Kooperative Strategien im Gefangenendilemma: Computersimulation eines N-Personen-Spiels

Manhart, Klaus; Diekmann, Andreas

Veröffentlichungsversion / Published Version
Zeitschriftenartikel / journal article

Andreas Diekmann/Klaus Manhart

Kooperative Strategien im Gefangenendilemma. Computersimulation eines N-Personen-Spiels*

Abstract: Simulation studies in the context of Robert Axelrod's research on iterative prisoner's dilemma games focus nearly exclusively on the two-player-version of the game. In contrast, this article reports results of a simulation with an iterated N-prisoners' dilemma where group size N varies between 2 and 30. The simulation investigates the relative performance of conditional cooperative strategies with increasing group size. Results show that some 'nice' strategies like 'tit-for-tat' are relatively successful and robust even in larger groups and non-nice environments. However, this does not solve the cooperation problem. On the contrary, the relative success of some 'nice' conditional cooperative strategies is paralleled by a rapid decline of cooperation in large groups.

I. Das Kooperationsproblem im Zwei-Personen-Gefangenendilemma

Das Gefangenendilemma (GD) ist bekanntlich das Paradigma für eine soziale Situation, in der zwei Individuen - oder allgemein zwei Entscheidungsträger - unter der Prämisse individuell rationalen Handelns ungünstigere Ergebnisse erzielen als im Fall beidseitiger Kooperation. In der Sprache der Spieltheorie formuliert, existieren für jeden Spieler zwei Strategien C und D, wobei der Schnittpunkt der dominierenden, 'defektiven' D-Straegien ein pareto-ineffizientes Gleichgewicht darstellt (siehe Spielmatrix 1). Die beiderseitige Entscheidung für die kooperative Option 'C' liefert zwar eine pareto-optimale Auszahlung, jedoch handelt es sich nicht um einen Gleichgewichtspunkt, da für jeden Spieler der Anreiz existiert, einseitig die Kooperation aufzukündigen (d.h. D zu wählen) und seinen Gegenspieler auszubeuten.

Ein 2-Personen GD ist allgemein definiert durch die Rangfolge der mit den Strategiekombinationen DC, CC, DD, CD korrespondierenden Auszahlungen:

$$(1) \qquad T > R > P > S$$

		Spieler 2 C	Spieler 2 D
Spieler 1	C	3,3 (R,R)	0,5 (S,T)
	D	5,0 (T,S)	1,1 (P,P)

Tabelle 1: Matrix des 2-GD

Tabelle 1 zeigt eine spezielle Auszahlungsmatrix mit den von Axelrod (1984) in seinem Computerturnier gewählten Auszahlungen.

Unterstellt man die Abwesenheit exogen gegebener sozialer Normen oder moralischer Regeln (deren Existenz praktisch die Spielmatrix transformieren würde) und wird ferner angenommen, daß keine bindenden Verträge zwischen den Spielern abgeschlossen werden können (nicht-kooperatives Spiel), so kann die Wahl von D als individuell rationale Strategie gelten. Die Auszahlung (1,1) im Beispiel der Tabelle 1 ist dann ungünstiger als das pareto-optimale, "kollektiv-rationale" (Rapoport 1966, 130) Ergebnis (3,3) bei beiderseitiger C-Wahl. Die Bedeutung des GD-Spiels ergibt sich aus der Tatsache, daß zahlreiche, äußerst interessante soziale Konfliktsituationen im Kern dem Typ einer GD-Struktur entsprechen. Beispiele hierfür sind der soziale Tausch (wenn die Anrufung einer äußeren 'Gerichtsinstanz' nicht möglich ist), die Situation von zwei Individuen im Hobbesschen Urzustand, der Rüstungswettlauf zwischen zwei Nationen u.a.m.

Eine Lösung des Dilemmas erfordert bei einmaliger Durchführung des Spiels mehr oder minder restriktive Zusatzannahmen. Im Prinzip sind alle Lösungsvorschläge dadurch charakterisierbar, daß das GD unter Heranziehung von Zusatzannahmen reformuliert und der Nachweis einer kooperativen, pareto-optimalen Gleichgewichtslösung erbracht wird. Die 'normative Lösung' unterstellt die Existenz moralischer Regeln (z.B. die Forderung des 'Kategorischen Imperativs') und 'entschärft' damit das Dilemma implizit durch die Veränderung der Spielmatrix. Die alternative Annahme einer äußeren Sanktionsinstanz bei Vertragsverletzungen (sozusagen Hobbes 'Leviathan') wäre gleichbedeutend mit der Überführung des ursprünglich nicht-kooperativen Spiels in ein kooperatives Spiel mit bindenden Vertragsabschlüssen. Weitere Lösungsvorschläge basieren auf zusätzlichen Informationsannahmen. Hierzu zählen Howards Metaspiele (Howard 1971, siehe auch

Rapoport 1967) und das 'Moralspiel' von Hegselmann, Raub und Voss (1986). Die Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß die ersteren beiden Vorschläge starke, in sozialen Situationen selten erfüllte Informationsannahmen erfordern.[1]

Kooperative Lösungen sind hingegen im Falle des iterativen, wiederholt gespielten Gefangenendilemmas theoretisch konsistent begründbar. Mit der in den siebziger Jahren entwickelten Theorie der Superspiele (Friedman 1971; Taylor 1976; siehe auch Raub/Voss 1986) konnte der Nachweis erbracht werden, daß bei unendlich oft wiederholten GD-Spielen (d.h. die Zahl der Runden bzw. das Ende einer Spielsequenz ist zu Spielbeginn unbekannt) bedingt kooperative Gleichgewichtsstrategien im 'Superspiel' existieren. Unter einer Superspielstrategie wird dabei eine Entscheidungssequenz oder Regel verstanden, mit der die jeweiligen C- bzw. D-Wahlen im Verlauf des iterierten Spiels festgelegt werden. Die Strategie ist bedingt, wenn die Entscheidung für C oder D in Runde i des 'Basisspiels' (des ursprünglichen GD wie in Spielmatrix 1) von den Entscheidungen des Spielpartners in den Vorrunden abhängig gemacht wird. Um auszuschließen, daß alternierende Kooperation und Defektion des Spielers gekoppelt mit alternierender Defektion und Kooperation des Gegenspielers pareto-effiziente Auszahlungen ergibt (was den Charakter des Spiels ändern würde), wird im iterativen GD-Basisspiel allgemein neben der Rangfolge (1) noch gefordert, daß die Ungleichung $(T + S)/2 < R$ erfüllt ist (vgl. Tabelle 1).

Die Theorie der Superspiele leistet u.a. den Beweis der folgenden zwei Theoreme (Friedman 1971; 1977; siehe auch Raub/Voss 1986).

(i) In der Klasse der <u>unbedingten</u> Strategien des Superspiels existiert nur eine Gleichgewichtsstrategie. Diese lautet: "Wähle in jedem 'Basisspiel' ungeachtet der Entscheidungen des Mitspielers D ('Immer D')."

(ii) Die Klasse der <u>bedingten</u> Gleichgewichtsstrategien enthält eine nichtleere Teilmenge von Strategien, die für jedes Basisspiel, abhängig von der Strategie des Mitspielers, eine kooperative und pareto-optimale Entscheidung liefern können.

Mit Theorem (ii) wird ausgesagt, daß eine kooperative 'Lösung' des GD möglich ist, sofern das Spiel unendlich oft iteriert wird. "Unendlich oft" kann dahingehend interpretiert werden, daß die Rundennummer des Spielendes im vorhinein ungewiß bleibt. Dies entspricht der Einführung einer Abbruchswahrscheinlichkeit oder eines Diskontierungsfaktors (z.B. in der Situation einer sozialen Austauschsequenz zwischen zwei Geschäftspartnern), der die Gültigkeit des Theorems unberührt läßt, vorausgesetzt der Diskontierungsfaktor überschreitet eine kritische Grenze, die durch die

Auszahlungsmatrix bestimmt wird.[2] Der Diskontfaktor ist als Maß für den Wert der Zukunft interpretierbar. Je größer "der Schatten der Zukunft" (Axelrod), d.h. je näher der Diskontfaktor an der Obergrenze von eins liegt, desto leichter wird Kooperation herstellbar sein.

