

DR. ECKHART ZINZIUS

Grundbausteine einer Mathe- matik von Frieden und Konflikt

Dr. Eckhart Zinzius

**Grundbausteine einer Mathematik
von Frieden und Konflikt**

Dr. Eckhart Zinzius

Grundbausteine einer Mathematik von Frieden und Konflikt

In der vorliegenden Arbeit sind drei Abhandlungen zusammengefasst, die es erlauben, eine Interaktion zweier eigenverantwortlicher und gleichwertiger Akteure im alltäglichen Geben und Nehmen zu formalisieren. Eine derartige Formalisierbarkeit ist eine unabdingbare Voraussetzung für jedes mathematische Modell des gesellschaftlichen Austauschprozesses.¹

Inhaltsverzeichnis

1 Frieden und Konflikt aus mathematischer Sicht	3
1.1 Der Prozess des Gebens und Nehmens	3
1.2 Das Schadensverhältnis	6
1.3 Die Struktur eines Prozesses des Gebens und Nehmens	7
2 Verhaltensweisen und ihre Eigenschaften	11
2.1 Grundlagen	11
2.2 Eigenschaften von Verhaltensweisen	13
2.3 Eine Bemerkung zur Analyse von Verhaltensweisen	16
3 Friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen	17
3.1 Robert Axelrod's Ergebnisse	17
3.2 Friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen	18
3.3 Die Bestimmung sämtlicher friedlich-evolutionärer Verhaltensweisen	24
4 Ausblick	30
5 Literatur	31

¹Die hier vorliegende zweite Version ist eine gestraffte und sprachlich überarbeitete Version der Originalarbeit aus dem Jahr 1996.

Frieden und Konflikt aus mathematischer Sicht

Ausgehend von dem allen geläufigen alltäglichen Prozess des Gebens und Nehmens mit zwei eigenverantwortlichen und im Prinzip gleichen Akteuren wird zunächst ein Modell dieses Prozesses entwickelt und dann dessen Struktur analysiert. Damit gelingt die Erfassung aller Elementarteile, den sogenannten Elementargeschehnissen, aus denen sich ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens zusammensetzt. Anschließend werden diese Elementargeschehnisse in einem System von Konflikt und Frieden eingeordnet und schließlich darin klassifiziert.

1.1 Der Prozess des Gebens und Nehmens

Der Ausgangspunkt dieser Untersuchung ist das System des Gebens und Nehmens, jenem Gewebe einer jeden menschlichen Gesellschaft, denn nichts prägt neben Gesetzeswerken eine Gesellschaft so stark wie das System des Gebens und Nehmens. Zu einer genauen Untersuchung des allen geläufigen Systems des Gebens und Nehmens ist eine modellhafte formale Darstellung nötig.

Dazu wird festgelegt: Zwei Beteiligte befinden sich in einem Prozess des Gebens und Nehmens, wenn sie in einer Folge von einzelnen Handlungsabläufen jeweils die Wahl haben, das vom anderen Gewünschte zu geben oder nicht zu geben. Anstelle eines Prozesses des Gebens und Nehmens wird gelegentlich auch von einer Interaktion gesprochen. Das Gewünschte zu geben wird auch kooperieren genannt, 'nicht zu geben' defektieren. Anstelle von der i -ten Handlung wird auch vom i -ten Zug gesprochen. Damit tritt bei einem beliebigen i -ten Zug eines von vier möglichen Ergebnissen auf, nämlich das einer gemeinsamen Kooperation, das einer gemeinsamen Defektion und schließlich jene beiden Ergebnisse, die sich einstellen, wenn der Akteur kooperiert, während der andere defektiert. Bei diesen beiden letzten Fällen wird im Folgenden von einem Hereinlegen gesprochen.

Ein Zug eines beliebigen Prozesses des Gebens und Nehmens kann folgendermaßen charakterisiert werden:

Bewertung 1: Kooperieren beide Akteure beim i -ten Zug, so haben beide Seiten ihren Vorteil an der Sache. Dies stellt sie besser, als wenn beide das vom anderen Gewünschte verweigern, also defektieren. Bezeichnet L_i die Auszahlung des ersten Akteurs im Falle einer gemeinsamen Kooperation und S_i dessen Auszahlung im Falle einer gemeinsamen Defektion, so wird dieser Sachverhalt formal durch folgende Ungleichung ausgedrückt:

$$L_i > S_i \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Das Zeichen „>“ drückt aus, dass der Term auf der linken Seite der Ungleichung als vorteilhafter angesehen wird als derjenige auf der rechten Seite.

Bewertung 2: Das Ergebnis eines beiderseitigen Defektierens beim i -ten Zug wird von einem Akteur als vorteilhafter angesehen als das Ergebnis jenes Falles, der sich einstellt, wenn er von der Gegenseite hereingelegt wird. Bezeichnet U_i die Auszahlung des ersten Akteurs in diesem Fall des Hereingelegtwerdens, so wird dieser Sachverhalt formal durch folgende Ungleichung ausgedrückt:

$$S_i > U_i \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Beide Ungleichungen zusammen ergeben die der untenstehenden Matrix beigelegte Ungleichung (1). Sie entspricht der üblichen, allgemein akzeptierten, von Epoche und Kultur unabhängigen Bewertung eines beliebigen Zuges in einem Prozess des Gebens und Nehmens.

Dabei ist über eine Bewertung des vierten Falles - der Gegenseite wird das von ihr Gewünschte vorenthalten, während diese das von ihr Gewünschte gibt - nichts ausgesagt. Wird die Auszahlung des ersten Akteurs im

Fälle eines solchen Hereinlegens beim i -ten Zug mit H_i bezeichnet, so unterliegt H_i allein denjenigen Bedingungen, die in der untenstehenden Ungleichung (2) ausgedrückt sind. Diese Ungleichung drückt formal den Sachverhalt aus, dass eine aufeinanderfolgende gemeinsame Kooperation vorteilhafter erscheint als abwechselndes gegenseitiges Hereinlegen. Dies ist in der Realität selbstverständlich.

Gelten nun für die einzelnen Auszahlungen der beiden Beteiligten die Ungleichungen (1) und (2), so sind damit die formalen Bedingungen erfüllt, die einen Prozess des gegenseitigen Gebens und Nehmens beschreiben. Die Auszahlungen der Beteiligten beim i -ten Zug werden wie stets üblich durch eine Auszahlungsmatrix beschrieben:

Der Prozess des Gebens und Nehmens

Auszahlungsmatrix des 1. Beteiligten

1. Beteiligter	2. Beteiligter		
	kooperiert	defektiert	
kooperiert	L_i	U_i	$(1) L_i > S_i > U_i$ $i = 1, 2, 3, \dots$
defektiert	H_i	S_i	

$$(2) \begin{array}{l} L_i + L_{i+1} > H_i + U_{i+1} \\ L_i + L_{i+1} > H_{i+1} + U_i \end{array}$$

Bemerkung 1:

Auf die Annahme, dass sich beide Akteure zur gleichen Zeit zu entscheiden haben, kann verzichtet werden. Gleich wie in einem realen Prozess des gegenseitigen Gebens und Nehmens ist es auch hier durchaus möglich, dass die Beteiligten ihre einzelnen Entscheidungen nacheinander treffen: zuerst steht der erste Akteur vor der Entscheidung, dem vom zweiten erbetenen Dienst nachzukommen oder nicht, und danach der zweite. Dessen Entscheidung beendet den ersten Zug. Steht dann wieder einer der beiden Akteure vor der Entscheidung, eine von seinem Gegenüber gewünschte Gefälligkeit zu erbringen oder nicht, so beginnt in diesem Augenblick der zweite Zug.

Somit ist dieses Modell des Prozesses des gegenseitigen Gebens und Nehmens die formale Beschreibung einer grundlegenden Situation, der sich der einzelne Mensch in seinen sozialen Kontakten in Familie, Beruf und bei seinen sonstigen Aktivitäten gegenüber sieht. Auch das Handeln von Korporationen ist hier mit eingeschlossen. Dadurch kann auch der Umgang von Staaten, von Unternehmen und Organisationen modellhaft beschrieben werden.

Die folgende Bemerkung wird später von Nutzen sein:

Bemerkung 2:

Das Geschehen zwischen zwei Akteuren eines beliebigen Prozesses des Gebens und Nehmens kann vollständig durch zwei Folgen der Gestalt

$$\begin{array}{cccc} A_1(1) & A_1(2) & A_1(3) & \dots \\ A_2(1) & A_2(2) & A_2(3) & \dots \end{array}$$

beschrieben werden, wobei $A_1(i)$ die Wahl des ersten Akteurs beim i -ten Zug und $A_2(i)$ die Wahl des zweiten beim gleichen Zug bezeichnet.

Umgekehrt lässt sich nun jede solche, allen aus K's und D's bestehende Doppelfolge als Geschehen eines beliebigen Prozesses des Gebens und Nehmens auffassen. Dazu ist nämlich nur die Matrix

$$A = \begin{pmatrix} 3 & 0 \\ 5 & 1 \end{pmatrix}$$

als Auszahlungsmatrix beider Akteure hinzuzunehmen - und zwar für jeden Zug.

Was kann nun über H_i , der Bewertung des vierten Falles bei einem beliebigen Zug i , ausgesagt werden? An dieser Stelle genügt Folgendes: Versteht man unter der individuellen Rationalität jene Haltung, die einen Akteur veranlasst, in einer gegebenen Situation den individuell größtmöglichen Vorteil für sich anzustreben, ohne dabei mittel- oder langfristige Folgen oder die Interessen anderer zu berücksichtigen, so kommt man zu folgender zusätzlichen Bewertung:

Bewertung 3:

Bewerten beide Akteure ihre Situation individuell rationalistisch, so ist bei einem i -ten Zug für jeden von ihnen das Ergebnis H_i vorteilhafter als dasjenige einer gemeinsamen Kooperation. Mit anderen Worten: Das Ergebnis, das sich einstellt, wenn der Gegenseite das von ihr Gewünschte vorenthalten wird, während diese das von ihr Erwünschte gewährt, wird als vorteilhafter angesehen als dasjenige der gemeinsamen Kooperation. Dieser Sachverhalt wird formal durch folgende Ungleichung ausgedrückt:

$$H_i > L_i \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Kommt diese individuell rationalistische Bewertung zur jeweiligen Ungleichung (1) hinzu, so weist der Prozess des Gebens und Nehmens die gleiche Struktur auf wie ein iteriertes Gefangenendilemma.

