitspieler immer sein gesamtes Guthaben einzahlt.

Beispiel

Drei Agenten mit Taktik 1 spielen gegen einen Agenten mit Taktik 8 (S = 10). Das Startguthaben beträgt 20 € und jedes Spiel hat 5 Runden.
Nach 1.000 Spielen sieht die Matrix des Agenten mit Taktik 8 so aus:

| *Agent 1* | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1. Runde* | -0,410 | -0,428 | -0,353 | -0,341 | -0,423 | -0,249 | -0,058 | 0,703 | 0,150 | 0,595 | 7,334 |
| *2. Runde* | -0,332 | -0,025 | -0,207 | -0,034 | -0,300 | 0,144 | 2,416 | -0,358 | -0,018 | 5,401 | -0,167 |
| *3. Runde* | -0,351 | -0,262 | 0,359 | -0,441 | -0,392 | 0,125 | 3,328 | -0,239 | 1,074 | -0,151 | 3,471 |
| *4. Runde* | 1,560 | 0,145 | 2,350 | 0,241 | 2,632 | 0,048 | -0,225 | -0,235 | 0,399 | -0,140 | -0,258 |
| *5. Runde* | 10,168 | 0,253 | 0,053 | -0,528 | -0,416 | -0,447 | -0,488 | -0,542 | -0,488 | -0,527 | -0,518 |

(Die Zahlen sind zur besseren Anschaulichkeit auf drei Nachkommastellen gerundet)

Als nächstes wählt der Agent die Prozentsätze für die einzelnen Runden des 1.001. Spiels aus.
Für die erste Runde sieht das zum Beispiel so aus:

1. Multiplikation mit 100 und runden der Werte:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1. Runde* | -41 | -43 | -35 | -34 | -42 | -25 | -6 | 70 | 15 | 60 | 733 |

2. Addition des Betrags des kleinsten Wertes (hier $|-43|$):

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1. Runde* | 2 | 0 | 8 | 9 | 1 | 18 | 37 | 113 | 58 | 103 | 776 |

3. Multiplikation mit dem Spezialisierungswert (hier 10) und Addition der Zahl 10:

| | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1. Runde* | 30 | 10 | 90 | 100 | 20 | 190 | 380 | 1.140 | 590 | 1.040 | 7.770 |

Summe: 11.360

4. Bestimmung einer Zufallszahl zwischen 1 und der Gesamtsumme (hier 11.360) und Zuordnung des Prozentsatzes:

Zufallszahl: 8.591

Bereiche:

| | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *von* | 1 | 31 | 41 | 131 | 231 | 251 | 341 | 721 | 1.861 | 2.451 | **3.591** |
| *bis* | 30 | 40 | 0 | 230 | 250 | 440 | 820 | 1.960 | 2.550 | 3.590 | **11.360** |

Die Zufallszahl liegt zwischen 3.591 und 11.360, der Agent gibt also in diesem Spiel in der ersten Runde sein gesamtes Guthaben in die Kasse.

Das Auswahlverfahren wird für die Runden zwei bis vier wiederholt und es ergibt sich folgende Zusammenstellung:

| 1. Runde | 2. Runde | 3. Runde | 4. Runde | 5. Runde |
|---|---|---|---|---|
| 100% | 90% | 100% | 0% | 0% |

Die fünf Runden werden nun alle hintereinander gespielt und am Ende besitzt der Agent 243 €.

Aus diesem Betrag und dem alten Durchschnittsgewinn von rund 198,117 € berechnet der Agent den neuen Durchschnittsgewinn:

neuer Durchschnittsgewinn = (198,117€ * 99 + 243€) / 100
neuer Durchschnittsgewinn ≈ 198,566€

Es folgt die Berechnung des neuen Matrixwertes:

neuer Wert = 7,334 + (243 – 198,566) / (20 * 2 ^ 5)
neuer Wert ≈ 7,403

Die gleiche Berechnung (nur mit anderen Matrixwerten) führt er für die restlichen 4 Runden durch.

Danach sieht die Matrix so aus:

| *Agent 1* | *0%* | *10%* | *20%* | *30%* | *40%* | *50%* | *60%* | *70%* | *80%* | *90%* | *100%* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *1. Runde* | -0,410 | -0,428 | -0,353 | -0,341 | -0,423 | -0,249 | -0,058 | 0,703 | 0,150 | 0,595 | **7,403** |
| *2. Runde* | -0,332 | -0,025 | -0,207 | -0,034 | -0,300 | 0,144 | 2,416 | -0,358 | -0,018 | **5,471** | -0,167 |
| *3. Runde* | -0,351 | -0,262 | 0,359 | -0,441 | -0,392 | 0,125 | 3,328 | -0,239 | 1,074 | -0,151 | **3,541** |
| *4. Runde* | **1,630** | 0,145 | 2,350 | 0,241 | 2,632 | 0,048 | -0,225 | -0,235 | 0,399 | -0,140 | -0,258 |
| *5. Runde* | **10,238** | 0,253 | 0,053 | -0,528 | -0,416 | -0,447 | -0,488 | -0,542 | -0,488 | -0,527 | -0,518 |

Mit den neuen Matrixwerten berechnet der Agent die Prozentsätze für das nächste Spiel.