Offen bleibt bei Friedman freilich, wie gut jeweils die unendlich vielen denkbaren, bedingt kooperativen Gleichgewichtsstrategien im Wettkampf mit ihresgleichen und mit anderen Strategien abschneiden. Diese Frage läßt sich allerdings nicht allgemein beantworten, da der Pool verfügbarer Strategien unendlich ist. Mit der Methode der Computersimulaton kann aber zumindest eine vorläufige Antwort versucht werden. Diesen Weg hat Axelrod (1980a; 1980b) mit seinen einfallsreichen Computerexperimenten gewiesen.

Die Ergebnisse des von Axelrod durchgeführten Computerturniers haben weltweit Aufsehen erregt und werden vielen Lesern bekannt sein. Wir skizzieren die Resultate hier in aller Kürze. In zwei Turnieren mit zunächst 14 und sodann 63 von Turnierteilnehmern aus aller Welt eingesandten Strategien (sowie zusätzlich der Strategie RANDOM) stellte sich heraus, daß überraschenderweise das einfache Programm 'Tit-for-Tat' (TFT), bestehend aus vier Fortran-Zeilen, die meisten Punkte erzielte. Das Turnier basierte auf der Spielmatrix in Tabelle 1, wobei eine Spielsequenz des iterativen GD-Spiels 200 Runden umfaßte. Jede Strategie spielte in paarweisen Vergleichen gegen sich selbst und alle übrigen Konkurrenten.

Der Gewinner 'TFT', eingereicht von dem kanadischen Spieltheoretiker, Psychologen und Philosophen Anatol Rapoport, kennt nur zwei Regeln: TFT eröffnet nie die Feindseligkeiten zuerst (d.h. es wird C gespielt, solange der Spielpartner C wählt). Diese Eigenschaft wird im technischen Sinne als 'freundliche' Strategie ('nice strategy') bezeichnet. Zweitens imitiert TFT exakt die Entscheidung des Mitspielers aus der Vorrunde einer Spielsequenz. C wird somit mit C belohnt, D mit D vergolten. TFT ist eine bedingt kooperative Gleichgewichtsstrategie im Superspiel. Wie sich zeigen läßt, existiert kein Anreiz, von der TFT-Strategie abzuweichen, wenn zwei Spieler diese Strategie gegeneinander spielen.[3] Interessanterweise gewinnt TFT niemals in einer einzelnen Spielsequenz, obwohl diese Strategie in der globalen Punktwertung bezüglich aller möglichen Zweier-Turniere den Sieg davontrug. Gegenüber allen 'freundlichen' Strategien erzielt TFT die gleiche Punktzahl wie der Spielpartner (600 Punkte in Axelrods Turnier), gegenüber allen 'unfreundlichen' Strategien erhält das Programm maximal 5 Punkte weniger als die gegnerische Strategie (wegen des Auftretens von höchstens einer C/D-Kombination mehr zugunsten des Mitspielers). Axelrod erklärt den Sieg von TFT durch vier Eigenschaften: 'Freundlichkeit', 'Nicht-Provozierbarkeit' (auf D wird unmittelbar mit D reagiert), 'Nachsichtigkeit' (ein 'Friedensangebot' wird sofort mit C beantwortet) und 'Einfachheit'.

Noch bemerkenswerter aber ist, daß in den Turnieren alle 'freundlichen' Strategien höhere Punktzahlen erreichten als 'unfreundliche' Strategien. Der Grund ist, daß letztere zwar gelegentlich erstere ausbeuten, mit bedingt kooperativen Strategien wie z.B. TFT aber weniger Punkte verbuchen können als die freundlichen Programme untereinander, und sich zudem beim Wettkampf mit ihresgleichen durch zahlreiche D/D-Kombinationen gegenseitig Punkte rauben. Innerhalb der Klasse der netten Strategien wird auf der anderen Seite zwar nicht das maximale, wohl aber das jeweils pareto-maximale Ergebnis von 600 Punkten erzielt. Mit den Worten "in weakness is strength" (Rapoport) kann der Erfolg der freundlichen Strategien kommentiert werden.

Zu berücksichtigen ist jedoch, daß die Ergebnisse auch von speziellen Bedingungen der Simulation abhängig sein können. Hierzu zählt sowohl die gewählte Auszahlungsmatrix in Tabelle 1 als auch vor allem die Strategieumwelt, d.h. die Art und Häufigkeit der Mitspieler-Strategien. So wird z.B. - um einen Extremfall zu nennen - eine einzelne TFT-Strategie in einer Umwelt von sehr vielen Immer-D-Strategien punktemäßig auf den letzten Platz verwiesen werden. (Ab einer bestimmten, relativ kleinen kritischen Menge von TFT-Stragegien gelingt es aber dem 'TFT-Cluster' im Strategien-Pool 'Immer-D' zu unterwandern - siehe Axelrod 1984, 213) Gelegentlich wurde auch auf zwei Schwächen von TFT hingewiesen. Von geringerer Bedeutung ist dabei, daß TFT gegenüber der Strategie RANDOM (d.h. der zufälligen Wahl von C bzw. D mit gleicher Wahrscheinlichkeit) nicht optimal spielt. 'Immer D' ist in dem Fall, daß ein Programm als RANDOM erkannt wird, die beste Antwortstrategie. Als gewichtiger gilt jedoch, daß im Wettkampf von TFT mit einem leicht modifizierten TFT-Programm, das im Unterschied zur reinen TFT-Strategie mit einer gewissen, kleinen Wahrscheinlichkeit Irrtümer begeht (d.h. gelegentlich einmal fehlerhaft D wählt), eine lange Serie von 'Echo-Effekten' mit C/D- bzw. D/C-Kombinationen bewirkt wird (Axelrod 1984, 176). TFT-ähnliche Programme, die stärker 'verzeihen' als die reine TFT-Strategie, können diese Schwäche überwinden. So hat in einem von Donninger (1986) durchgeführten Computerexperiment eine TFT-Variante den ersten Platz belegt, die in jeder zehnten Runde mit zwei aufeinanderfolgenden C-Zügen sozusagen einen neuen Start veranlaßt. Die Logik von TFTC lautet, nach einer Serie von Aggressionen ein neues 'Friedensangebot' vorzuschlagen, um einem bedingt kooperativen Mitspieler wiederum zu einer Kooperationssequenz zu verhelfen. Auch in Axelrods zweiter Simulation hätte nach den Worten des Autors (Axelrod 1984, 39) die stärker nachsichtige Variante 'Tit-for-two-tats' (TF2T) TFT beim globalen Punktevergleich geschlagen. TF2T, eine Strategie, die erst nach zwei Defektionen des Mitspielers diesen mit D sanktioniert, wurde jedoch in Axelrods Turnier nicht eingereicht. Die erwähnten Probleme der reinen TFT-Strategie sowie die Erkenntnis, daß bei Variationen der Strategieumwelt TFT zwar einen guten Platz belegt, keineswegs aber immer den Sieg davontragen muß, ändert allerdings nicht die zentralen Resultate der Computerexperimente Axelrods bezüglich der Überlegenheit freundlicher, bedingt kooperativer Strategien.