Kooperieren beide Akteure von Anfang an, so befinden sie sich, solange diese gemeinsame Kooperation anhält, in einem Zustand des Friedens. Geht nun dieser gemeinsame Frieden durch das Defektieren eines Akteurs verloren, gelingt dann der Gegenseite ein Ausgleich im Hereinlegen, so finden sie den Frieden wieder, wenn beide in diesem Zustand des Ausgleichs kooperieren. Dies gibt Anlass zu folgender Definition:

Definition 1

Unter dem Frieden wird der Zustand einer gemeinsamen Kooperation bei einem Ausgleich im Hereinlegen bezeichnet.

Solange nicht präzise geklärt ist, wann ein Ausgleich im Hereinlegen eingetreten ist und wann nicht, bleibt diese Definition unscharf. Muss, entsprechend dem altbiblischen 'Auge um Auge, Zahn um Zahn', die Gegenseite nach fünfmaligem Hereinlegen auch fünfmal hereingelegt werden, damit ein Ausgleich eintritt? Oder ist in diesem Fall ein Ausgleich bereits dann erreicht, wenn die Gegenseite einmal hereingelegt wurde, weil der Einzelne bereits nach dem ersten Hereinlegen durch die Gegenseite wissen muss, mit wem er es zu tun hat? Hat er nicht in diesem Fall die restlichen vier erlittenen Schäden seiner eigenen Unvorsichtigkeit zuzuschreiben und folglich den Schaden auf einem Konto 'Lernen auf eigene Kosten' abzubuchen? Oder ist ein Ausgleich dann erreicht, wenn die entstandenen, durch die einzelnen Auszahlungen bestimmbaren Schäden in einem ausgeglichenen Verhältnis zueinander stehen?

Bevor diese Standpunkte detaillierter betrachtet werden, ist zu bemerken, dass der Begriff des Ausgleichs eine quantitative Betrachtungsweise impliziert. Damit sind alle folgenden Standpunkte als Folge der Fragestellung quantitativer Art.

Bemerkung 3

Eine Haltung des 'Auge um Auge, Zahn um Zahn' wird dem Prinzip der Eigenverantwortlichkeit nicht gerecht. Wenn - wie hier - von im Prinzip gleichen und eigenverantwortlichen Akteuren ausgegangen wird, so weiß ein Akteur nach dem ersten Hereinlegen, wozu der andere fähig ist und kann sich entsprechend schützen. Wenn er oder sie also in der Folge nicht darauf reagiert und weiter hereingelegt wird, so ist festzustellen, dass der Akteur sich unzureichend geschützt hat und den entsprechenden Schaden durch sein Verhalten mitverursacht hat. Dafür können andere nicht verantwortlich gemacht werden, dafür hat der einzelne Akteur selbst die Verantwortung zu tragen.

Bemerkung 4

Stellt man sich auf den Standpunkt, dass ein Ausgleich dann erreicht ist, wenn die entstandenen Schäden

ausgeglichen sind, so besteht einerseits die Gefahr, dadurch Schäden einzuklagen, die ebenfalls der eingenen Unvorsichtigkeit zuzuschreiben sind. In diesem Fall widerspricht ein solcher Standpunkt dem Prinzip der Eigenverantwortlichkeit. Andererseits ist ein solcher Standpunkt weder in der Praxis noch im theoretischen Modell operationell. In der Praxis besteht die große Gefahr dieses Standpunktes darin, dass bereits eine geringfügige unterschiedliche Bewertung der entstandenen Schäden, die in der Regel subjektiv ist, die Grenzen zwischen Ausgleich und Vergeltung verwischt. Dann kann leicht 'über das Ziel hinaus geschossen werden' und eine nicht mehr entwirrbare Folge gegenseitiger Vergeltung in Gang gesetzt werden. Im theoretischen Modell werden hingegen durch einen derartigen Standpunkt sämtliche möglichen Ergebnisse so stark von den Auszahlungen und damit vom Einzelfall abhängig, dass allgemeine Ergebnisse und Einsichten unmöglich erscheinen.

Hier wird nun folgender Standpunkt eingenommen: Gelingt es dem Geschädigten den Schädiger einmal zu hereinzulegen, so ist der Sache Genüge getan. Bei dieser, durch das formale Vorgehen eingeengten Ausdrucksweise ist zu beachten, dass die Bedeutung eines jeweiligen Hereinlegens in der Realität nur dem Kontext des Geschehens entnommen werden kann. Ansonsten besteht die Gefahr, dass der formale Begriff 'Hereinlegen' Assoziationen weckt, die der gegebenen Situation nicht gerecht werden. Dies ist genau dann der Fall, wenn es um die Regelung eines Schadens oder Konfliktes geht, denn eine solche Regelung kann auf gewaltfreie, respektvolle und wohlwollende Art vor sich gehen. Dabei wird der Geschädigte die Gegenseite auf den erlittenen Schaden hinweisen und ihn bitten, ihn in geeigneter Form wieder gut zu machen. Geht die Gegenseite darauf ein, so ist dieser Schaden oder Konflikt gelöst.

Dies ist zu beachten, wenn von einem Hereinlegen gesprochen wird, das einen Schaden oder Konflikt regelt oder wenn, wie nun folgt, formal von einem Ausgleich im Hereinlegen die Rede ist.

Annahme 1

Wird ein Akteur A in einem Zustand des Friedens von der Gegenseite B hereingelegt, so wird, unabhängig davon, was in der Zwischenzeit geschah, ein Ausgleich im Hereinlegen durch das erste darauffolgende Hereinlegen der Gegenseite durch den Akteur A hergestellt.

Bemerkung 5

Dieser Standpunkt hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen stellt er einen allgemein akzeptierten Minimalkonsens dar, so dass ein Akteur, der sich an diesen Rahmen hält, in der Regel nicht durch Überreaktionen in nicht auflösbare Geschichten gegenseitiger Vergeltungen geraten wird. Der zweite Vorteil liegt darin, dass dadurch der Prozess des Gebens und Nehmens einer Analyse zugänglich wird.

Wenn nun im Folgenden von einem Prozess P des Gebens und Nehmens gesprochen wird, so ist damit das in diesem Abschnitt beschriebene Modell gemeint, wobei zusätzlich die Annahme 1 gilt.

1.2 Das Schadensverhältnis

Es sei nun P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens. Jedem Zug i ($i = 1, 2, 3, \dots$) wird eine Schadensgröße $S(i)$, die aus der Sicht des zweiten Akteurs das Schadensverhältnis zu Beginn dieses Zuges angibt, rekursiv zugeordnet. Folgende Festsetzungen bieten sich in natürlicher Weise an:

- $S(i) = 0$: Zu Beginn des i -ten Zuges liegt ein Ausgleich im gegenseitigen Schädigen vor.
- $S(i) > 0$: Zu Beginn des i -ten Zuges hat der 2. Akteur einen Vorteil im gegenseitigen Hereinlegen.
- $S(i) < 0$: Zu Beginn des i -ten Zuges hat der 2. Akteur einen Nachteil im gegenseitigen Hereinlegen.

Aus der Annahme 1 folgt nun, dass die Schadensgröße $S(i)$, gegebenenfalls nach geeigneter Normierung, genau einen der drei Werte $-1, 0, 1$ annimmt. Damit kann das Schadensverhältnis zu einem beliebigen Zeitpunkt

rekursiv durch eine Schadensfunktion definiert werden.

Definition 2

Die Schadensfunktion S ordnet jedem Zug i einen der drei Werte $-1, 0, 1$ zu. Die Schadensfunktion ist rekursiv folgendermaßen definiert:

1. Der erste Zug

$$S(1) = 0;$$

2. Der i -te Zug, $i > 1$:

$$\begin{aligned} S(i) &= S(i-1) + 1 && \text{für } A_1(i-1) = K \wedge A_2(i-1) = D \wedge S(i-1) < 1; \\ S(i) &= S(i-1) - 1 && \text{für } A_1(i-1) = D \wedge A_2(i-1) = K \wedge S(i-1) > -1; \\ S(i) &= S(i-1) && \text{sonst.} \end{aligned}$$

Dadurch ist das Schadensverhältnis zu Beginn eines jeden einzelnen Zuges eindeutig bestimmt. Es liefert den Schlüssel zur Analyse eines beliebigen Prozesses des Gebens und Nehmens.

Bemerkung 6

Nach der Bemerkung 2 kann das Geschehen zwischen zwei Akteuren vollständig durch zwei Folgen der Gestalt

$$\begin{array}{cccc} A_1(1) & A_1(2) & A_1(3) & \dots \\ A_2(1) & A_2(2) & A_2(3) & \dots \end{array}$$

beschrieben werden. Zweckmäßiger ist es jedoch, das gesamte Geschehen folgendermaßen durch drei Folgen zu beschreiben:

$$\begin{array}{cccc} S(1) & S(2) & S(3) & \dots \\ A_1(1) & A_1(2) & A_1(3) & \dots \\ A_2(1) & A_2(2) & A_2(3) & \dots \end{array}$$

Beide Darstellungen sind äquivalent, denn es gilt einerseits stets

$$S(1) = 0,$$

und andererseits ist das Schadensverhältnis $S(i)$ zu Beginn des i -ten Zuges eindeutig durch die Daten des Geschehens des vorgehenden Zuges festgelegt.