# 3. Versuche

## 3.1. Egoismus gegen Altruismus

*Hypothese*
Lässt man Agenten, die sehr wenig Geld in die Kasse geben, gegen Agenten, die viel geben, spielen, so erwartet man, dass die Agenten, die weniger geben und damit egoistischer handeln, besser abschneiden, da man von dem was man selbst einzahlt nur die Hälfte zurückbekommt (in der Kasse wird es verdoppelt und davon erhält man ein Viertel).

*Beobachtung*
Spielen zwei Agenten, die immer 0% geben, gegen zwei Agenten, die immer 100% geben, bei einem Startguthaben von 20 € jeweils 10 Runden lang gegeneinander, dann haben die egoistischen Agenten am Ende 220 € und die altruistischen nur die 20 €, die sie schon am Anfang besaßen. Auch wenn man die Anzahl der Agenten pro Taktik auf drei erhöht, schneiden die egoistischen Agenten besser ab.
Erhöht man die Anzahl jedoch auf vier, dann erzielen die altruistischen Agenten einen deutlich höheren Gewinn. Auch wenn man die Anzahl der Agenten, die nichts geben, weiter auf zwanzig erhöht und die Anzahl der anderen bei vier lässt, sind die Agenten, die immer 100% ihres Guthabens in die Kasse einzahlen, am Ende durchschnittlich besser.

Durchschnittlicher Gewinn der Agenten nach 10.000.000 Spielen:

| | 2 Egoisten und 2 Altruisten | 3 Egoisten und 3 Altruisten | 4 Egoisten und 4 Altruisten | 20 Egoisten und 4 Altruisten |
|---|---|---|---|---|
| Gewinn Egoisten (0%) | 220,00 € | 488,72 € | 521,35 € | 47,58 € |
| Gewinn Altruisten (100%) | 20,00 € | 361,79 € | 993,14 € | 57,70 € |

*Auswertung*
Spielen altruistische und egoistischen Agenten innerhalb eines Spiels zusammen, so werden immer die egoistischen mehr gewinnen, weil alle gleich viel Geld aus der Kasse zurückbekommen, aber die Egoisten vorher weniger eingezahlt haben.
Da allerdings an jedem Spiel nur vier der Agenten teilnehmen können, wechselt die Zusammenstellung der Mitspieler, sobald mindestens fünf Agenten an der Simulation beteiligt sind. Wenn es vier oder mehr egoistische Agenten gibt, dann kann es zu Spielen kommen, bei denen nur egoistische Agenten mitspielen. In diesem Fall zahlt niemand Geld in die Kasse, so dass die Agenten am Ende nur die 20 € Startguthaben besitzen.
Wenn es vier oder mehr altruistische Agenten gibt, kann jedoch auch der Fall eintreten, dass nur diese Agenten zusammen spielen. Da sich das Guthaben der Agenten in diesem Fall in jeder Runde verdoppelt – schließlich kommt alles in die Kasse – steigt der Gewinn enorm an, so dass am Ende eines Spiels mit 10 Runden jeder Agent 20.480 € besitzt. Zum Vergleich dazu: Spielt ein Agent, der nichts gibt, mit drei altruistischen Agenten zusammen, dann ereicht der egoistischen Agent einen Gewinn von 3.454 €, also deutlich weniger.
Dadurch sind altruistische Agenten, sobald es mindestens vier von ihnen gibt, auch zusammen mit sehr vielen egoistischen Agenten im Durchschnitt besser, weil sie den Verlust beim Spiel mit letzteren durch den hohen Gewinn ausgleichen, den sie erzielen, wenn sie "unter sich" sind.

Hier sieht man schon, dass egoistisches Verhalten nicht immer zum Erfolg führen muss, sondern sich im Gegenteil auch sehr nachteilig auswirken kann. Außerdem zeigt sich, wie stark das Verhalten von einem einzigen Egoisten den Erfolg der ganzen Gruppe senken kann.