Axelrods Arbeiten haben inzwischen eine Vielzahl von Folgeexperimenten ausgelöst, bei denen nicht nur die Strategieumwelt, sondern auch verschiedene Spielregeln der ursprünglichen Simulationsstudie variiert wurden. Untersucht wurden u.a. Reputationseffekte, Wettkämpfe mit Erinnerungen an vorhergehende Begegnungen mit der gleichen Strategie, dynamische Veränderungen der Auszahlungsmatrix im Spielverlauf, GD mit nicht-simultanen Entscheidungen, Wettkämpfe, bei denen als dritte Alternative der Abbruch einer Beziehung zur Wahl stand, die Analyse des Erfolgs von Strategien unter Berücksichtigung von Fehlerwahrscheinlichkeiten ('trembling hand') u.a.m. (vgl. Raub/Weesie 1988; Coleman 1986; Donninger 1986; Schüssler 1986; 1988; Müller 1987; zusammenfassend auch Axelrod/Dion 1989). Diese Studien beziehen sich jedoch auf Turniere mit dyadischen Begegnungen, d.h. auf das iterierte 2-Personen-GD. Unser Interesse konzentriert sich hingegen im folgenden auf simultane Wettkämpfe zwischen mehreren Spielern und damit auf das N-Personen-GD.

II. Kooperation im N-Personen-GD

1. Kooperationsprobleme im iterierten N-GD

Die Simulationsexperimente von Axelrod wählen als Ausgangspunkt das iterierte 2-Personen-GD. Die analytischen Resultate von Friedman (1971) sind jedoch umfassender. Theorem (ii) im vorhergehenden Abschnitt, das die Existenz eines Kooperationsgleichgewichts bedingter Strategien im Superspiel behauptet, bezieht sich nicht nur auf den Spezialfall $N = 2$, sondern allgemein auf N-Personen-GDs. Es läßt sich noch genauer formulieren, daß nur diejenigen bedingt kooperativen Strategien im N-GD ein Gleichgewicht bilden, die 'streng provozierbar' sind. D.h. eine notwendige Voraussetzung dafür, daß eine bedingt kooperative Strategie die Gleichgewichtseigenschaft aufweist, ist, daß die Strategie bereits auf die defektive Wahl von mindestens einem Mitspieler in der Vorrunde in der unmittelbar folgenden Runde mit 'D' reagiert (Raub/Voss 1986, 315; Raub 1988, 327). Ferner haben Boyd und Richerson (1988) gezeigt, daß im Fall der Interaktion von 'Immer D' mit verallgemeinerten TFT-Strategien mit wachsender Gruppengröße zunehmend restriktivere Bedingungen erforderlich sind, um kooperativen Strategien auf evolutionärem Wege zum Erfolg zu verhelfen. Offen bleibt allerdings, ob und welche der bedingt kooperativen Strategien in einem Wettkampf mit verschiedenen Varianten 'unfreundlicher' Strategien im N-GD Erfolgschancen haben und ob, bzw. wie diese sich mit wachsender Gruppengröße N vermindern werden.

Die Bedeutung des N-GD leitet sich davon ab, daß in einer Vielzahl interessanter sozialer Situationen mit Dilemma-Struktur mehr als zwei Personen simultan miteinander interagieren. Das prominenteste Beispiel ist die Herstellung eines Kollektivguts in einer Gruppe von N Personen - eine Situation, die von Hardin (1971) als (einmaliges) N-GD modelliert wurde. Treffen die gleichen Gruppenmitglieder wiederholt eine Entscheidung über die Alternative 'Beitragsleistung zum Kollektivgut' (C-Wahl) oder 'Freeriding' (D-Wahl), so handelt es sich um ein iteriertes N-GD.

Trotz der theoretisch nachgewiesenen Existenz von bedingt kooperativen Gleichgewichtsstrategien im N-GD ist leicht einsehbar, daß die Herstellung und Erhaltung des Gleichgewichts in einer Umwelt feindlicher Strategien viel schwieriger ist als im 2-GD. Das Problem ist vor allem, daß Sanktionen nicht mehr gezielt defektive Spieler bestrafen wie im 2-GD, sondern auch die kooperativen Gruppenmitglieder. Wenn eine D-Wahl in Runde i in Runde i+1 ebenfalls durch eine D-Wahl vergolten wird, so trifft die Sanktion gleichfalls alle diejenigen Spieler, die sich in Runde i kooperativ verhalten haben. Sind diese nun ihrerseits geneigt, Vergeltung zu üben, wird sich das Kooperationsniveau mit wachsender Rundenzahl rasch vermindern. Nur in Gruppen mit ausschließlich freundlichen Strategien bleibt trivialerweise die Kooperation über den gesamten Spielverlauf erhalten. Da jedoch mit zunehmender Gruppengröße die Wahrscheinlichkeit einer Begegnung von N ausschließlich freundlichen Strategien sinkt, steigen die Erfolgschancen defektiver Strategien. Gleichzeitig sinken die durchschnittlichen Auszahlungen an die Turnierteilnehmer. Es ist somit zu erwarten, daß 'Immer-D' mit wachsendem N bei abnehmenden Durchschnittsauszahlungen in der Rangfolge der Turnierteilnehmer aufsteigen wird. Gleichzeitig werden kooperative Strategien absteigen. Offen bleiben aber die folgenden Fragen:

1) Wie schnell wird sich der vermutete Aufstieg von 'Immer-D' bei gegebener Menge der berücksichtigten Strategien mit wachsendem N vollziehen?

2) Gibt es bedingt kooperative Strategien, die auch bei wachsender Gruppengröße eine gute Erfolgschance haben? Gehört TFT zu diesen Strategien?

3) Wird sich die anfängliche Überlegenheit im 2-GD von freundlichen gegenüber 'unfreundlichen' Strategien mit wachsender Gruppengröße zugunsten letzterer umkehren?

Die im folgenden zu beschreibende Simulationsstudie wird versuchen, eine vorläufige Antwort auf diese Fragen zu geben.

2. Design der Simulationsstudie

Die Spielmatrix des N-GD, die der Simulation zugrunde gelegt wird, ist eine Verallgemeinerung der Matrix in Tabelle 1 mit folgender Auszahlungsfunktion:

(2) $A_C = 3(x - 1)/(N - 1)$

$A_D = (5x + (N - x - 1))/(N - 1)$

Hierbei ist A_C die Auszahlung an C-Spieler in Runde i, A_D entsprechend die Auszahlung an D-Spieler, N die Anzahl der Spieler und x die Anzahl der C-Wahlen in einer Spielrunde. Es ist leicht zu erkennen, daß die Auszahlungsfunktion für N = 2 genau die Axelrod-Matrix in Tabelle 1 reproduziert. Allgemein ist das N-GD für N = 2, 3, 4 ... derart aufgebaut, daß die Auszahlung an einen Spieler der Summe der Auszahlungen in allen 2-GDs mit den N-1 Mitspielern entspricht ('compound game'), dividiert durch die Anzahl der Mitspieler. Die Division durch (N-1) erlaubt den Vergleich der Auszahlungen bei unterschiedlichen Gruppengrößen. Die Auszahlungsfunktion (2) liefert die folgende Auszahlungsmatrix:

Zahl der Mitspieler, die "C" wählen:

	0	1	2	3		N-2	N-1
C	x = 1 0	x = 2 $\frac{3}{N-1}$	x = 3 $\frac{6}{N-1}$	x = 4 $\frac{9}{N-1}$	... ...	$\frac{3(N-2)}{N-1}$	3
Spieler j							
D	x = 0 1	x = 1 $\frac{N+3}{N-1}$	x = 2 $\frac{N+7}{N-1}$	x = 3 $\frac{N+11}{N-1}$	... ...	$\frac{5(N-2)+1}{N-1}$	5

Tabelle 2: Spielmatrix für das N-GD

Tabelle 2 zeigt die Spielmatrix des Basis-N-GD im iterierten Superspiel. Im Basisspiel ist D die dominierende Strategie. Der Schnittpunkt der D-Strategien liefert ein pareto-ineffizientes Gleichgewicht mit der Auszahlung 1 an Spieler j. Das pareto-optimale kooperative Ergebnis beträgt hingegen 3.