1.3 Die Struktur eines Prozesses des Gebens und Nehmens

Es sei nun P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens. Das Geschehen Z_i eines beliebigen Zuges i ($i = 1, 2, 3, \dots$) kann in eindeutiger Weise durch ein Tripel

$$Z_i = (S(i), A_1(i), A_2(i))^T$$

beschrieben werden. Da $S(i)$ genau einen der drei Werte $M = -1$, $N = 0$, $P = 1$ annehmen kann, und beide Akteure nur die Wahl zwischen einer Kooperation K und einer Defektion D haben, gibt es aus kombinatorischen Gründen folglich genau zwölf voneinander verschiedene Geschehen $G^{(j)}$. In lexikographischer Reihenfolge sind diese:

$$\begin{aligned} G^{(1)} &= (M, D, D)^T; & G^{(2)} &= (M, D, K)^T; & G^{(3)} &= (M, K, D)^T; & G^{(4)} &= (M, K, K)^T; \\ G^{(5)} &= (N, D, D)^T; & G^{(6)} &= (N, D, K)^T; & G^{(7)} &= (N, K, D)^T; & G^{(8)} &= (N, K, K)^T; \\ G^{(9)} &= (P, D, D)^T; & G^{(10)} &= (P, D, K)^T; & G^{(11)} &= (P, K, D)^T; & G^{(12)} &= (P, K, K)^T. \end{aligned}$$

So bedeutet beispielsweise

$$Z_5 = (M, K, D)^\top,$$

dass zu Beginn des fünften Zuges das Schadensverhältnis $S(5) = -1$ ist, und der erste Akteur kooperiert sowie der zweite defektiert. Damit gelingt dem zweiten Akteur ein Ausgleich im Hereinlegen. Folglich gilt

$$S(6) = N.$$

Das Schadensverhältnis zu Beginn des sechsten Zuges ist also durch das Geschehen beim vorhergehenden Zug festgelegt. Dies gilt allgemein bei jedem Zug.

Die zwölf Geschehnisse $G^{(j)}$ stellen die nicht weiter zerlegbaren Grundbestandteile des Prozesses des Gebens und Nehmens dar, seine Elementarteile. Aus diesem Grund werden sie im Folgenden die zwölf Elementargeschehnisse $G^{(j)}$ genannt. Damit gilt:

Theorem 1

Es sei P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens. Für jeden Zug i ($i = 1, 2, 3, \dots$) stimmt das Geschehen Z_i mit einem der zwölf Elementargeschehnisse $G^{(j)}$ überein.

Aus der Sicht des zweiten Akteurs wird beim $(i + 1)$ -ten Zug genau dann ein positives Schadensverhältnis vorliegen, wenn Z_i mit einem der vier Elementargeschehnisse

$$G^{(7)}, G^{(9)}, G^{(11)}, G^{(12)}$$

übereinstimmt. $G^{(7)}$ beschreibt den Fall, dass im Zustand eines ausgeglichenen Schadensverhältnisses der zweite Akteur die Gegenseite hereinlegt. Folglich ist in diesem Fall das Schadensverhältnis beim $(i + 1)$ -ten Zug

$$S(i + 1) = +1.$$

Nennt man dieses Hereinlegen des ersten Akteurs einen Angriff des zweiten Akteurs, so dauert dieser Angriff so lange, bis der erste Akteur seinerseits die Gegenseite hereinlegt und dadurch ein Ausgleich gelingt. Dies ist der Fall, wenn zum ersten Mal nach dem i -ten Zug das Geschehen Z_j mit $G^{(10)}$ identisch ist. Damit kann folgende Festlegung getroffen werden:

Definition 3

Der zweite Akteur beginnt beim i -ten Zug einen Angriff auf die Gegenseite, falls gilt:

$$Z_i = G^{(7)}.$$

Dieser Angriff endet beim j_0 -ten Zug, falls j_0 die kleinste aller weiteren natürlichen Zahlen j ist mit

$$Z_j = G^{(10)}.$$

Während eines Angriffs des zweiten Akteurs stimmt also notwendigerweise jedes Geschehen Z_k ($i < k < j_0$) mit einem der drei Geschehnisse $G^{(9)}, G^{(11)}, G^{(12)}$ überein.

Aus der Sicht des zweiten Akteurs liegt beim $(i + 1)$ -ten Zug genau dann ein negatives Schadensverhältnis vor, wenn Z_i mit einem der vier Elementargeschehnisse

$$G^{(1)}, G^{(2)}, G^{(4)}, G^{(6)}$$

übereinstimmt. $G^{(6)}$ beschreibt den Fall, dass im Zustand eines ausgeglichenen Schadensverhältnisses der zweite Akteur hereingelegt wird. Folglich ist dann das Schadensverhältnis beim $(i + 1)$ -ten Zug

$$S(i + 1) = -1.$$

Mit diesem Hereinlegen des zweiten Akteurs beginnt der erste Akteur seinerseits einen Angriff. Ab diesem Augenblick hat sich der zweite Akteur zu verteidigen. Er sieht sich so lange einem Angriff der Gegenseite

ausgesetzt, bis er seinerseits die Gegenseite hereinlegt und so zu einem Ausgleich gelangt. Dies ist der Fall, wenn zum ersten Mal nach dem i -ten Zug das Geschehen Z_j mit $G^{(3)}$ identisch ist. Damit kann folgende Festlegung getroffen werden:

Definition 4

Der zweite Akteur hat sich ab dem i -ten Zug zu verteidigen, falls gilt:

$$Z_i = G^{(6)}.$$

Dieses Verteidigen endet beim j_0 -ten Zug, falls j_0 die kleinste aller weiteren natürlichen Zahlen j ist mit

$$Z_j = G^{(3)}.$$

Solange sich der zweite Akteur zu verteidigen hat, muss notwendigerweise jedes Geschehen Z_k ($i < k < j_0$) mit einem der drei Elementargeschehnisse $G^{(1)}, G^{(2)}, G^{(4)}$ übereinstimmen.

Mit den beiden Elementargeschehnissen $G^{(3)}, G^{(10)}$ endet ein Angriff des einen oder des anderen Akteurs. Damit endet ein Konflikt. Kooperieren in diesem Augenblick beide Akteure, so schaffen sie einen gemeinsamen Frieden, der in einem Zustand der gemeinsamen Kooperation bei ausgeglichenem Schadensverhältnis begründet ist. Formal bedeutet dies, dass jetzt gilt:

$$Z_{j_0+1} = (N, K, K)^\top.$$

$(N, K, K)^\top$ entspricht genau dem Geschehnis $G^{(8)}$. Der Friede wird dann von den beiden Akteuren bewahrt, wenn nun gilt:

$$Z_{j_0+2} = G^{(8)}.$$

Um den Frieden zu bewahren, muss er zunächst geschaffen werden. Dies ist nicht aus allen Elementargeschehnissen heraus möglich. Betrachtet man beispielsweise den Fall

$$Z_i = (M, K, K)^\top,$$

so ist es wegen

$$S(i+1) = -1$$

für beide Akteure unmöglich, bereits im nächsten Zug zu einem Frieden zu gelangen. Der schnellste Weg in diesem Fall führt über

$$Z_{i+1} = (M, K, D)^\top$$

zu

$$Z_{i+2} = (N, K, K)^\top.$$

Aus welchen Geschehen heraus kann nun ein gemeinsamer Friede geschaffen werden? Formal lautet diese Frage so: Welche Geschehen Z_i müssen eingetreten sein, damit

$$Z_{i+1} = G^{(8)}$$

möglich wird? Die Antwort ist einfach: Für $i > 1$ muss Z_i mit genau einem der drei Elementargeschehnisse $G^{(3)}, G^{(5)}, G^{(10)}$ übereinstimmen. Im Fall $i = 1$, zu Beginn der Interaktion also, kann ebenfalls der Friede geschaffen werden.

Damit sind sämtliche Möglichkeiten erfasst. Diese Elementargeschehnisse haben einen besonderen Charakter. Sie beinhalten eine Weichenstellung zu Frieden oder zu einem neuen Konflikt, denn allein hier haben die einzelnen Akteure die Wahl, mit einer folgenden Kooperation den nicht vorhandenen, aber machbar gewordenen Frieden zu schaffen oder mit einer folgenden Defektion einen neuen Konflikt zu beginnen bzw. einen bestehenden zu verschärfen. Somit gilt

Theorem 2 (Das Klassifizierungstheorem)

Es sei Z_i das Geschehen des i -ten Zuges eines beliebigen Prozesses des Gebens und Nehmens, $i = 1, 2, 3, \dots$. Dann gilt:

- (a) Stimmt Z_i mit einem der vier Elementargeschichte $G^{(7)}, G^{(9)}, G^{(11)}, G^{(12)}$ überein, so befindet sich der erste Akteur beim Verteidigen und der zweite beim Angreifen.
- (b) Stimmt Z_i mit einem der vier Elementargeschichte $G^{(1)}, G^{(2)}, G^{(4)}, G^{(6)}$ überein, so befindet sich der erste Akteur beim Angreifen und der zweite beim Verteidigen.
- (c) Stimmt Z_i mit $G^{(8)}$ überein, so befinden sich beide Akteure im Zustand des gemeinsamen Friedens.
- (d) Stimmt Z_i mit einem der drei Elementargeschichte $G^{(3)}, G^{(5)}, G^{(10)}$ überein, so können allein hier die beiden Akteure den nicht vorhandenen, aber jetzt machbaren Frieden schaffen.

Damit sind alle Elementargeschichte vollständig klassifiziert.

Seebach, den 5. März 1996.

Verhaltensweisen und ihre Eigenschaften

Im Rahmen eines Prozesses des Gebens und Nehmens, werden nun Verhaltensweisen betrachtet. Die Elementargeschehnisse, aus denen sich ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens zusammensetzt, werden dazu benutzt, um gewisse Eigenschaften von Verhaltensweisen zu formalisieren und damit objektivierbar zu machen. Außerdem wird hier untersucht, wann eine Verhaltensweise durch die Festlegung der Reaktion auf die einzelnen Elementargeschehnisse in eindeutiger Weise festgelegt ist. Dann wird eine hinreichende Bedingung dafür angegeben, dass eine durch relative Häufigkeiten festgelegte Verhaltensweise als erste Näherung für eine vorgegebene Verhaltensweise aufgefasst werden kann. Eine Bemerkung zur Analyse von Verhaltensweisen schließt sich an.