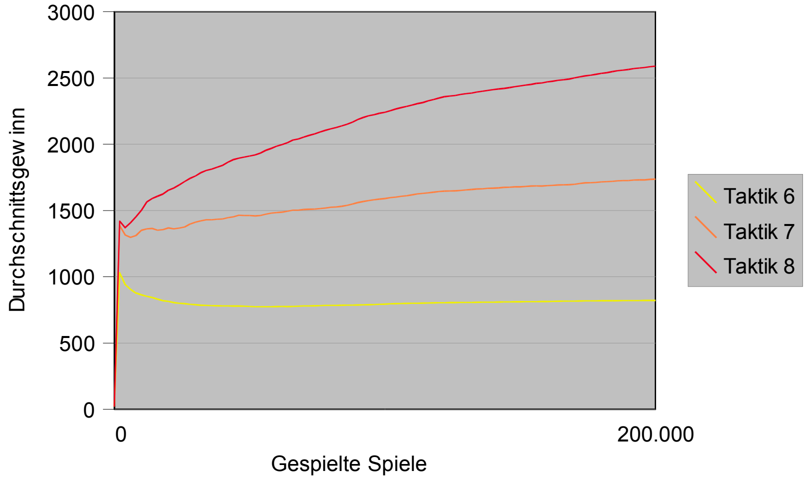
## 3.2. Die lernfähigen Agenten

*Hypothese*
Spielen lernfähige Agenten gegen Agenten mit einer starren Taktik (2,3,4), dann ist zu erwarten, dass ihr durchschnittlicher Gewinn immer weiter ansteigt, da sie ihre Strategie im Laufe der Zeit verbessern.

*Beobachtung*
Ein 6er-Agent gibt allmählich immer weniger, wenn er gegen drei Agenten mit starrer Taktik spielt. Der Durchschnittsgewinn steigt nur dann an, wenn die anderen Agenten einen sehr geringen Prozentsatz einzahlen (16% und weniger). Ansonsten wird der Gewinn des Agenten nach und nach immer kleiner.
Spielt ein 7er-Agent gegen drei "starre" Agenten, dann steigt sein Durchschnittsgewinn immer weiter an. Wieviel er einzahlt hängt von dem Prozentsatz ab, den die anderen geben. Ist er größer als 30%, dann nähert er sich an 100% an, ist er kleiner als 10%, nähert er sich an 0% an.

Lässt man einen 8er-Agenten gegen drei Agenten mit starrer Taktik spielen, dann steigt dessen durchschnittlicher Gewinn ebenfalls ständig an. Wieviel er in den einzelnen Runden gibt ist unterschiedlich, nur bei der letzten Runde lernt er unabhängig von der Strategie der Mitspieler immer, dass es am besten ist, nichts zu geben.

Spielen je vier Agenten der Taktiken 6, 7 und 8 gegeneinander, dann ist der Anstieg des Durchschnittsgewinns bei den 8er-Agenten am größten. Am kleinsten ist er bei den 6er-Agenten, wo der durchschnittliche Gewinn zunächst geringer wird und erst nach etwa 50.000 Spielen allmählich wieder anwächst.




**D1 Entwicklung des Durchschnittsgewinns der 6er-, 7er- und 8er-Agenten**

*Auswertung*
Wenn man nur eine Runde betrachtet, ist es immer am besten, nichts zu geben, denn unabhängig davon, wieviel man einzahlt, ist die Hälfte davon auf jeden Fall verloren. Das ist auch der Grund dafür, dass 6er-Agenten stets lernen, dass es gut ist nichts zu geben, sich also egoistisch zu verhalten. In den meisten Fällen hat sich das aber insgesamt als negativ erwiesen, da der Durchschnittsgewinn gesunken oder nur sehr wenig gestiegen ist.
Die Agenten mit Taktik 7 oder 8 dagegen betrachten das ganze Spiel. Dadurch sind sie in der Lage, den unter 3.1. beschriebenen Zusammenhang, dass Altruismus manchmal vorteilhaft ist, selbst "herauszufinden". Gibt man am Anfang viel, so investiert man für spätere Runden, denn je mehr die anderen Agenten haben, desto mehr können sie einzahlen, wovon man letztendlich wieder profitiert.
Nur in der letzten Runde lohnt es sich nicht mehr zu investieren, was der Grund dafür ist, dass 8er-Agenten, die im Gegensatz zu 7er-Agenten in den einzelnen Runden unterschiedliche Prozentsätze auswählen können, in der letzten Runde nichts einzahlen. Bei den vorherigen Runden hängt es davon ab, wieviel die anderen geben, ob es für sie sinnvoll ist viel oder wenig zu geben.
Durch ihre hohe Flexibilität (sie können unterschiedliche Prozentsätze auswählen) und ihre Weitsicht (sie betrachten bei der Auswertung der Ergebnisse das ganze Spiel und nicht nur eine Runde) sind die Agenten mit Taktik 8 die erfolgreichsten, was auch das Diagramm D1 zeigt.