Eine Spielsequenz des iterierten N-GDs umfaßt wiederum 200 Spielrunden. Um die Effekte der Gruppengröße N zu studieren, werden insgesamt dreizehn Turniere durchgeführt mit N = 2, 3, ..., 10, 13, 15, 20, 30. Nicht alle Strategien werden bei Axelrod (1980a; 1980b; 1984) in nachvollziehbarer Weise beschrieben, so daß eine programmäßige Umsetzung ohne weiteres möglich wäre. Außerdem erfordern einige Strategien mit komplizierten Wahrscheinlichkeitsmechanismen einen relativ hohen Programmieraufwand. Wir beschränken uns hier auf eine Strategienteilmenge aus dem Turnier von Donninger (1986), wobei die ausgewählten 13 Strategien für den N-Personen-Fall in geeigneter Weise modifiziert wurden.

Die Übertragung der Strategien aus dem 2-GD auf den N-Personen-Fall erfordert, daß für alle bedingten Superspielstrategien die 'Bedingung' einer Defektion definiert wird. Ist z.B. für TFT im N-Personen-Spiel eine Defektion bereits gegeben, wenn in Runde i-1 nur eine Mitspieler-Strategie 'D' gewählt hat, oder aber erst dann, wenn 20%, 40% etc. der gegnerischen Strategien sich für 'D' entschieden haben? Es ist also eine Aggregationsregel erforderlich, die ausgehend von den Einzelentscheidungen in einer Spielrunde der Gruppe der Mitspieler das Merkmal 'defektiv' oder 'kooperativ' zuweist. Damit kommt als weiterer Parameter eine 'Toleranzschwelle' ins Spiel, die angibt, bei wievielen D-Wahlen die Entscheidung der Mitspieler als 'unfreundlich' registriert wird. Es sind dann für jede bedingte Strategie des 2-GD's im N-Personen-Spiel unterschiedliche Versionen einer Strategie denkbar, die sich durch den Parameter 'Toleranzschwelle' unterscheiden. Wir berücksichtigen in unserer ersten Simulation nur die jeweils 'strengsten' Varianten der bedingten Strategien. Dies bedeutet, daß die Entscheidungen der Mitspieler bereits dann als defektiv eingestuft werden, wenn mindestens eine gegnerische Strategie 'D' wählt. Wie weiter oben erwähnt, ist dies eine notwendige (aber nicht hinreichende) Bedingung dafür, daß eine bedingt kooperative Strategie ein Gleichgewicht bilden kann.

Bei der Simulation des 2-GD-Turniers werden alle denkbaren Paare von Strategien gebildet (einschließlich des Wettkampfs einer Strategie gegen sich selbst) und für diese Strategiepaare die Interaktionssequenzen über 200 Runden berechnet. Beim N-Personen-Turnier ist es im allgemeinen nicht mehr sinnvoll, den Wettkampf auf der Basis aller möglichen Strategiekombinationen für eine Gruppengröße N durchzuführen. Stattdessen konstruieren wir einen Strategienpool, aus dem wiederholt Strategiekombinationen der Gruppengröße N zufällig (mit Zurücklegen) gezogen werden. Bei unserer Simulation werden für jedes N 20.000 Ziehungen durchgeführt, so daß bei 13 Turnieren mit 200 Iterationen insgesamt 20.000 x 13 x 200 = 52 Millionen N-Personen-Spiele zu berechnen sind.[4]

Berücksichtigt werden folgende Strategien:

(1) TIT FOR TAT spielt in der 1. Runde C und wiederholt sodann in jeder Spielrunde die Entscheidung der Mitspieler in der vorhergehenden Runde.

(2) CHAMPION kooperiert in den ersten 10 Runden und spielt Tit for Tat in den nächsten 15 Runden. Nach 25 Runden kooperiert das Programm, außer alle folgenden Bedingungen sind erfüllt:
- die Mitspieler defektierten in der vorhergehenden Spielrunde,
- die Mitspieler kooperierten weniger als 60% bis zur jetzigen Runde,
- eine gleichverteilte Zufallszahl zwischen 0 und 1 ist größer als die Kooperationsrate der Mitspieler in den vorhergehenden Runden.

(3) FRIEDMAN ('Ewige Verdammnis') ist eine vollständig unnachsichtige Regel, die ewige Vergeltung übt: sie kooperiert solange, bis die Mitspieler zum ersten Mal abweichen und defektiert dann für immer.

(4) SHUBIK beginnt kooperativ; defektiert, nachdem die Mitspieler erstmals defektiert haben und erhöht mit jeder Defektion der Mitspieler die Zahl der eigenen Defektionen um 1.

(5) JOSS ist eine Regel, die im Prinzip TIT FOR TAT spielt, aber in 10% der Fälle defektiert, obwohl die Mitspieler kooperiert haben.

(6) RANDOM ist eine Zufallsregel, die sich für C oder D auf der Grundlage eines simulierten Münzwurfs entscheidet.

(7) EATHERLEY achtet darauf, wie oft die Mitspieler im bisherigen Spielverlauf kooperiert haben. Nachdem die Mitspieler 'D' gewählt haben, defektiert es mit der Wahrscheinlichkeit des Verhältnisses zwischen der Defektionszahl der Mitspieler und der Rundenzahl.

(8) TESTER ist für die Suche nach unbedingt kooperativen Mitspielern konstruiert, um diese auszubeuten, ist andererseits aber auch darauf vorbereitet, auszuweichen, wenn die Mitspieler sich nicht ausbeuten lassen. TESTER defektiert bereits beim 1. Zug, um die Reaktion der Mitspieler zu testen. Defektieren die Mitspieler, entschuldigt sich TESTER, indem es kooperiert und für den Rest des Spiels TIT FOR TAT spielt. Andernfalls kooperiert es beim 2. und 3. Zug, defektiert aber danach bei jedem 2. Zug.

(9) TIT FOR TWO TATS (TF2T) ist eine nachsichtige Variante von TIT FOR TAT und defektiert nur nach 2 Abweichungen der Spielpartner. (TIT FOR TWO TATS hätte Axelrods zweites Turnier gewonnen, wenn es eingereicht worden wäre).

(10) IMMER-D defektiert unabhängig von der Wahl des Gegners in jeder Runde.

(11) Analog spielt IMMER-C in jeder Runde kooperativ.

(12) TFTC belegte in Donningers (1986) Simulation mit dem Axelrod-Design den 1. Platz. Es spielt TIT FOR TAT, jeden 10. Zug aber unabhängig vom Zug des Gegners 2 kooperative Züge (TFTC ist bei Donninger die Strategie 'DIEKMANN').

(13) FRANCE wurde erster in Donningers Simulation mit abgeänderter Auszahlungsmatrix. Es spielt unabhängig vom Gegner im 4., 7., 10., 13. ... Zug D, sonst C.

Der Ausdruck "D-Wahl der Mitspieler" bedeutet im Falle der bedingten Strategien der N-Personen-Simulation, daß mindestens ein Mitspieler 'D' gewählt hat. Analog liegt eine Kooperation der Mitspieler nur dann vor, wenn alle Mitspieler sich für 'C' entschieden haben. Es wird also die niedrigste Toleranzschwelle gewählt. In diesem Sinne werden die bedingten Strategien des N-Personen-GD's als streng bezeichnet.