2.1 Grundlagen

Es sei P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens, wie er in 'Frieden und Konflikt aus mathematischer Sicht' festgelegt wurde. Nach den dortigen Ergebnissen kann das Geschehen Z_i bei einem beliebigen Zug i ($i = 1, 2, 3, \dots$) in eindeutiger Weise durch ein Tripel

$$Z_i = (S(i), A_1(i), A_2(i))^T$$

beschrieben werden. Dabei ist

- (a) $S(i)$ das Schadensverhältnis aus der Sicht des zweiten Akteurs zu Beginn des i -ten Zuges;
- (b) $A_1(i)$ die Wahl des ersten Akteurs beim i -ten Zug;
- (c) $A_2(i)$ die Wahl des zweiten Akteurs beim i -ten Zug.

Da $S(i)$ genau einen der drei Werte $M = -1, N = 0, P = 1$ annehmen kann, und beide Akteure die Wahl zwischen einer Kooperation K und einer Defektion D haben, gibt es aus kombinatorischen Gründen genau zwölf verschiedene Geschehnisse $G^{(j)}$. In lexikographischer Reihenfolge sind es:

$$\begin{aligned} G^{(1)} &= (M, D, D)^T; & G^{(2)} &= (M, D, K)^T; & G^{(3)} &= (M, K, D)^T; & G^{(4)} &= (M, K, K)^T; \\ G^{(5)} &= (N, D, D)^T; & G^{(6)} &= (N, D, K)^T; & G^{(7)} &= (N, K, D)^T; & G^{(8)} &= (N, K, K)^T; \\ G^{(9)} &= (P, D, D)^T; & G^{(10)} &= (P, D, K)^T; & G^{(11)} &= (P, K, D)^T; & G^{(12)} &= (P, K, K)^T. \end{aligned}$$

Nach den Ergebnissen in (1) fällt das Geschehnis eines jeden Zuges von P mit einem dieser zwölf Elementargeschehnisse zusammen. Diese können in einem System von Konflikt und Frieden folgendermaßen eingeordnet werden:

Das Klassifizierungstheorem

Es sei Z_i das Geschehen des i -ten Zuges eines beliebigen Prozesses des Gebens und Nehmens, $i = 1, 2, 3, \dots$. Dann gilt:

- (a) Stimmt Z_i mit einem der vier Elementargeschehnisse $G^{(7)}, G^{(9)}, G^{(11)}, G^{(12)}$ überein, so befindet sich der erste Akteur beim Verteidigen und der zweite beim Angreifen.
- (b) Stimmt Z_i mit einem der vier Elementargeschehnisse $G^{(1)}, G^{(2)}, G^{(4)}, G^{(6)}$ überein, so befindet sich der erste Akteur beim Angreifen und der zweite beim Verteidigen.
- (c) Stimmt Z_i mit dem $G^{(8)}$ überein, so befinden sich beide Akteure im Zustand des gemeinsamen Friedens.
- (d) Stimmt Z_i mit einem der drei Elementargeschehnisse $G^{(3)}, G^{(5)}, G^{(10)}$ überein, so können allein hier die beiden Akteure den nicht vorhandenen, aber jetzt machbaren Frieden schaffen.

Diese Elementargeschehnisse bieten nun die geeignete Grundlage zur Untersuchung von Verhaltensweisen. Davor ist jedoch noch formal festzulegen, was unter einer Verhaltensweise zu verstehen ist.

Das gesamte Geschehen von P kann nach einem Ergebnis in 'Frieden und Konflikt aus mathematischer Sicht' in eindeutiger Weise durch die drei Folgen

$$\begin{array}{cccc} S(1) & S(2) & S(3) & \dots \\ A_1(1) & A_1(2) & A_1(3) & \dots \\ A_2(1) & A_2(2) & A_2(3) & \dots \end{array}$$

beschrieben werden. Somit kann das gesamte Geschehen bis zum n -ten Zug durch eine $(3 \times n)$ -Matrix P_n gekennzeichnet werden, in deren i -ter Spalte das Geschehen $Z_i (i = 1, \dots, n)$ festgehalten ist:

$$P_n = \begin{pmatrix} S(1) & S(2) & S(3) & \dots & S(n) \\ A_1(1) & A_1(2) & A_1(3) & \dots & A_1(n) \\ A_2(1) & A_2(2) & A_2(3) & \dots & A_2(n) \end{pmatrix}, n = 1, 2, 3, \dots$$

Folglich befinden sich in den einzelnen Spalten von P_n genau die zwölf Elementargeschehnisse.

Unabhängig von dem als Ausgangspunkt gewählten Prozess P gibt es nun genau 4^n derartige Matrizen P_n , die alle in der Menge P_n zusammengefasst werden. Setzt man noch $W = \{K, D\}$, $P_0 = \{\}$ und $P_0 = \{P_0\}$, so kann formal die Entscheidungsfindung eines beliebigen Akteurs im n -ten Zug als eine Abbildung

$$v_n : P_{n-1} \mapsto W, n = 1, 2, 3, \dots$$

aufgefasst werden. Dies führt zu folgender Definition:

Definition 1

Es sei P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens zweier Akteure. Eine Funktionenfolge $(v_n)_{n \in \mathbb{N}}$ mit $v_n : P_{n-1} \mapsto W$, $n = 1, 2, 3, \dots$, heißt dann eine Verhaltensweise oder Strategie.

Im Folgenden wird für Verhaltensweisen v auch die Schreibweise $v = (v_n)_{n \in \mathbb{N}}$ benutzt.

Bemerkung 1

Der Definition 1 ist ein nicht-stochastisches Modell einer Verhaltensweise zugrunde gelegt. In offensichtlicher Weise überträgt sich diese Definition auch auf den stochastischen Fall.

Beispiel 1: Tit For Tat

Als Beispiel sei hier Tit For Tat genannt, eine Verhaltensweise, die sich als äußerst erfolgreich im Rahmen von iterierten Gefangenendilemmatas erwies⁽¹⁾. Tit For Tat kooperiert beim ersten Zug und handelt dann bei jedem weiteren Zug so wie die Gegenseite beim vorhergehenden. Tit For Tat: 'Wie du mir, so ich dir'. Tit For Tat kooperiert so lange wie auch die Gegenseite kooperiert. Defektiert hingegen die Gegenseite, dann defektiert Tit For Tat ab dem nächsten Zug bis ein Ausgleich erreicht ist. Daraufhin kooperiert Tit For Tat wieder.

Benutzt der zweite Akteur bei einem Prozess P des Gebens und Nehmens Tit For Tat als Verhaltensweise und bezeichnet $p_{2,n}$ das Element der $(3 \times n)$ -Matrix P_n in der zweiten Zeile und der n -ten Spalte, so kann Tit For Tat formal durch eine Funktionenfolge $(v_n)_{n \in \mathbb{N}}$ mit

$$v_n : P_{n-1} \mapsto W$$

folgendermaßen beschrieben werden:

$$\begin{aligned} v_1(\{\}) &= K \\ v_{n+1}(P_n) &= p_{2,n}, n > 0. \end{aligned}$$

2.2 Eigenschaften von Verhaltensweisen

Es sei P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens. Da das Geschehen eines jeden Zuges mit einem der zwölf Elementargeschehnisse zusammenfällt, legt jede Verhaltensweise Reaktionen auf alle oder einen Teil dieser Elementargeschehnisse fest. Dies bietet ein geeignetes Werkzeug zur Untersuchung der Eigenschaften von Verhaltensweisen. Umgekehrt gilt: Legt ein Akteur fest, wie er sich beim ersten Zug entscheiden und außerdem auf jedes Einzelne der zwölf Elementargeschehnisse reagieren wird, so liegt dadurch die von ihm benutzte Verhaltensweise für jeden einzelnen Zug fest. Damit gilt:

Theorem 1:

Legt ein Akteur fest, wie er sich beim ersten Zug entscheiden wird, und wie er auf jedes der zwölf Elementargeschehnisse $G^{(i)}$, ($i = 1, 2, \dots, 12$) reagieren wird, so wird hierdurch die von ihm benutzte Verhaltensweise eindeutig festgelegt.

Beispiel 2: Tit For Tat

Im ersten Zug kooperiert Tit For Tat stets und kann dann folgendermaßen beschrieben werden, wenn davon ausgegangen wird, dass der zweite Akteur sich Tit For Tat bedient:

- (a) Auf $G^{(8)} = (N, K, K)^\top$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Kooperation;
- (b) Auf $G^{(6)} = (N, D, K)^\top$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Defektion;
- (c) Auf $G^{(1)} = (M, D, D)^\top$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Defektion;
- (d) Auf $G^{(3)} = (M, K, D)^\top$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Kooperation.

Dadurch ist das Verhalten von Tit For Tat vollständig festgelegt. Hier ist zu beachten, dass Tit For Tat nicht in Situationen geraten kann, die den restlichen acht Elementargeschehnissen entsprechen. Also legt eine eindeutig definierte Verhaltensstrategie nicht notwendigerweise auch fest, wie auf jedes Einzelne der zwölf Elementargeschehnisse reagiert wird.

Beispiel 3: Das Verteidigungsverhalten

Es genügt hier, den Fall des zweiten Akteurs zu untersuchen, der eine bestimmte Verhaltensweise benutzt. Bei einem Angriff des ersten Akteurs liegt das Verteidigungsverhalten des zweiten Akteurs eindeutig fest, wenn seine Reaktion auf die vier entsprechenden Elementargeschehnisse bekannt ist. Hier muss festgelegt sein:

- (V1): Die Reaktion unmittelbar auf einen Angriffsbeginn der Gegenseite.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(6)} = (N, D, K)^\top$.
- (VK): Die Reaktion auf eine Kooperation der Gegenseite während ihrer Angriffe.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(4)} = (M, K, K)^\top$.
- (VD): Die Reaktion auf eine Defektion der Gegenseite während ihrer Angriffe.
Das ist erstens
die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(2)} = (M, D, K)^\top$
und zweitens
die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(1)} = (M, D, D)^\top$.