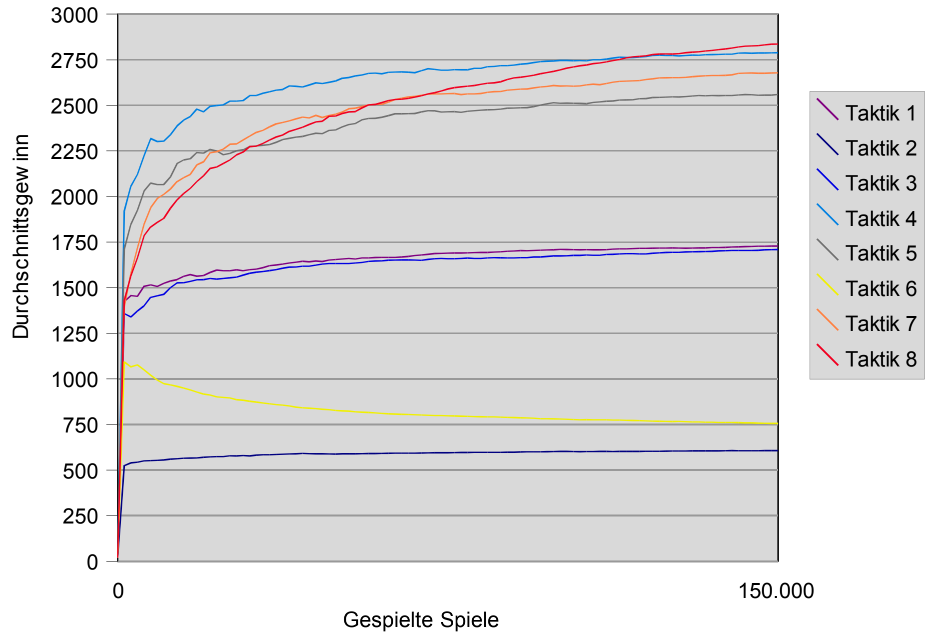
An diesem Beispiel erkennt man, dass für ein erlerntes soziales Verhalten unter anderem eine gewisse Fähigkeit vorauszublicken notwendig ist. Soziales Verhalten bei Tieren ist meistens angeboren. Bienen, die sich opfern, um ihre Königin zu retten, tun dies instinktiv und nicht aufgrund von Erfahrungen oder rationalen Überlegungen. Hat man das soziale Verhalten jedoch erlernt, ist man wesentlich flexibler und kann besser einschätzen, ob es beispielsweise sinnvoll ist, jemandem zu helfen oder ob man nur ausgenutzt wird.
Menschen sind also nur durch ihre Fähigkeit vorauszuschauen und Schlussfolgerungen zu ziehen dazu in der Lage, ein sinnvolles und effektives soziales Verhalten zu entwickeln. Oder man könnte auch sagen, nur durch die Notwendigkeit der Zusammenarbeit um das Überleben zu sichern, haben sich bei den ersten Menschen überhaupt erst diese Fähigkeiten entwickelt.

## 3.3. Tit for Tat

*Hypothese*
Da sich Tit for Tat (TFT) schon bei Axelrods Wettbewerb bewährt hat (siehe 3.2. / Taktik 5), sollte es auch bei disem Spiel erfolgreich sein.

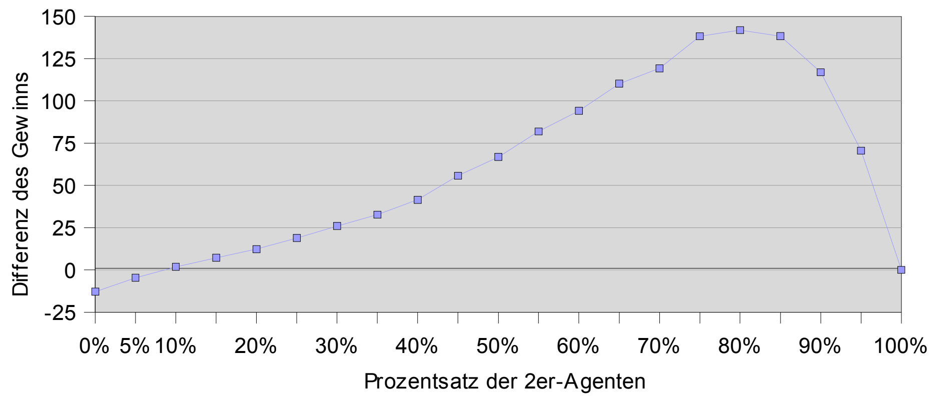
*Beobachtung*
In den folgenden Versuchen haben alle Spiele 10 Runden und die Spieler bekommen ein Startguthaben von 20 Euro. Die 5er-Agenten geben in der ersten Runde immer 100% ihres Guthabens und der Spezialisierungswert der Taktiken 6, 7 und 8 ist immer 1.