3. Ergebnisse der Simulation

Acht der dreizehn beteiligten Strategien weisen die Eigenschaft 'freundlich' auf. Im Strategienpool der Turniere befindet sich damit jeweils ein Anteil von nahezu zwei Dritteln kooperativer Strategien, die nie zuerst mit einer Defektion beginnen. Betrachten wir zunächst, wie die freundlichen im Vergleich mit den unfreundlichen Strategien abschneiden. Tabelle 3 und Abbildung 1 liefern einen vollständigen Überblick zu den Ergebnissen der dreizehn Turniere. Dabei sind die freundlichen Strategien in Tabelle 3 mit "+", die unfreundlichen Strategien mit "-" gekennzeichnet. Für N=2 entspricht unsere Simulation dem Axelrod-Turnier mit einer eingeschränkten Strategiemenge. Im Vergleich mit Axelrods Turnier sind die Ergebnisse in den zentralen Punkten relativ ähnlich. Mit der Ausnahme von TESTER ergibt sich das Muster einer perfekten Aufspaltung von 'freundlichen' und 'unfreundlichen' Strategien, wobei die freundlichen Strategien auf den vorderen und die unfreundlichen Strategien auf den hinteren Plätzen rangieren. Mit wachsender Gruppengröße hingegen wird dieses Muster der Segregation der zwei Strategieklassen zusehends aufgelockert. Mit dem Aufstieg von 'IMMER-D' und JOSS und dem Abstieg von 'IMMER-C', TFTC und CHAMPION

<u>Tabelle 3</u>: Ergebnisse des Turniers bei variierender Gruppengröße

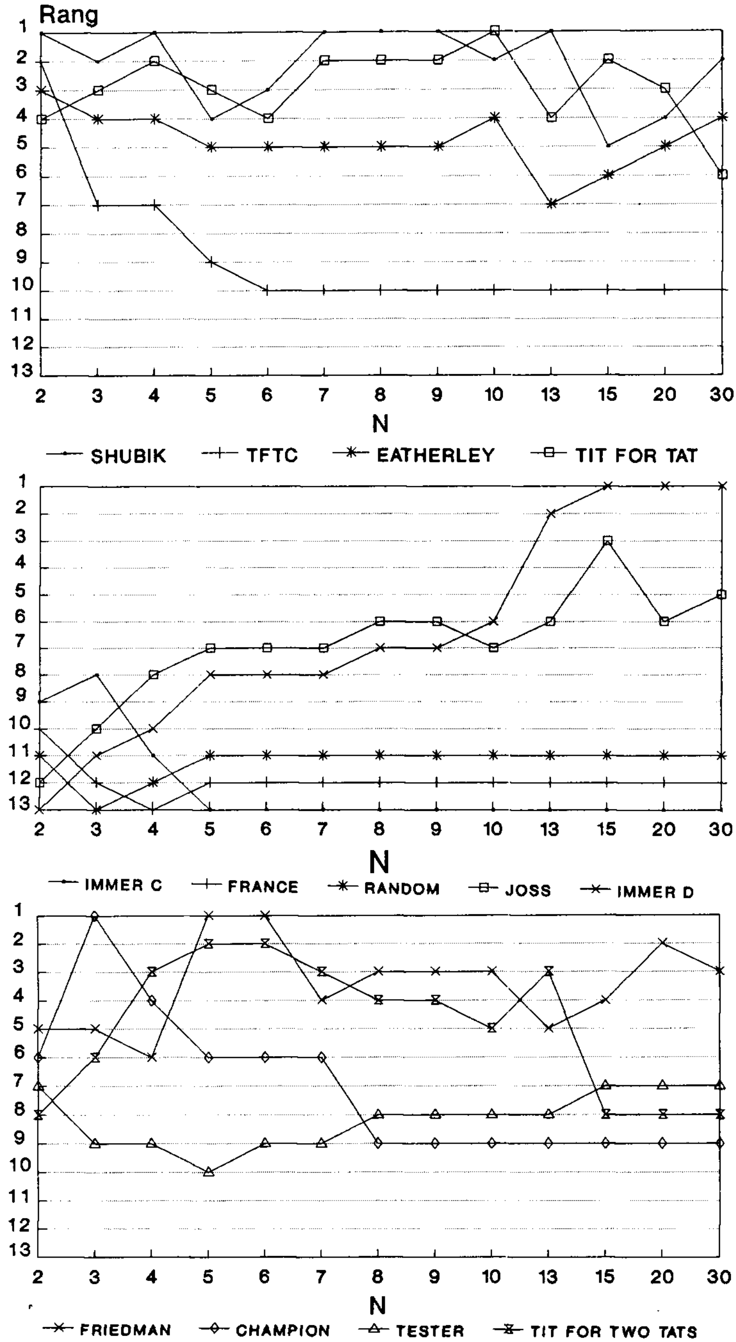
	N=2		N=3		N=4		N=5		N=6	
RANG	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE
1	+ SHUBIK	2.76	CHAMPION	2.34	SHUBIK	2.09	FRIEDMAN	1.97	FRIEDMAN	1.90
2	+ TFTC	2.69	SHUBIK	2.32	TFT	2.09	TF2T	1.96	TF2T	1.89
3	+ EATHERLEY	2.68	TFT	2.28	TF2T	2.08	TFT	1.96	SHUBIK	1.89
4	+ TFT	2.62	EATHERLEY	2.28	CHAMPION	2.08	SHUBIK	1.96	TFT	1.89
5	+ FRIEDMAN	2.60	FRIEDMAN	2.26	EATHERLEY	2.06	EATHERLEY	1.93	EATHERLEY	1.87
6	+ CHAMPION	2.58	TF2T	2.24	FRIEDMAN	2.05	CHAMPION	1.91	CHAMPION	1.84
7	- TESTER	2.56	TFTC	2.19	TFTC	1.92	JOSS	1.78	JOSS	1.78
8	+ TF2T	2.54	IMMER C	2.05	JOSS	1.81	IMMER D	1.77	IMMER D	1.76
9	+ IMMER C	2.44	TESTER	1.98	TESTER	1.79	TFTC	1.77	TESTER	1.75
10	- FRANCE	2.31	JOSS	1.83	IMMER D	1.76	TESTER	1.76	TFTC	1.68
11	- RANDOM	2.23	IMMER D	1.77	IMMER C	1.41	RANDOM	1.20	RANDOM	1.18
12	- JOSS	2.11	FRANCE	1.51	RANDOM	1.25	FRANCE	1.02	FRANCE	0.98
13	- IMMER D	1.74	RANDOM	1.51	FRANCE	1.13	IMMER C	1.01	IMMER C	0.83

	N=7		N=8		N=9		N=10		N=13	
RANG	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE
1	SHUBIK	1.83	SHUBIK	1.81	SHUBIK	1.80	TFT	1.78	SHUBIK	1.77
2	TFT	1.83	TFT	1.81	TFT	1.80	SHUBIK	1.78	IMMER D	1.76
3	TF2T	1.83	FRIEDMAN	1.81	FRIEDMAN	1.79	FRIEDMAN	1.78	TF2T	1.76
4	FRIEDMAN	1.83	TF2T	1.80	TF2T	1.78	EATHERLEY	1.77	TFT	1.76
5	EATHERLEY	1.82	EATHERLEY	1.80	EATHERLEY	1.78	TF2T	1.77	FRIEDMAN	1.75
6	CHAMPION	1.76	JOSS	1.77	JOSS	1.77	IMMER D	1.77	JOSS	1.75
7	JOSS	1.76	IMMER D	1.76	IMMER D	1.77	JOSS	1.76	EATHERLEY	1.75
8	IMMER D	1.76	TESTER	1.75	TESTER	1.76	TESTER	1.75	TESTER	1.75
9	TESTER	1.75	CHAMPION	1.74	CHAMPION	1.73	CHAMPION	1.71	CHAMPION	1.69
10	TFTC	1.60	TFTC	1.56	TFTC	1.56	TFTC	1.55	TFTC	1.51
11	RANDOM	1.17	RANDOM	1.16	RANDOM	1.18	RANDOM	1.18	RANDOM	1.16
12	FRANCE	0.96	FRANCE	0.96	FRANCE	0.96	FRANCE	0.96	FRANCE	0.95
13	IMMER C	0.71	IMMER C	0.67	IMMER C	0.65	IMMER C	0.62	IMMER C	0.58