Legt also der zweite Akteur fest, wie er sich in jeder dieser vier Situationen verhalten wird, so ist hierdurch sein Verteidigungsverhalten eindeutig bestimmt.

Umgekehrt gilt: Falls das Elementargeschehnis $G^{(6)}$ in einem beliebigen Prozess des Gebens und Nehmens vorkommt, so wird dadurch eine relative Häufigkeit festgelegt, gemäß dieser der zweite Akteur in der Situation (V1) kooperieren oder defektieren wird. Diese kann als erste Näherung für sein Verhalten in dieser Situation aufgefasst werden. Kommt außerdem das Elementargeschehnis $G^{(4)}$ vor, so wird dadurch eine relative Häufig-

keit festgelegt, gemäß dieser der zweite Akteur in der Situation (VK) kooperieren oder defektieren wird. Diese kann als erste Näherung für sein Verhalten in dieser Situation aufgefasst werden. Entsprechendes gilt für die Situationen (VD), falls die Elementargeschehnisse $G^{(1)}$ und $G^{(2)}$ in der Interaktion auftauchen. Erscheinen also in einer Interaktion alle vier Elementargeschehnisse $G^{(1)}, G^{(2)}, G^{(4)}$ und $G^{(6)}$ so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten ein durch relative Häufigkeiten festgelegtes Verteidigungsverhalten. Damit gilt:

Lemma 1

Kommen in einer Interaktion die Geschehnisse $G^{(1)}, G^{(2)}, G^{(4)}$ und $G^{(6)}$ vor, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten ein durch relative Häufigkeiten festgelegtes Verteidigungsverhalten.

Dies kann als erste Näherung für das Verteidigungsverhalten eines Akteurs, der eine bestimmte Verhaltensweise benutzt, aufgefasst werden.

Beispiel 4: Das Angriffsverhalten

Es genügt hier, den Fall des zweiten Akteurs zu untersuchen, der eine bestimmte Verhaltensweise benutzt. Bei einem Angriff liegt das Verhalten des zweiten Akteurs eindeutig fest, wenn seine Reaktion auf die vier entsprechenden Elementargeschehnisse bekannt ist. Hier muss festgelegt sein:

- (A1): Die Reaktion unmittelbar nach dem Beginn eines eigenen Angriffs.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(7)} = (N, K, D)^\top$.
- (AK): Die Reaktion auf eine Kooperation der Gegenseite während eines Angriffs.
Das ist erstens
die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(12)} = (P, K, K)^\top$
und zweitens
die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(11)} = (P, K, D)^\top$.
- (AD): Die Reaktion auf eine Defektion der Gegenseite während eines Angriffs.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(9)} = (P, D, D)^\top$.

Legt also der zweite Akteur fest, wie er sich in jeder dieser vier Situationen verhalten wird, so ist hierdurch sein Angriffsverhalten eindeutig bestimmt.

Umgekehrt gilt: Falls das Elementargeschehnis $G^{(7)}$ in einem beliebigen Prozess des Gebens und Nehmens vorkommt, so wird dadurch eine relative Häufigkeit festgelegt, gemäß dieser der zweite Akteur in der Situation (A1) kooperieren oder defektieren wird. Diese kann als erste Näherung für sein Verhalten in dieser Situation aufgefasst werden. Kommen außerdem die Elementargeschehnisse $G^{(11)}$ und $G^{(12)}$ vor, so werden dadurch relative Häufigkeiten festgelegt, gemäß dieser der zweite Akteur in der Situation (AK) kooperieren oder defektieren wird. Diese können als erste Näherung für sein Verhalten in den beiden unter (AK) zusammengefassten Situationen aufgefasst werden. Entsprechendes gilt für die Situation (AD), falls das Elementargeschehnis $G^{(9)}$ in der Interaktion auftaucht. Erscheinen also in einer Interaktion alle vier erwähnten Elementargeschehnisse $G^{(7)}, G^{(11)}, G^{(12)}$ und $G^{(9)}$, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten ein durch relative Häufigkeiten festgelegtes Angriffsverhalten. Damit gilt

Lemma 2

Kommen in einer Interaktion die Elementargeschehnisse $G^{(7)}, G^{(11)}, G^{(12)}$ und $G^{(9)}$ vor, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten ein durch relative Häufigkeiten festgelegtes Angriffsverhalten.

Dies kann als erste Näherung für das Angriffsverhalten des zweiten Akteurs aufgefasst werden.

Beispiel 5: Die Bereitschaft, den Frieden zu schaffen

Es genügt auch hier, den Fall des zweiten Akteurs zu untersuchen, der eine bestimmte Verhaltensweise benutzt. Bei der Frage nach der dieser Verhaltensweise innewohnenden Bereitschaft, den Frieden zu schaffen, sind drei Elementargeschehnisse zu unterscheiden, die diese Bereitschaft zusammen mit der Entscheidung

beim ersten Zug eindeutig festlegen. Die Einstellung des zweiten Akteurs zu Frieden oder Konflikt liegt eindeutig fest, wenn seine Reaktion auf diese drei Elementargeschehnisse sowie auf den Beginn der Interaktion bekannt ist. Hier muss also festgelegt sein:

- (FS1): Die Reaktion auf einen Ausgleich nach einem eigenen Angriff.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(10)} = (P, D, K)^\top$.
- (FS2): Die Reaktion auf einen Ausgleich nach einem Angriff des ersten Akteurs.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$.
- (FS3): Die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(5)} = (N, D, D)^\top$.

Legt also der zweite Akteur fest, wie er sich in jeder dieser drei Situationen sowie beim ersten Zug verhalten wird, so ist hierdurch seine Neigung, den nicht vorhandenen, aber machbar gewordenen Frieden zu schaffen, eindeutig bestimmt.

Umgekehrt gilt: Falls das Elementargeschehnis $G^{(10)}$ in einem beliebigen Prozess des Gebens und Nehmens vorkommt, so wird dadurch eine relative Häufigkeit festgelegt, gemäß dieser der zweite Akteur in der Situation (FS1) kooperieren oder defektieren wird. Diese kann als erste Näherung für sein Verhalten in dieser Situation aufgefasst werden. Entsprechendes gilt für die Situationen (FS2) und (FS3). Da für den ersten Zug stets eine relative Häufigkeit festgelegt werden kann, lässt sich auch hier sagen: Erscheinen in einer Interaktion die drei Geschehnisse $G^{(3)}$, $G^{(5)}$ und $G^{(10)}$, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten eine durch relative Häufigkeiten festgelegte Bereitschaft, den Frieden mit der Gegenseite zu schaffen. Damit gilt

Lemma 3

Kommen in einer Interaktion die Geschehnisse $G^{(3)}$, $G^{(5)}$, und $G^{(11)}$ vor, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten eine durch relative Häufigkeiten festgelegte Bereitschaft, den gemeinsamen Frieden mit der Gegenseite zu schaffen.

Dies kann als erste Näherung für die Bereitschaft des zweiten Akteurs aufgefasst werden, den Frieden mit der Gegenseite zu schaffen.

Beispiel 6: Den Frieden bewahren

Auch hier genügt es, den Fall des zweiten Akteurs zu untersuchen, der eine bestimmte Verhaltensweise benutzt. Die Frage nach der dieser Verhaltensweise innewohnenden Bereitschaft, den Frieden zu bewahren, ist also die Frage, inwieweit der zweite Akteur bereit ist, den vorhandenen Frieden zu bewahren. Die Bereitschaft des zweiten Akteurs, den Frieden zu bewahren, ist durch seine Reaktion auf das Elementargeschehnis $G^{(8)}$ eindeutig festgelegt:

- (FB): Die Reaktion auf den Zustand des Friedens.
Das ist die Reaktion auf alle Geschehnisse Z_i mit $Z_i = G^{(8)} = (N, K, K)^\top$.

Legt also der zweite Akteur fest, wie er sich in dieser Situation verhalten wird, so ist hierdurch seine Neigung, den Frieden zu bewahren, eindeutig bestimmt.

Umgekehrt legt eine vorgegebene Interaktion relative Häufigkeiten fest, denen entnommen werden kann, wie der zweite Akteur in der Situation (FB) reagieren wird, falls das Elementargeschehnis $G^{(8)}$ vorkommt. Erscheint also in einem beliebigen Prozess des Gebens und Nehmens das Elementargeschehnis $G^{(8)}$, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten eine durch relative Häufigkeiten festgelegte Bereitschaft, den gemeinsamen Frieden mit der Gegenseite zu bewahren. Damit gilt

Lemma 4

Kommt in einem Prozess des Gebens und Nehmens das Elementargeschehnis $G^{(8)}$ vor, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten eine durch relative Häufigkeiten festgelegte Bereitschaft, den gemeinsamen

Frieden zu bewahren.

Dies kann als erste Näherung für die Bereitschaft des zweiten Akteurs aufgefasst werden, den gemeinsamen Frieden mit der Gegenseite zu bewahren.

Zusammenfassend gilt folgendes Theorem:

Theorem 2

Es sei P ein beliebiger Prozess des Gebens und Nehmens. Dann gilt:

Kommen in einer Interaktion sämtliche zwölf Elementargeschehnisse $G^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, 12$, vor, so erzeugen die dadurch bestimmten Häufigkeiten zwei durch relative Häufigkeiten festgelegte Verhaltensweisen.

Da die Entscheidung der beiden Akteure beim ersten Zug durch eine entsprechende Häufigkeit festliegt, können die beiden durch relative Häufigkeiten festgelegten Verhaltensweisen als erste Näherung für die von beiden Akteuren benutzten Verhaltensweisen aufgefasst werden.

2.3 Eine Bemerkung zur Analyse von Verhaltensweisen

An einem Beispiel soll hier noch angedeutet werden, wie Verhaltensweisen aufgrund der obigen Ergebnisse untersucht werden können.

Beispiel 7: Tit For Tat

Nach den Ergebnissen des Beispiels 1 kann Tit For Tat folgendermaßen beschrieben werden:

- (a) Auf $G^{(8)} = (N, K, K)^T$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Kooperation;
- (b) Auf $G^{(6)} = (N, D, K)^T$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Defektion;
- (c) Auf $G^{(1)} = (M, D, D)^T$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Defektion;
- (d) Auf $G^{(3)} = (M, K, D)^T$ reagiert Tit For Tat stets mit einer Kooperation.