(a) Je vier Agenten der Taktiken 1 bis 8 spielen gegeneinander, die Prozentsätze der Taktiken 2, 3 und 4 sind in dieser Reihenfolge 0%, 50% und 100%. Das Diagramm zeigt die Entwicklung des Durchschnittsgewinns: In den ersten 20.000 Spielen hat Taktik 5 den zweithöchsten Gewinn, wird dann aber von Taktik 7 und 8 überholt. Taktik 4 (100%) ist lange Zeit die beste Taktik, erst nach etwa 120.000 Spielen schneiden die 8er-Agenten besser ab.



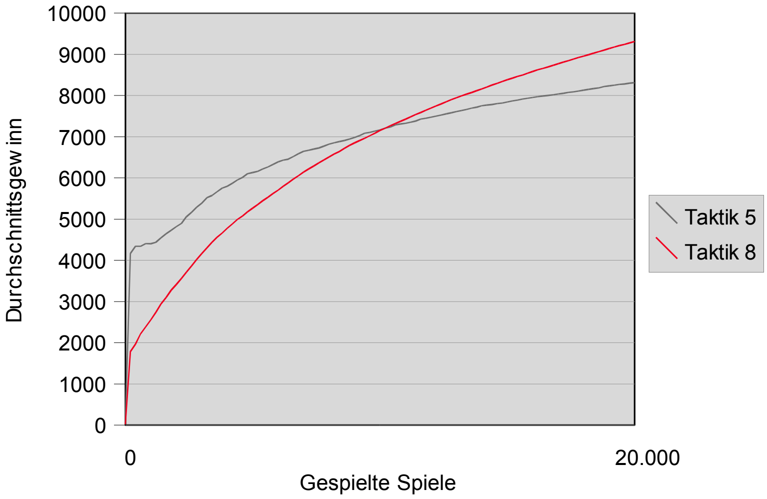

**D2 Entwicklung des Durchschnittsgewinns der Agenten mit Taktik 1 – 8**

(b) Ein 5er-Agent spielt gegen zehn 2er-Agenten, wobei für die 2er-Agenten verschiedene Prozentsätze gewählt (0%, 5%, ..., 100%) und dann jeweils 1.000 Spiele gespielt wurden. Das Diagramm zeigt die Differenz ihrer Durchschnittsgewinne in Abhängigkeit von dem Prozentsatz an (Gewinn$_{4\text{ er-Agent}}$ – Gewinn$_{2\text{ er-Agent}}$).
In den meisten Fällen schneidet Taktik 5 besser ab als die starre Taktik, nur bei sehr niedrigen Prozentsätzen ist Taktik 2 etwas besser. Ein Ausnahmefall sind 100%, wo beide gleich viel gewinnen.




**D3 Vergleich 2er- und 5er-Agenten**

(c) Zehn 5er-Agenten spielen gegen zehn 8er-Agenten. Das Diagramm zeigt die Entwicklung des Durchschnittsgewinns an.
Wie auch schon in (a) ist zunächst der Gewinn der 5er-Agenten größer. Der Gewinn der 8er-Agenten steigt jedoch schneller an, so dass Taktik 8 nach etwa 10.000 Spielen Taktik 5 überholt.