	N=15		N=20		N=30	
RANG	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE	STRATEGIE	PUNKTE
1	IMMER D	1.76	IMMER D	1.75	IMMER D	1.76
2	TFT	1.76	FRIEDMAN	1.75	SHUBIK	1.75
3	JOSS	1.76	TFT	1.75	FRIEDMAN	1.75
4	FRIEDMAN	1.75	SHUBIK	1.75	EATHERLEY	1.75
5	SHUBIK	1.75	EATHERLEY	1.75	JOSS	1.75
6	EATHERLEY	1.75	JOSS	1.74	TFT	1.75
7	TESTER	1.75	TESTER	1.74	TESTER	1.75
8	TF2T	1.74	TF2T	1.74	TF2T	1.75
9	CHAMPION	1.69	CHAMPION	1.69	CHAMPION	1.69
10	TFTC	1.51	TFTC	1.50	TFTC	1.51
11	RANDOM	1.17	RANDOM	1.16	RANDOM	1.17
12	FRANCE	0.95	FRANCE	0.94	FRANCE	0.95
13	IMMER C	0.57	IMMER C	0.57	IMMER C	0.57

+ freundliche Strategie
- unfreundliche Strategie

Abbildung 1: Rangplätze der Strategien nach Gruppengröße



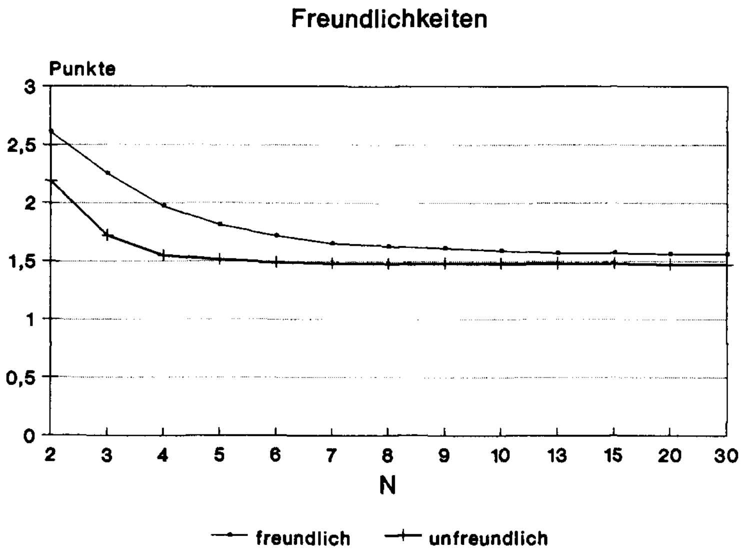


Abbildung 2: Durchschnittsauszahlung an 'freundliche' und 'unfreundliche' Strategien nach der Gruppengröße

erfolgt eine Durchmischung der freundlichen und unfreundlichen Strategien im Hinblick auf die Rangfolge. Es ist somit auch nicht der Fall, daß sich die Rangfolge freundlicher und unfreundlicher Strategien vollständig umkehrt. Mit wachsender Gruppengröße haben sowohl unkooperative als auch bedingt kooperative Strategien eine Chance, auf die vorderen Plätze zu gelangen. Dabei übertrifft die durchschnittliche Punktzahl der freundlichen Strategien in allen Turnieren bis N=30 die Durchschnittspunktzahl der unfreundlichen Strategien bei insgesamt erwartungsgemäß absinkenden Auszahlungen (Abbildung 2).

Die stetig sinkenden Durchschnittsauszahlungen sind durch den Anstieg defektiver Reaktionen zu erklären. Bei den bedingt kooperativen und den unkooperativen Strategien wächst mit der Gruppengröße die Häufigkeit von D/D-Kombinationen. Ablesbar ist dies an der Auszahlung für die Strategie 'IMMER-C', die ja nur in der C/C-Kombination 3 Punkte erzielen kann. Mit einem 'IMMER-C'-Gewinn von 2,44 für N=2 und 0,57 für N=30 fällt demnach der Anteil von C/C-Kombinationen von 81% (2,44/3) auf 19%.

Wie erwartet, verbessert sich der Rangplatz von 'IMMER-D' mit zunehmender Gruppengröße, während 'IMMER-C' kontinuierlich abfällt (Abbildung 1). Jedoch verläuft der Aufstieg von 'IMMER-D' nicht allzu rasch. Für mittlere Gruppengrößen bis N=10 erobert die defektive Strategie nur einen mittleren Rangplatz; erst für N > 13 erzielt 'IMMER-D' die höchste Punktzahl im Vergleich mit den Konkurrenten. Im Grenzfall sehr großer Gruppen, gemessen im Verhältnis zur Zahl der Strategien im Pool, liefert die Simulation allerdings keine neuen Erkenntnisse, die über einfache analytische Überlegungen hinausgehen. Übersteigt die Gruppengröße in hohem Maße die Zahl der Strategien, dann wird beim vorliegenden Design in nahezu jeder zufällig zusammengestellten Gruppe die Strategie 'IMMER-D' enthalten sein. Der Anteil der Gruppen, die im Durchschnitt mindestens einmal die Strategie 'IMMER-D' enthalten, läßt sich leicht berechnen. Er beträgt für N=10 55%, für N=13 65%, für N=30 91%, für N=50 98% und für N=100 99,97%. Wenn aber praktisch alle Gruppen vom 'Virus' 'IMMER-D' infiziert sind, wächst der Erfolg eines Programms nur noch mit der Zahl der Defektionen.

Die freundlichen, aber bedingt kooperativen Strategien SHUBIK, EATHERLEY, TFT und FRIEDMAN erreichen bei nahezu allen Gruppengrößen Plätze in der Spitzengruppe der fünf ersten Strategien. Betrachtet man nicht nur die Rangplätze, sondern die Punktzahlen, so zeigt sich, daß die Auszahlungen an diese Strategien mit wachsender Gruppengröße praktisch identische Werte annehmen. SHUBIK, TFT und FRIEDMAN zählen zu einer Familie von Gleichgewichtsstrategien im Superspiel, die sich nur durch die Länge von Vergeltungssequenzen nach einer Mitspieler-Defektion unterscheiden. Diese Strategien sind in ihrer strengen Version, d.h. es wird bereits auf die Defektion eines Mitspielers reagiert, relativ robust gegenüber der Gruppengröße. Bei kleinem N können sie die hohen Kooperationschancen mit anderen freundlichen Strategien in vollem Umfang wahrnehmen, bei großem N mit überwiegenden D/D-Sequenzen sind sie kaum ausbeutbar. Daß diese Strategien in großen Gruppen fast so gut abschneiden müssen wie 'IMMER-D', liegt einfach daran, daß sie in einer von Beginn an defektiven Gruppe nur am Anfang einen Verlust erleiden und dann mit einer fortwährenden D-Sequenz 'IMMER-D' praktisch kopieren. TFTC hingegen ist äußerst abhängig von der Gruppengröße und hat nur in dyadischen Beziehungen Siegeschancen. Ein erneutes Kooperationsangebot nach längeren D/D-Sequenzen oder Echo-Effekten, wie es TFTC vorsieht, hat offenbar nur dann die beabsichtigte Wirkungschance, wenn das Angebot gezielt an den einen Mitspieler in Gruppen der Größe N=2 gerichtet wird. Hier ist eine Rückkehr aus der 'D-Falle' unter Umständen noch möglich, während bei größeren Gruppen D-Sequenzen praktisch irreversibel sind.