Die hier aufgeführten Reaktionen können nun folgendermaßen interpretiert werden:

(a) Wenn der gemeinsame Frieden mit der Gegenseite vorhanden ist, dann bewahrt ihn Tit For Tat stets. (b) Auf den Beginn eines Angriffs der Gegenseite reagiert Tit For Tat stets mit einer Defektion. (c) Solange Tit For Tat sich zu verteidigen hat, wird auf eine Defektion der Gegenseite stets mit einer Defektion geantwortet. In dieser kritischen Situation, die eine zu weiteren Schädigungen bereite Gegenseite zeigt, reagiert Tit For Tat fest und mit sicherem Gespür. (d) Gelingt Tit For Tat nach einem Angriff der Gegenseite ein Ausgleich, so reagiert Tit For Tat darauf stets mit einer Kooperation. Tit For Tat zeigt in dieser Situation keine Neigung zu einer Überreaktion, sondern zeigt nach einem Ausgleich stets eine unbedingte Bereitschaft, den nun möglichen Frieden zu schaffen.

Seebach, den 5. März 1996.

Friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen

Ausgehend von Robert Axelrods Arbeit 'Die Evolution der Kooperation' werden die bisherigen Ergebnisse zunächst dazu benutzt, um friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen zu definieren. Damit gelingt eine einfache Sehweise wesentlicher Ergebnisse von Robert Axelrod. Zugleich werden in dieser Arbeit sämtliche **friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen** charakterisiert.

3.1 Robert Axelrod's Ergebnisse

In seinen Arbeiten, die ihren Niederschlag in dem Buch 'Die Evolution der Kooperation' fanden, untersuchte Robert Axelrod auch die Frage, welche Verhaltensweisen erfolgreich sind. Um Klarheit zu gewinnen, führte er im Rahmen eines iterierten Gefangenendilemmas Turniere der Art 'Jeder gegen Jeden' durch, mit denen er den gesellschaftlichen Austauschprozess nachbildete. Damit betrat Robert Axelrod Neuland.

Zur Durchführung des ersten Turniers schrieb Robert Axelrod eine Reihe professioneller Spieltheoretiker an, unter ihnen einige, die Forschungen zum Gefangenendilemma durchgeführt hatten. Die Angeschriebenen wurden um eine Teilnahme in Form eines Computer-Programmes gebeten, das eine Regel für die Wahl zwischen einer Kooperation K und einer Defektion D für jeden Zug enthalten musste. Um Teilnehmer für das zweite Turnier zu gewinnen, inserierte Robert Axelrod in Computerzeitschriften.

Bereits beim ersten Turnier fand er eine Eigenschaft von Verhaltensweisen, mit deren Hilfe relativ erfolgreiche von erfolglosen Teilnehmern unterschieden werden konnten. „Diese Eigenschaft besteht darin, *freundlich* zu sein, d.h. nicht als Erster zu defektieren“⁽²⁾, schreibt Robert Axelrod. Im ersten Turnier war jede der ersten acht und keine der restlichen sieben Regeln freundlich. Bei seinem zweiten Turnier waren von den ersten fünfzehn Verhaltensweisen alle bis auf eine, die den achten Platz erreichte, freundlich, während von den letzten fünfzehn alle bis auf eine nicht freundlich waren.

Zum ersten Turnier schreibt Robert Axelrod: „Die freundlichen Regeln hatten im Turnier vor allem deshalb Erfolg, weil sie gut miteinander auskamen und weil es ausreichend viele gab, um die durchschnittliche Punktzahl jeder einzelnen beträchtlich zu erhöhen. Solange der andere Spieler nicht defektierte, kooperierte jede der freundlichen Regeln stets bis praktisch zum Ende des Spiels. Was aber passierte, wenn es eine Defektion gab? Verschiedene Regeln reagierten darauf verschieden, und ihre Reaktion war wichtig für den Gesamterfolg. Ein Schlüsselbegriff in dieser Hinsicht ist die Nachsicht einer Entscheidungsregel. *Nachsicht* kann man informell als die Neigung beschreiben, in den Zügen nach einer Defektion des anderen Spielers zu kooperieren.“⁽³⁾

Unter allen freundlichen Regeln erreicht diejenige die niedrigste Punktzahl, die am wenigsten nachsichtig war. Es war eine Regel, die auf ein einmaliges Hereinlegen ewige Vergeltung übte. Bei seinem zweiten Turnier stellte Robert Axelrod außerdem fest: „Ein Merkmal, das gut zwischen den freundlichen Regeln selbst unterscheidet, ist die Schnelligkeit und die Zuverlässigkeit der Reaktion auf eine Herausforderung durch den anderen Spieler. Von einer Regel kann man sagen, dass sie *zurückschlägt*, wenn sie nach einer 'unnötigen' Defektion der anderen Seite selbst sofort defektiert. Was genau mit 'unnötig' gemeint ist, legen wir nicht präzise fest.“⁽⁴⁾

Am erfolgreichsten schnitt bei den Turnieren Tit For Tat ab. Tit For Tat kooperiert beim ersten Zug und handelt dann bei jedem weiteren Zug so wie die Gegenseite beim vorhergehenden. Tit For Tat: 'Wie du mir, so ich dir'. Tit For Tat kooperiert so lange wie auch die Gegenseite kooperiert. Defektiert hingegen die Gegenseite, dann defektiert Tit For Tat ab dem nächsten Zug bis die Gegenseite kooperiert. Daraufhin kooperiert Tit For Tat wieder.

Tit For Tat gewann nahezu alles, was es bei Robert Axelrod's Turnieren zu gewinnen gab. Robert Axelrod schreibt dazu: „Was den robusten Erfolg von Tit For Tat erklärt, ist die Kombination, freundlich zu sein, zurückzuschlagen, Nachsicht zu üben und verständlich zu sein. Freundlichkeit schützt vor überflüssigen Scherereien, Zurückschlagen hält die andere Seite nach einer versuchten Defektion davon ab, diese unbeirrt fortzusetzen. Nachsicht ist wichtig bei der Wiederherstellung wechselseitiger Kooperation. Schließlich erleichtert Verständlichkeit die Identifikation und löst langfristige Kooperation aus.“⁽⁵⁾

Robert Axelrod wurde 1981 für seine Arbeiten mit dem Newcomb Cleveland-Preis ausgezeichnet, den die Amerikanische Vereinigung zur Förderung der Wissenschaften alljährlich für eine herausragende Veröffentlichung in 'Science' vergibt.

Eine Schwäche der Arbeit Robert Axelrod's liegt in seinen Begriffsbildungen. Eine nach einem einmaligen Herinlegen ewige Vergeltung übende Verhaltensweise freundlich zu nennen, geht an dem vorbei, was allgemein unter dem Wesen der Freundlichkeit verstanden wird. Daneben sind die Begriffe 'Nachsicht' und 'Zurückschlagen' zu ungenau, um zu einer exakten Erfassung von Verhaltensweisen gelangen zu können. Diese Mängel resultieren aus einer fehlenden inhaltlichen Analyse der Struktur des Gefangenendilemmas und damit der sich daraus ergebenden Eigenschaften von Verhaltensweisen. Sie lassen sich beheben, wenn auf den bisher entwickelten Ansatz zurückgegriffen wird. Dadurch wird zudem eine einfache, elementare Sichtweise möglich, in der sich Robert Axelrods interessante Ergebnisse in einem neuen Licht zeigen.

3.2 Friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen

Es bezeichnet V die Menge der Verhaltensweisen. Für Verhaltensweisen v, v^* werden im Folgenden auch die Schreibweisen $v = (v_n)_{n \in \mathbb{N}}$, $v^* = (v_n^*)_{n \in \mathbb{N}}$ benutzt.

Wie weiter oben dargelegt wurde, erzeugt die Interaktion zweier Verhaltensweisen $v, v^* \in V$ einen Prozess des Gebens und Nehmens. Als Auszahlungsmatrix ist dabei die Matrix A zu nehmen. Dieser Prozess des Gebens und Nehmens wird im Folgenden mit $P(v, v^*)$ gekennzeichnet. Unabhängig von der Wahl der einzelnen Auszahlungsmatrizen wird die Struktur des gesamten Geschehens bis zum n -ten Zug in eindeutiger Weise durch eine $(3 \times n)$ -Matrix P_n beschrieben, die im Folgenden durch $P_n(v, v^*)$ gekennzeichnet wird, wobei sich der erste Akteur der Verhaltensweise v und der zweite der Verhaltensweise v^* bedient.

In $P_n(v, v^*)$ bezeichnet schließlich $MKD^{(n)}$ (bzw. $NDK^{(n)}, MDK^{(n)}$) die Anzahl der Züge $Z_i, i < n + 1$, mit

$$Z_i = G^{(3)} = (M, K, D)^\top \text{ (bzw. } Z_i = G^{(6)} = (NDK)^\top, Z_i = G^{(2)} = (M, D, K)^\top).$$

Für ein festgewähltes $v^* \in V$ hängen $MKD^{(n)}$, $NDK^{(n)}$ und $MDK^{(n)}$ natürlich von der mitagierenden Verhaltensweise v ab. Da im Folgenden aus dem Kontext stets hervorgehen wird, um welches v es sich handelt, wird hier eine gewisse Ungenauigkeit der Bezeichnungsweise in Kauf genommen, um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten.