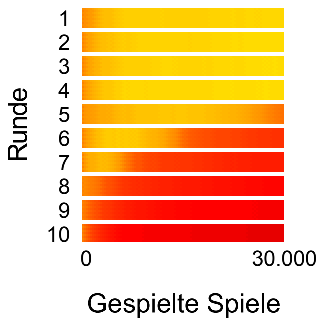

**D4 Entwicklung des Durchschnittsgewinns der 5er- und 8er-Agenten**

*Auswertung*
Wie in D2 zu sehen ist, sind die 5er-Agenten zwar nicht die erfolgreichsten, liegen aber bezogen auf die Höhe des Gewinns doch im oberen Bereich. Im Vergleich zur starren Taktik (D3) schneiden sie insgesamt besser ab, auch wenn der Unterschied nicht sehr groß ist. Das liegt vor allem daran, dass es nur einen 5er-Agenten gibt, so dass nie mehrere von ihnen zusammen spielen können, was den Gewinn deutlich steigern würde, da die 5er-Agenten am Anfang kooperativ sind und durch die hohen Einzahlungen der anderen auch weiterhin kooperativ bleiben würden.
Auffällig ist, dass die TFT-Methode vor allem am Anfang, wenn die lernfähigen Agenten noch nicht so viele Erfahrungen sammeln konnten, sehr erfolgreich ist, was auch D4 noch einmal gut zeigt. Überträgt man das auf Menschen, kann man daraus schlussfolgern, dass sich TFT vor allem in Situationen lohnt, bei denen man wenig Erfahrung hat. So müssen Kinder zum Beispiel oft erst noch lernen, dass es nicht immer das Beste ist, zurükzuschlagen, wenn sie von einem anderen Kind gehauen wurden.
Auch bei Tieren lässt sich diese Methode finden, da sie keine Lernprozesse erfordert und somit auch für weniger intelligente Tiere anwendbar ist. In "Die Logik der Unvernunft" von László Mérö wird zum Beispiel beschrieben, wie Stichlinge TFT verwenden, wenn sie sich gemeinsam in einer Spähtruppe einem größeren Fisch nähern, um herauszufinden, ob er gefährlich ist. Manfred Milinski zeigte das in einem Experiment mit Hilfe eines drehbaren Spiegels. Je nach dem, wie er eingestellt war, schwamm das Spiegelbild des Stichlings entweder in die gleiche oder in die entgegengesetzte Richtung. Wenn der Stichling nun auf einen großen Fisch zuschwamm und merkte, dass der Fisch im Spiegel zurückschwamm, dann drehte auch er um, sah er sein Spiegelbild dagegen zum großen Fisch hinschwimmen, schwamm auch er hin.

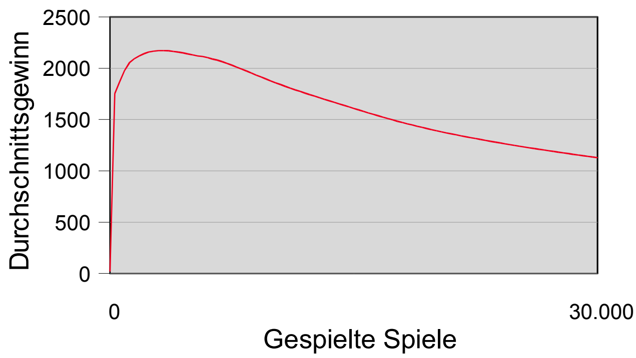
## 3.4. Spiele zwischen 8er-Agenten

*Hypothese*
Als das Gemeinwohl-Spiel mit Menschen durchgeführt wurde, haben diese bei 10 Runden in den Anfangsrunden immer etwa die Hälfte ihres Kapitals eingezahlt und in den letzten Runden nichts mehr. Lässt man nun Agenten mit Taktik 8 gegeneinander spielen, die sich als die „intelligentesten“ herausgestellt haben, sollten diese sich ähnlich verhalten, also erst viel und in den Schlussrunden nichts mehr geben.

*Beobachtung*
Spielen vier 8er-Agenten (Spezialisierungswert S = 3) je 10 Runden lang gegeneinander, dann geben diese nach einer Weile (ca. 2.000 Spiele) in den ersten 7 Runden meistens ihr gesamtes Guthaben und nur in den letzten drei Runden nichts. Lässt man die Simulation länger laufen, so beginnen die Agenten allmählich auch in der 7. Runde nichts zu geben (nach ca. 6.000 Spielen). Das gleiche passiert nach und nach bei allen anderen Runden, bis die Agenten schließlich gar nichts mehr geben (nach ca. 2.000.000 Spielen) und anstatt ihren Gewinn zu vergrößern, was eigentlich ihr Ziel ist, wird der Durchschnittsgewinn nach anfänglichem Anstieg allmählich immer geringer.