Wie verhält es sich nun, wenn auch bedingte Strategien mit größerer Toleranzschwelle zugelassen werden? In einer erneuten Simulation wurden sowohl alle bedingten Strategien in einer 'strengen' als auch in einer 'neutralen' Version zugelassen. Im Falle der strengen Version wird wie bisher eine Gruppe dann als defektiv eingestuft, wenn *mindestens ein* anderes Gruppenmitglied D gewählt hat. Bei der 'neutralen' Version sind hingegen 50% oder mehr D-Entscheidungen von Mitspielerstrategien erforderlich, um eine

Gruppe als defektiv zu charakterisieren. TFT-neutral reagiert also erst dann z.B. in einer N=8-Gruppe mit D, wenn in der Vorrunde mindestens 50% der 7 Mitspieler, d.h. mindestens vier andere Strategien, D gewählt haben. Die Ergebnisse in Tabelle 4 zeigen, daß bei kleineren Gruppengrößen die strengen und neutralen Versionen bedingt kooperativer Strategien vordere Plätze der Rangliste einnehmen. Bei größeren Gruppen erleiden die neutralen jedoch wegen ihrer zu leichten Ausbeutbarkeit größere Punkteeinbußen. Die Ergebnisse bezüglich der übrigen Strategien ändern sich nicht wesentlich im Vergleich zum vorhergehenden Simulationsexperiment.

Bei beiden Simulationsexperimenten dominierten die freundlichen Programme im Strategienpool. Es fragt sich, ob eine Erhöhung des Anteils unfreundlicher Strategien durch eine entsprechend stärkere Gewichtung die Auszahlungsrangfolge nachhaltig beeinflussen wird. Um den Effekt einer stark unkooperativen Umgebung zu studieren, werden die unfreundlichen Programme bei der Zufallsziehung aus dem Strategienpool mit dem Faktor zwei, vier und zehn gewichtet. Gemäß den Ergebnissen in Tabelle 5 belegen die bedingt kooperativen Strategien SHUBIK, EATHERLEY, TFT, FRIEDMAN und mit Einschränkung TF2T bei kleinen, mittleren und größeren Gruppen die obersten Rangplätze. Erwartungsgemäß erhöht sich die Geschwindigkeit des Aufstiegs von IMMER-D mit der Gruppengröße, wenn der Anteil unfreundlicher Strategien im Pool wächst. Obwohl IMMER-D bei größeren Gruppen Platz eins erreicht, ist die durchschnittliche Auszahlung an die unfreundlichen Strategien auch bei einem hohen Anteil unkooperativer Strategien im Pool geringer als der Durchschnittswert der freundlichen Programme. IMMER-D gewinnt zwar bei größeren Gruppen, wird aber dicht gefolgt von einem Feld bedingt kooperativer Strategien, deren Erfolg gegenüber der Gruppengröße und der Strategienumwelt relativ robust ist.

RANG	N=4 STRATEGIE	N=6 STRATEGIE	N=8 STRATEGIE	N=10 STRATEGIE	N=12 STRATEGIE	N=20 STRATEGIE	N=30 STRATEGIE
1	TFT NEUTRAL	FRIEDMAN NEUTRAL	FRIEDMAN STRENG	TFT STRENG	TF2T STRENG	TF2T STRENG	IMMER D
2	FRIEDMAN NEUTRAL	SHUBIK NEUTRAL	SHUBIK STRENG	FRIEDMAN STRENG	IMMER D	FRIEDMAN STRENG	JOSS STRENG
3	SHUBIK NEUTRAL	TFT NEUTRAL	FRIEDMAN NEUTRAL	SHUBIK STRENG	TESTER STRENG	IMMER D	TESTER STRENG
4	CHAMPION STRENG	TF2T STRENG	TF2T STRENG	TF2T STRENG	FRIEDMAN STRENG	SHUBIK STRENG	EATHERLEY STRENG
5	CHAMPION NEUTRAL	CHAMPION STRENG	SHUBIK NEUTRAL	TESTER STRENG	SHUBIK STRENG	TESTER STRENG	TFT STRENG
18	TESTER NEUTRAL	TFTC STRENG	TFTC NEUTRAL	TFTC NEUTRAL	TFTC NEUTRAL	TFTC NEUTRAL	TFTC NEUTRAL
19	JOSS STRENG	TESTER NEUTRAL	TESTER NEUTRAL	TESTER NEUTRAL	TESTER NEUTRAL	TESTER NEUTRAL	TESTER NEUTRAL
20	IMMER D	IMMER C	RANDOM	RANDOM	RANDOM	RANDOM	RANDOM
21	FRANCE	RANDOM	FRANCE	FRANCE	FRANCE	FRANCE	FRANCE
22	RANDOM	FRANCE	IMMER C	IMMER C	IMMER C	IMMER C	IMMER C

Tabelle 4: Simulation mit 'strengen' und 'neutralen' bedingten Strategien

GEWICHTUNG UNFREUNDLICHER STRATEGIEN

	DOPPELT (ANTEIL 56%)				VIERFACH (ANTEIL 71%)			
RANG	N=2	N=6	N=12	N=30	N=2	N=6	N=12	N=30
1	SHUBIK	SHUBIK	IMMER D	IMMER D	SHUBIK	EATHERLEY	IMMER D	IMMER D
2	TFTC	TF2T	EATHERLEY	EATHERLEY	TFTC	IMMER D	EATHERLEY	EATHERLEY
3	EATHERLEY	TFT	FRIEDMAN	FRIEDMAN	EATHERLEY	TF2T	FRIEDMAN	SHUBIK
4	TFT	EATHERLEY	TESTER	TFT	TFT	FRIEDMAN	JOSS	FRIEDMAN
5	TESTER	FRIEDMAN	TFT	SHUBIK	CHAMPION	TESTER	TF2T	JOSS
6	CHAMPION	IMMER D	JOSS	JOSS	FRIEDMAN	JOSS	TESTER	TFT
7	FRIEDMAN	JOSS	SHUBIK	TESTER	TESTER	TFT	SHUBIK	TESTER
8	TF2T	TESTER	TF2T	TF2T	RANDOM	SHUBIK	TFT	TF2T
9	IMMER C	CHAMPION	CHAMPION	CHAMPION	TF2T	CHAMPION	CHAMPION	CHAMPION
10	FRANCE	TFTC	TFTC	TFTC	FRANCE	TFTC	TFTC	TFTC
11	RANDOM	RANDOM	RANDOM	RANDOM	IMMER C	RANDOM	RANDOM	RANDOM
12	JOSS	FRANCE	FRANCE	FRANCE	JOSS	FRANCE	FRANCE	FRANCE
13	IMMER D	IMMER C	IMMER C	IMMER C	IMMER D	IMMER C	IMMER C	IMMER C

	ZEHNFACH (ANTEIL 86%)			
RANG	N=2	N=6	N=12	N=30
1	SHUBIK	TF2T	TFT	IMMER D
2	TFTC	TFT	SHUBIK	EATHERLEY
3	EATHERLEY	IMMER D	IMMER D	TFT
4	TFT	FRIEDMAN	JOSS	JOSS
5	CHAMPION	SHUBIK	EATHERLEY	FRIEDMAN
6	RANDOM	TESTER	TF2T	SHUBIK
7	FRIEDMAN	JOSS	FRIEDMAN	TESTER
8	TESTER	EATHERLEY	TESTER	TF2T
9	TF2T	CHAMPION	CHAMPION	CHAMPION
10	IMMER D	TFTC	TFTC	TFTC
11	FRANCE	RANDOM	RANDOM	RANDOM
12	JOSS	FRANCE	FRANCE	FRANCE
13	IMMER C	IMMER C	IMMER C	IMMER C