Nach dem Klassifizierungstheorem herrscht in einem beliebigen Prozess P des Gebens und Nehmens nach dem n -ten Zug Z_n genau dann Frieden, wenn gilt

$$Z_n = G^{(8)} = (N, K, K)^\top.$$

Nun kann von einer Verhaltensweise $v^* \in V$ gesagt werden, dass sie friedensbewahrend ist, wenn sie in allen Situationen, in denen der Friede mit der Gegenseite vorhanden ist, ihren Beitrag zu dessen Fortsetzung gibt. Formal führt dies zu folgender Definition

Definition 1

$v^* \in V$ heißt eine friedensbewahrende Verhaltensweise, wenn für alle $v \in V$ und alle $n \in \mathbb{N}$ gilt:

$$\text{Ist } Z_n = G^{(8)} \text{ in } P_n(v, v^*), \text{ so folgt } v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K.$$

Bemerkung 1

Es genügt in der Definition 1 zu fordern, dass die Verhaltensweisen v^* in allen Situationen, in die sie kommen kann und in denen Frieden herrscht, mit einer Kooperation reagieren wird. Würde man fordern, dass v^* in allen denkbaren Situationen entsprechend handelt, so müsste folgendes Kriterium erfüllt werden:

$v^* \in V$ heißt eine friedensbewahrende Verhaltensweise, wenn für alle $n \in \mathbb{N}$ und alle $P_n \in P_n$ gilt:

$$\text{Ist } Z_n = G^{(8)} = (N, K, K)^\top, \text{ so folgt } v_{n+1}^*(P_n) = K.$$

Diese Forderung ist aber nicht angebracht.

Ähnliches gilt für die weiter unten aufgeführte Definition 2.

In offenliegender Weise überträgt sich diese Definition auf den ersten Akteur.

Bemerkung 2

Es gibt Verhaltensweisen, die mit keiner anderen Verhaltensweise zu einem Frieden gelangen, beispielsweise jene Regel v , die in jeder Situation defektiert. In diesem Fall kann nur festgestellt werden: „Es ist keine Aussage darüber zu machen, ob v eine friedensbewahrende Verhaltensweise ist oder nicht.“

Beispiel 1

Tit For Tat ist eine friedensbewahrende Verhaltensweise, da es auf eine Kooperation der Gegenseite mit einer Kooperation antwortet. Wenn $Z_n = G^{(8)}$ gilt, so hat die Gegenseite im n -ten Zug kooperiert, so dass Tit For Tat im $(n + 1)$ -ten Zug kooperieren wird.

Tit For Two Tats, eine Variante von Tit For Tat, ist ebenfalls eine friedensbewahrende Verhaltensweise. Tit For Two Tats agiert wie Tit For Tat mit dem einzigen Unterschied, dass es zwei Defektionen der Gegenseite benötigt, ehe Tit For Two Tats zu defektieren beginnt. Da es in gleicher Weise wie Tit For Tat die Kooperation der Gegenseite beantwortet, ist auch Tit For Two Tats eine friedensbewahrende Verhaltensweise.

Bemerkung 3

Robert Axelrod's Begriff der Freundlichkeit besteht also darin, im ersten Zug zu kooperieren und einen möglichen anfänglichen Frieden zu bewahren. Daraus ist aber nicht zu schließen, dass eine solche Verhaltensweise auch friedensbewahrend ist, wie aus dem Folgenden ersichtlich wird:

Es sei v_1 eine Verhaltensweise, die nach dem Muster vorgeht, drei Züge lang zu kooperieren um im vierten zu defektieren. Offensichtlich ist v_1 weder eine freundliche noch eine friedensbewahrende Verhaltensweise. Nun sei v_2 eine Verhaltensweise, die anfangs so lange kooperiert, bis sie hereingelegt wird und in diesem Fall sofort defektiert, bis ein Ausgleich im Hereinlegen erreicht ist. Dann wechselt sie stets zwischen Kooperation und Defektion ab. In diesem Fall gilt:

$$P_7(v_1, v_2) = \begin{pmatrix} N & N & N & N & M & N & N \\ K & K & K & D & K & K & K \\ K & K & K & K & D & K & D \end{pmatrix}.$$

Hier ist also $Z_6 = G^{(8)}$, worauf die freundliche Verhaltensweise v_2 mit einer Defektion reagiert.

Nach dem Klassifizierungstheorem ist in einem beliebigen Prozess des Gebens und Nehmens nach dem n -ten Zug Z_n , $n > 1$, genau dann der nicht vorhandene Friede machbar, wenn Z_n mit einem der drei Elementargeschehnissen $G^{(3)}$, $G^{(5)}$, $G^{(10)}$, übereinstimmt. Von einer Verhaltensweise $v^* \in V$ kann nun gesagt werden,

dass sie friedensschaffend ist, wenn sie in allen Situationen, in denen der Friede mit der Gegenseite nicht vorhanden, aber im nächsten Zug machbar geworden ist, ihren Beitrag zu dessen Schaffung gibt. Da auch zu Beginn des ersten Zuges die Möglichkeit besteht, den nicht vorhandenen Frieden zu errichten, führt diese Sichtweise zu folgender Definition:

Definition 2

$v^* \in V$ heißt eine friedensschaffende Verhaltensweise, wenn für alle $v \in V$ und alle $n \in \mathbb{N}$ folgende vier Bedingungen erfüllt sind:

1. $v_1^*(P_0) = K$
2. Ist $Z_n = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$ in $P_n(v, v^*)$, so folgt $v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K$.
3. Ist $Z_n = G^{(5)} = (N, D, D)^\top$ in $P_n(v, v^*)$, so folgt $v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K$.
4. Ist $Z_n = G^{(10)} = (P, D, K)^\top$ in $P_n(v, v^*)$, so folgt $v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K$.

Beispiel 2

Tit For Tat und Tit For Two Tats sind beide friedensschaffende Verhaltensweisen. Beide Verhaltensweisen kooperieren beim ersten Zug und erwidern jede Kooperation der Gegenseite, so dass Bedingung 1 und Bedingung 2 bereits erfüllt sind. Der verbleibende, nachzuweisende Rest ergibt sich aus dem sich anschließenden Lemma, da beide Verhaltensweisen stets den vorhandenen Frieden bewahren.

Nun sind friedliche Verhaltensweisen gekennzeichnet durch zwei Eigenschaften: Erstens den Frieden zu schaffen und dann zweitens zu bewahren. Aus diesem Grund wird hier eine Verhaltensweise v^* friedlich genannt, wenn v^* friedensbewahrend und friedensschaffend ist. Nun gilt:

Lemma 1

$v^* \in V$ ist genau dann eine friedliche Verhaltensweise, wenn für alle $v \in V$ und alle $n \in \mathbb{N}$ die folgenden drei Bedingungen erfüllt sind:

- A. Ist $Z_n = G^{(8)} = (N, K, K)^\top$ in $P_n(v, v^*)$, so folgt $v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K$.
- B. $v_1^*(P_0) = K$
- C. Ist $Z_n = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$ in $P_n(v, v^*)$, so folgt $v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K$.

Beweis:

Eine friedliche Verhaltensweise erfüllt die Bedingungen A, B und C. Sei umgekehrt v^* eine Verhaltensweise, die diesen Bedingungen genügt. Nach Bedingung A ist v^* eine friedensbewahrende Verhaltensweise. Das Lemma ist also bewiesen, wenn nachgewiesen wird, dass v^* nicht in Situationen geraten kann, die den Elementargeschehnissen $G^{(5)}$ und $G^{(10)}$ entsprechen.

Dazu sei $v \in V$ eine beliebige Verhaltensweise. Nun kooperiert v^* im ersten Zug. Kooperiert v ebenso, so herrscht nach dem Ende des ersten Zuges Frieden mit der Gegenseite, den v^* als friedensbewahrende Verhaltensweise stets mit einer Kooperation verlängert, bis ihn möglicherweise die Gegenseite mit einer Defektion bricht. In diesem Fall wird das Schadensverhältnis negativ, wie auch in dem Fall, wenn v im ersten Zug defektiert. In beiden Fällen bleibt das Schadensverhältnis bis zu einem Zug Z_n mit $Z_n = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$ negativ - und es bleibt an dieser Stelle festzuhalten, dass keiner der Züge $Z_i, i < n$, weder mit $G^{(5)}$ noch mit $G^{(10)}$ übereinstimmen.

Gemäß Bedingung C reagiert v^* auf den n -ten Zug Z_n mit $Z_n = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$ mit einer Kooperation,

so dass Z_{n+1} nach einer Kooperation von v im $(n+1)$ -ten Zug mit $G^{(8)}$ übereinstimmt, also wieder Frieden herrscht. Nach einer Defektion von v im $(n+1)$ -ten Zug gilt hingegen für Z_{n+1}

$$Z_{n+1} = G^{(6)} = (N, D, K)^{\top}.$$

In diesem Fall beginnt v mit dem $(n+1)$ -ten Zug seinen zweiten Angriff, wodurch im $(n+2)$ -ten Zug das Schadensverhältnis erneut negativ ist. Damit sind wir in der bereits untersuchten Situation, und es ergibt sich aus dem bisher Gesagten, dass kein Geschehen Z_i eines Zuges i mit $i > n+1$ mit einem der beiden Elementargeschehnissen $G^{(5)}$ und $G^{(10)}$ übereinstimmen kann. Damit ist alles bewiesen.

Zugleich ist damit auch das folgende Lemma bewiesen:

Lemma 2

Es sei $v^* \in V$ eine friedliche Verhaltensweise und $v \in V$ beliebig gewählt. Dann gilt in $P(v, v^*)$:

- (a) Es gibt keinen Zug $n, n \in \mathbb{N}$, mit $Z_n = G^{(7)} = (N, K, D)^{\top}$.
- (b) Für alle $n \in \mathbb{N}$ ist $S(n) \neq 1$.

Dies bedeutet, dass eine friedliche Verhaltensweise niemals angreifen kann. Somit kann das Schadensverhältnis in diesem Fall niemals positiv werden.

Hingegen gibt es sowohl friedensbewahrende als auch friedensschaffende Verhaltensweisen, die zum Angreifen fähig sind. Dies ist den beiden folgenden Beispielen zu entnehmen.