**D5 Einzahlungsbereitschaft**
(Je gelber der Streifen, desto höher die Einzahlung des Agenten)




**D6 Entwicklung des Durchschnittsgewinns der 8er-Agenten**

*Auswertung*
Am Anfang zahlen alle Agenten noch nahezu zufällige Beträge ein, man kann es also mit einem Spiel eines 8er-Agenten gegen drei 1er-Agenten vergleichen. Bei einem solchen Spiel wird der lernfähige Agent nach einer gewissen Anzahl von Spielen in den ersten 8 Runden alles geben und in den letzten Runden nichts. Dieser Strategie nähern sich die lernfähigen Agenten also zunächst an.
Wie sich schon unter 3.2. gezeigt hat, tendieren die Agenten unabhängig von den Mitspielern dazu, in der letzten Runde nichts zu geben. Wenn jedoch niemand mehr in der letzten Runde etwas gibt, dann lohnt es sich auch nicht mehr, in der vorletzten Runde etwas einzuzahlen. Man hat schließlich nur dann etwas davon, Geld in die Kasse zu geben, wenn die anderen von dem Geld, dass sie dadurch gewinnen, in den nächsten Runden wieder etwas einzahlen. Tun sie das nicht, ist von dem eingezahlten Geld die Hälfte verloren. Dadurch geben die Agenten also allmählich nicht nur in der 9. und 10. Runde, sondern auch in der 8. Runde nichts. Wenn in der 8. Runde niemand etwas gibt, dann zahlt bald auch in der 7. Runde niemand mehr Geld in die Kasse ein. Und so ziehen sich die Agenten gegenseitig immer weiter nach unten, bis schließlich gar kein Geld mehr eingezahlt wird.

Der bei Menschen beobachtete Effekt, am Anfang viel und in den letzten Runden nichts zu geben, tritt also auch bei den Agenten mit Taktik 8 auf. Der Unterschied ist nur, dass die Agenten erst eine gewisse Anzahl von Spielen brauchen, um zu dieser Strategie zu kommen, weil sie im Gegensatz zum Menschen noch keine Erfahrungen aus anderen Situationen haben, die sie auf das Spiel anwenden können. Außerdem geben die Agenten in den ersten Runden nicht nur etwa die Hälfte, sondern oft ihr gesamtes Guthaben, was sich möglicherweise damit erklären lässt, dass Menschen nicht so gerne ein Risiko eingehen. Auf diese haben sie zumindest die Hälfte des Geldes sicher (zusätzlich zu dem Geld, dass sie auf jeden Fall aus der Kasse zurückbekommen, auch wenn die anderen nichts einzahlen).
Interessant wäre jetzt zu sehen, ob Menschen, wenn man das Spiel sehr oft mit den gleichen Spielern wiederholt, auch allmählich immer früher nichts geben. Das würde bestätigen, dass sich die Ergebnisse der Simulation zumindest teilweise auf das menschliche Verhalten übertragen lassen.

Übertragen auf reale Situationen spielt der Effekt, dass in der letzten Runde nichts eingezahlt wird, jedoch keine sehr große Rolle, da die meisten Beziehungen nicht zeitlich begrenzt sind, das heißt, es gibt oft keine "letzte Runde", in der keiner mehr kooperiert, beziehungsweise man weiß vorher nicht, wann sie sein wird.

## 3.5. Methodenreflexion

Die Agenten können nur zwischen elf verschiedenen Prozentsätzen auswählen, weil das Programm anderenfalls, wenn man alle möglichen Beträge betrachten würde, zu viel Speicherplatz verbraucht hätte und außerdem der Lernprozess und die Auswahl zu lange dauern würden. Menschen dagegen können jeden beliebigen Betrag einzahlen, sie haben also mehr Handlungsspielraum als die Agenten.

Auch sonst kann sich die Simulation dem Verhalten von Menschen nur annähern, es aber auf keinen Fall vollständig beschreiben, da es in Wirklichkeit noch viel mehr Faktoren gibt, die beeinflussen, wieviel Geld sie einzahlen, zum Beispiel Mimik und Gestik der Mitspieler oder auch ihr Aussehen, denn wenn die anderen zum Beispiel symphatisch wirken, wird man wahrscheinlich größere Beträge einzahlen. Dadurch haben Menschen zusätzliche Informationen über ihre Mitspieler, auch wenn diese nicht unbedingt immer richtig interpretiert werden.
Aber selbst wenn man seine Mitspieler nicht sieht, kann beispielsweise die momentane Stimmung die Entscheidungen beeinflussen. Außerdem spielt die Höhe des Startguthabens bei Menschen eine sehr wesentliche Rolle. Für die Agenten in dieser Simulation ist nur relevant, wieviel Prozent in Bezug auf das Guthaben sie gewonnen haben. Für einen Menschen dagegen ist es ein großer Unterschied, 20 oder 20.000 Euro zu gewinnen beziehungsweise zu verlieren, bei kleinen Beträgen geht man eher mal ein Risiko ein und traut sich zu experimentieren.

# 4. Schlussbetrachtung

## 4.1. Zusammenfassung

Insgesamt kommen die 8er-Agenten am nähesten an das menschliche Verhalten heran. Durch ihre Flexibilität bei der Auswahl und ihre Lernfähifkeit erzielen sie deutlich bessere Ergebnisse als alle anderen Agenten. Außerdem tritt dasselbe Phänomen auf, das auch im realen Experiment aufgetreten ist: In den letzten Runden geben die Agenten nichts in die Kasse, da es sich nicht lohnt, in jemanden Geld zu investieren, mit dem man später nicht mehr zusammenarbeitet (siehe 3.5.). Genauso wie niemand in eine Firma investieren wird (zum Beispiel in Form von Aktien), bei der abzusehen ist, dass sie bald bankrott ist und somit keinen Gewinn mehr erwirtschaften wird.