Tabelle 5: Simulation mit erhöhter Gewichtung unfreundlicher Strategien

III. Ausblick

Das hier diskutierte Simulationsexperiment gibt eine Reihe von Hinweisen zu dem Problem, ob in iterierten Gefangenendilemma-Situationen bedingt kooperative Strategien auch dann eine Erfolgschance haben, wenn mehr als zwei Akteure simultan interagieren und die Umwelt sowohl verschiedene Varianten 'freundlicher' als auch 'unfreundlicher' Strategien umfaßt. Es zeigt sich erstens erwartungsgemäß, daß die unbedingt defektive Strategie 'IMMER-D' mit wachsender Gruppengröße in der Punktehierarchie aufsteigt, wobei die Geschwindigkeit vom Anteil unfreundlicher Strategien der Umgebung abhängt. Bei kleineren und mittleren Gruppengrößen ist 'IMMER-D' aber keineswegs zwangsläufig Turniersieger. Zweitens ist zu beobachten, daß bedingt kooperative Strategien, die freundlich aber provozierbar sind, d.h. auf eine Defektion eines Mitspielers sofort reagieren (wie die Gleichgewichtsstrategien SHUBIK, TIT FOR TAT, FRIEDMAN) oder mit hoher Wahrscheinlichkeit antworten (wie EATHERLEY), die oberen Rangplätze auch dann erreichen, wenn die Gruppengröße anwächst und der Anteil unfreundlicher Strategien im Strategienpool um 90% beträgt. Bei kleinen Gruppengrößen sind selbst tolerantere, weniger provozierbare, bedingt kooperative Strategievarianten relativ erfolgreich. Drittens liefert die Simulation das Resultat, daß bei allen Variationen des Experiments, d.h. bei steigender Gruppengröße, bei wachsendem Anteil unfreundlicher Strategien und bei Einführung 'neutraler' Strategievarianten die Durchschnittsauszahlungen an die freundlichen Strategien, die nie zuerst defektieren, jeweils über den Durchschnittsauszahlungen an die unfreundlichen Strategien liegen. Allerdings wird das Strategienfeld, gemessen am Kriterium der Freundlichkeit, im Unterschied zu Axelrods Zwei-Personen-Turnier durchmischt. Schneiden im 2-GD-Turnier noch nahezu alle freundlichen Strategien besser ab als die unfreundlichen Gegenspieler, so verteilen sich mit wachsender Gruppengröße freundliche und unfreundliche Strategien über die gesamte Punktehierarchie.

Bemerkenswert ist die Robustheit der freundlichen, bedingt kooperativen und streng provozierbaren Strategien, die sich nahezu unabhängig von der Gruppengröße und bei hohen Anteilen unfreundlicher Gegenstrategien erfolgreich behaupten.

Zu berücksichtigen ist dennoch, daß selbst das gute Abschneiden freundlicher Strategievarianten in der Rangfolge nicht darüber hinwegtäuscht, daß die absolute Auszahlungshöhe mit wachsender Gruppengröße in der Regel sowohl bei den freundlichen als auch den unfreundlichen Strategien absinkt. Mit zunehmender Gruppengröße setzt in der Spielsequenz eines N-GD rasch ein Prozeß der Erosion von Kooperation ein, so daß die Wahrscheinlichkeit pareto-ineffizienter Ergebnisse aus langen D-Sequenzen ansteigt. Bedingt kooperative Strategien können zwar auch bei größeren Gruppen vordere Plätze in der Rangfolge einnehmen, die Erosion der Kooperation können sie jedoch nicht bremsen, solange sich in der Umwelt eine kritische Masse unfreundlicher Gegenspieler befindet.

Anmerkungen

* Die in diesem Artikel berichteten Forschungsergebnisse sind aus einem Projekt des Forschungsschwerpunkts 'Dynamische Modellierung' des 'Zentrums für Umfragen, Methoden und Analysen' (ZUMA) hervorgegangen. Die Arbeiten wurden mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Für kritische Hinweise gilt unser Dank Thomas Voss, Universität München, und für technische Unterstützung Frau Dagmar Haas (ZUMA) sowie Frau Sabine Fleischer, Universität Mannheim.

1 Das Moralspiel von Hegselmann/Raub/Voss 1986 setzt die Kenntnis der moralischen Präferenzen des Mitspielers voraus. Diese starke Annahme erfährt jedoch eine interessante Interpretation bei der Anwendung des Spiels auf spezielle ökonomische Situationen (siehe Raub 1989).

2 Für den Diskontierungsfaktor w muß im 2-GD gelten: $w > (T-R)/(T-P)$, siehe zur Ableitung z.B. Axelrod 1984, 15, 216. Nur wenn der "Schatten der Zukunft" (Axelrod) stärker wiegt als eine unmittelbare Ausbeutung mit nachfolgender Defektionssequenz, kann fortwährende Kooperation eine größere Summe diskontierter Punktwerte erzielen als die Ausbeutungsstrategie.

3 Sofern der Diskontfaktor die in Anmerkung 2 angegebene Schwelle überschreitet.

4 Das Simulationsprogramm wurde in Turbo-Pascal geschrieben. Es benötigte für diese Aufgabe auf einem AT-286 mehrere Tage Rechenzeit.

Bibliographie

Axelrod, R. (1980a), Effective Choice in the Prisoner's Dilemma, in: Journal of Conflict Resolution 24, 3-25

- (1980b), More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma, in: Journal of Conflict Resolution 24, 379-403

- (1984), The Evolution of Cooperation, New York

- /D. Dion (1989), The Further Evolution of Cooperation, in: Science, 242, 1385-1390

Boyd, R./P.J. Richerson (1988), The Evolution of Reciprocity in Sizable Groups, in: Journal of Theoretical Biology 132, 337-356

Coleman, J.S. (1986), Social Structure and the Emergence of Norms Among Rational Actors, in: Diekmann/Mitter (eds.) (1986), 55-83

Diekmann, A./P. Mitter (eds.) (1986), Paradoxical Effects of Social Behavior - Essays in Honor of Anatol Rapoport, Heidelberg-Wien

Donninger, Ch. (1986), Is it Always Efficient to be Nice? A Computer Simulation of Axelrod's Computer Tournament, in: Diekmann/Mitter (eds.) (1986), 123-134

Friedman, J.W. (1971), A Non-Cooperative Equilibrium for Supergames, in: Review of Economic Studies 38, 1-12

- (1977), Oligopoly and the Theory of Games, Amsterdam

Hegselmann, R./W. Raub/Th. Voss (1986), Zur Entstehung der Moral aus natürlichen Neigungen. Eine spieltheoretische Spekulation, in: Analyse & Kritik 8, 150-177

Howard, N. (1971), Paradoxes of Rationality: Theory of Metagames and Political Behavior, Cambridge/Mass.

Maynard-Smith, J./G.R. Price (1974), The Logic of Animal Conflict, in: Nature 246, 15-18

Mueller, U. (1987), Optimal Retaliation for Optimal Cooperation, in: Journal of Conflict Resolution 31, 692-724

Rapoport, A. (1966), Two-Person Game Theory - The Essential Ideas, Ann Arbor

- (1967), Escape from Paradox, in: Scientific American 217, 50-56

Raub, W. (1988), Problematic Social Situations and the Large Number Dilemma, in: Journal of Mathematical Sociology 13, 311

- (1989), Hostage Games. Outline of a Mechanism of Cooperation in Problematic Social Situations and a Device for an Empirical Test in Experimental Games, Ms., Universität Utrecht

- /Th. Voss (1986), Conditions for Cooperation in Problematic Social Situations, in: Diekmann/Mitter (eds.) (1986), 85-103

- /J. Weesie (1988), Reputation and Efficiency in Social Interactions: An Example of Network Effects, Vortragsmanuskript für die Tagung der Arbeitsgruppe 'Mathematische Soziologie' (MASO) in Utrecht, Niederlande, vom 9.-11.6.1988

Schüssler, R. (1986), The Evolution of Reciprocal Cooperation, in: Diekmann/Mitter (eds.) (1986), 105-121

- (1988), Strategie, Evolution und Kooperation. Analysen zu Problemen egoistischer Kooperation, Diss. am Institut für Soziologie der Universität München

Taylor, M. (1976), Anarchy and Cooperation, London

- (1987), The Possibility of Cooperation, Cambridge

Voss, Th. (1985), Rationale Akteure und soziale Institutionen, München