Auch wenn das Verhalten der 8er-Agenten dem der Menschen ähnlich ist, muss man die gewonnenen Ergebnisse kritisch betrachten, denn es gibt trotzdem noch deutliche Unterschiede, wie zum Beispiel die Tatsache, dass die Agenten in den ersten Runden wesentlich mehr gaben als die Personen bei dem Versuch. Außerdem sind die Ergebnisse nur bedingt auf andere Situationen zu übertragen, da die Möglichkeiten innerhalb des Spiels sehr eingeschränkt waren, was in der Realität normalerweise nicht der Fall ist.

## 4.2. Anwendungsmöglichkeiten und Erweiterungen

Die Anwendungsmöglichkeiten für die Simulation sind eher begrenzt, da es sich um Grundlagenforschung handelt. Allerdings wäre es trotzdem vorstellbar, durch eine geeignete Auswahl von Parameterwerten und das Einführen anderer oder neuer Regeln für das Spiel (zum Beispiel mehr als vier Mitspieler, andere Aufteilung des Geldes in der Kasse, etc.) eine real existierende Wirtschaftssituation zu simulieren. Die Mitspieler könnten dabei zum Beispiel der Arbeitgeber, der Arbeitnehmer, die Bank, die einen Kredit gewährt und der Händler, der die Ware verkauft, sein und den Gewinn, den sie gemeinsam erwirtschaften, würde dem Verdoppeln des Geldes in der Kasse entsprechen. Dadurch wäre man zum einen in der Lage, diese Wirtschaftsprozesse genauer zu erforschen und so besser zu verstehen und zum anderen lassen sich auf diese Weise möglichst gewinnversprechende Vorgehensweisen ermitteln.

Außerdem wäre durch eine größere Auswahl an Prozentsätzen (zum Beispiel 0%, 1%, 2%, ..., 100%) eine größere Genauigkeit möglich und andere Lernverfahren könnten einen schnelleren Lernprozess oder eine noch bessere Annäherung an das menschliche Verhalten ermöglichen. Als alternatives Lernverfahren könnten die Agenten ihre Strategie zum Beispiel evolutionär entwickeln, das heißt, es werden zufällige Prozentsätze für die Agenten gewählt, die diese beibehalten und die erfolgreichsten unter ihnen werden dann zu neuen Agenten kombiniert, von denen wieder die erfolgreichsten ausgewählt werden, usw. Der Gewinn sollte in diesem Fall wie bei den 8er-Agenten immer weiter steigen, da nur die am besten angepassten Agenten ihre Eigenschaften "vererben" können, so dass auch die Strategie immer weiter verbessert wird.
Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit ist die Anpassung der Strategie innerhalb eines Spiels, da die ersten Runden Aufschluss über das weitere Verhalten der anderen Agenten geben können. So könnte ein Agent beispielsweise mehrere Strategien zur Verfügung haben, die er abhängig davon, was die anderen einzahlen, auswählt.
Eine zusätzliche Möglichkeit der Erweiterung ist die Einführung von Sanktionen. Die Ergebnisse könnten dann mit den Ergebnissen des realen Experiments verglichen werden und es ließen sich außerdem auch Situationen simulieren, in denen die Bestrafung eine wichtige Rolle spielt.

# 5. Literaturverzeichnis

(1) Arnold, Tone / Jörg Naeve / Ulrich Schwalbe: Spieltheorie, Skript zur Vorlesung an der Universität Hohenheim, Sommersemester 2003, http://www.uni-hohenheim.de/~www520c/Lehre/Spieltheorie/spieltheorie.htm
(2) Malsch, Thomas / Michael Florian / Michael Jonas / Ingo Schulz-Schaeffer: Sozionik: Expeditionen ins Grenzgebiet zwischen Soziologie und Künstlicher Intelligenz, in: Künstliche Intelligenz KI, Juni 1996, S.6-12
(3) Manhart, Dr. Klaus: Künstlich sozial – Sozionik: Die Informatik entdeckt die Soziologie, in: c't 1999, Heft 21 S. 134-140
(4) Mérö, László: Die Logik der Unvernunft – Spieltheorie und die Psychologie des Handelns, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg, Juli 2000
(5) Sigmund, Karl / Ernst Fehr / Martin A. Nowak: Teilen und Helfen – Ursprünge sozialen Verhaltens, in: Spektrum der Wissenschaft, März 2002, S.52-59