Beispiel 3

Es sei v_2 eine Verhaltensweise, die im ersten Zug kooperiert und auf jede Kooperation der Gegenseite stets kooperiert. Wird sie hingegen hereingelegt, dann defektiert sie im Anschluss daran immer. v_2 ist also nichts anderes als die „ewige Vergeltung“. Nun ist v_2 eine friedensbewahrende Verhaltensweise: Zunächst zeigt eine Interaktion von v_2 mit einer beliebigen, im ersten Zug kooperierenden Verhaltensweise, dass die Voraussetzung in der Definition 1 auch tatsächlich eintreten kann. Es verbleibt noch zu zeigen, dass v_2 dann auch kooperiert. Dies ergibt sich unmittelbar aus folgender Bemerkung: Herrscht nach dem n -ten Zug Frieden, so hat die Gegenseite im n -ten Zug kooperiert, den v_2 im $(n+1)$ -ten Zug mit einer Kooperation beantworten wird.

Dem folgenden Beispiel ist zu entnehmen, dass v_2 keine friedensschaffende Verhaltensweise ist. Hier ist v_1 eine Verhaltensweise, die bis auf den zweiten Zug stets kooperiert, dort aber defektiert.

$$P_4(v_1, v_2) = \begin{pmatrix} N & N & M & N \\ K & D & K & K \\ K & K & D & D \end{pmatrix}$$

Im vierten Zug verletzt die Verhaltensweise v_2 die zweite Bedingung der Definition 2.

Beispiel 4

Es sei v_2 eine Verhaltensweise, die im ersten Zug kooperiert und im $(n+1)$ -ten Zug kooperiert, wenn Z_n mit einem der drei Elementargeschehnissen $G^{(3)}, G^{(5)}, G^{(10)}$ übereinstimmt und ansonsten stets defektiert. Offensichtlich ist v_2 eine friedensschaffende Verhaltensweise. Eine Interaktion mit der stets kooperierenden Verhaltensweise v_1 zeigt nun, dass v_2 keine friedensbewahrende Verhaltensweise ist.

$$P_2(v_1, v_2) = \begin{pmatrix} N & N \\ K & K \\ K & D \end{pmatrix}$$

Im zweiten Zug verletzt v_2 die in der ersten Definition angegebene Bedingung.

Die Stärke friedlicher Verhaltensweisen liegt in ihrer unbedingten Bereitschaft zu kooperieren und keinen Konflikt mit der Gegenseite zu schaffen. Verhält sich die Gegenseite ebenso, so profitieren beide Seiten von diesen gemeinsamen Kooperationen. Setzt die Gegenseite hingegen eher auf die Gewinne beim Hereinlegen, dann besteht für friedliche Verhaltensweisen die Gefahr, hier zu einem Opfer zu werden. Dies ist dann der Fall, wenn sie sich nicht geeignet verteidigen können. Verhaltensweisen, die sich sicher verteidigen können, unterliegen dieser Gefahr nicht. Was bedeutet dies konkret?

Um dies zu klären, betrachten wir zwei Akteure, die zwei Verhaltensweisen benutzen. Zu einem beliebigen Zug n sehe sich der zweite Akteur vom ersten Akteur zum ersten Mal hereingelegt. In der hier verwendeten Bezeichnungsweise gilt also

$$Z_n = G^{(6)} = (N, D, K)^\top .$$

In diesem Augenblick sieht sich der zweite Akteur einem Angriff des ersten Akteurs ausgesetzt. Er hat nun folgende Möglichkeiten: Er kann reagieren wie Tit For Tat und defektieren, um allen Anfängen zu wehren, oder er kann im $(n + 1)$ -ten Zug mit einer Kooperation eine abwartendere, vorsichtigere Haltung einnehmen. Handelt er wie Tit For Tat, so defektiert er so lange, bis ihm durch ein Hereinlegen der Gegenseite ein Ausgleich gelungen ist, um dann wieder zu kooperieren. Kooperiert hingegen der zweite Akteur im $(n + 1)$ -ten Zug, so kann er durch eine in diesem Zug defektierende Gegenseite ein zweites Mal hereingelegt werden; in der hier verwendeten Bezeichnungsweise gilt dann

$$Z_{n+1} = G^{(2)} = (M, D, K)^\top ,$$

und es ist

$$MDK^{(n+1)} = 1 .$$

In diesem Fall ist der zweite Akteur im $(n + 1)$ -ten Zug nicht nur mit einer erneuten Schädigung durch die Gegenseite konfrontiert, sondern auch mit einer qualitativen Veränderung seiner Lage. Er sieht, dass die Gegenseite mit einem ihr davor zugestandenem Vorteil nicht zufrieden ist. Ab einem solchen Augenblick weiß der zweite Akteur, dass der erste Neigungen zum Ausbeuten hat, wobei hier formal unter einem Ausbeuten das Geschehen Z_i eines beliebigen i -ten Zuges, $i \in \mathbb{N}$, mit

$$Z_i = G^{(2)} = (M, D, K)^\top$$

verstanden wird. Ab einem solchen Augenblick weiß der zweite Akteur ebenfalls, dass er mit sporadischen oder systematischen Ausbeutungsversuchen rechnen muss. Wird er während dieses oder eines anderen Angriffs der Gegenseite nochmals hereingelegt, also nochmals ausgebeutet, so hat die Warnung des $(n + 1)$ -ten Zuges keine Früchte gezeigt. Der zweite Akteur verfügt über keine sichere Verteidigung.

Somit wird ein Akteur, der sich sicher verteidigen kann, keiner Gegenseite, die eine Neigung zum Ausbeuten zum Ausdruck gebracht hat, ein zweites Mal zum Opfer fallen. Dies führt zu folgender Definition:

Definition 3

Eine Verhaltensweise v^* , $v^* \in \mathbf{V}$, verteidigt sich sicher, wenn für alle $v \in \mathbf{V}$ und alle $n \in \mathbb{N}$ in $P_n(v, v^*)$ gilt:

$$MDK^{(n)} < 2 .$$

In diesem Fall gibt es also keine Verhaltensweise v und keinen Zug n , so dass in $P_n(v, v^*)$ gilt

$$MDK^{(n)} > 1 .$$

Mit anderen Worten: Keiner Verhaltensweise gelingt es, v^* mindestens zweimal auszubeuten.

Beispiel 5

Tit For Tat ist eine Verhaltensweise, die sich sicher verteidigt. Das ist nach dem bisher Gesagten offensichtlich, wie auch, dass Tit For Tat von keiner Gegenseite ausgebeutet werden kann.

Tit For Two Tats hingegen verfügt über keine sichere Verteidigung. Dies zeigt beispielsweise die folgende Verhaltensweise v_1 , die stets dreimal defektiert und dann kooperiert. Hier gilt nun

$$P_8(v_1, \text{Tit For Two Tats}) = \begin{pmatrix} N & M & M & M & N & M & M & M \\ D & D & D & K & D & D & D & K \\ K & K & D & D & K & K & D & D \end{pmatrix},$$

also

$$MDK^{(6)} = 2.$$

Dieses Beispiel zeigt ebenfalls, dass Tit For Two Tats gezielt ausgebeutet werden kann. Zwar wehrt sich Tit For Two Tats während eines jeden Angriffs sofort nach einer Ausbeutung, kommt aber beim nächsten Angriff der Gegenseite erneut vollständig unvorengekommen entgegen, um von v_1 wieder auf dem falschen Fuß erwischt zu werden.

Während sich hier das Vertrauen von Tit For Two Tats als blindes Vertrauen erweist, praktiziert Tit For Tat ab dem Beginn eines Angriffs der Gegenseite eine Art 'worst case thinking'. Da die Gegenseite Neigungen zum Ausbeuten haben könnte, wird kein Versuch unternommen, herauszufinden, ob die Gegenseite mit dem bisherigen Vorteil zufrieden ist und somit in dieser Situation ein Arrangement gefunden werden kann. Der Schöpfer Tit For Tats, Anatol Rapoport, drückt dies so aus, Tit For Tat schlage manchmal allzu schroff zurück.⁽⁷⁾

Nun gilt

Lemma 3

Es sei $v^*, v^* \in V$, eine sich sicher verteidigende Verhaltensweise. Gibt es dann eine Verhaltensweise v und eine natürliche Zahl n , so dass

$$MDK^{(n)} = 1$$

in $P_n(v, v^*)$ gilt, so folgt für jeden weiteren Zug Z_{n+k} , $k > 0$, mit $S(n+k) = -1$

$$v_{n+k}^*(P_{n+k-1}(v, v^*)) = D.$$

Beweis:

Die Verhaltensweise $v = (v_i)_{i \in \mathbb{N}}$ sei beliebig gewählt, und es gelte

$$MDK^{(n)} = 1$$

in $P_n(v, v^*)$. Sei außerdem Z_{n+k} mit $k > 0$ ein beliebiger weiterer Zug mit $S(n+k) = -1$. Ist dann

$$v_{n+k}(P_{n+k-1}(v, v^*)) = D,$$

so muss auch v^* im $(n+k)$ -ten Zug defektieren, wenn sie in diesem Zug nicht zum zweiten Mal ausgebeutet werden will. Damit folgt

$$v_{n+k}^*(P_{n+k-1}(v, v^*)) = D.$$

Gilt hingegen

$$v_{n+k}(P_{n+k-1}(v, v^*)) = K,$$

so wird nun eine weitere Verhaltensweise v' , $v' = (v'_i)_{i \in \mathbb{N}}$ derart definiert, dass gilt

$$v_i = v, \text{ für alle } i \neq n+k$$

sowie für alle $v \in V$

$$v'_{n+k}(P_{n+k-1}(v, v')) = D.$$

Dann gilt einerseits auch

$$MDK^{(n)} = 1$$

in $P_n(v', v^*)$. Andererseits ergibt sich mit dem gleichen Argument wie oben, dass v^* im $(n + k)$ -ten Zug defektieren muss. Damit ist alles bewiesen.

Ist also eine sich sicher verteidigende Verhaltensweise bereits einmal von einer weiteren Verhaltensweise ausgebeutet worden, so muss sie daraufhin immer defektieren, wenn die Gegenseite angreift.

Die Verhaltensweise v , die in jeder Situation kooperiert, ist ebenfalls das Beispiel einer friedlichen Verhaltensweise, die sich nicht sicher verteidigt. Wenn sie angegriffen wird, gelingt ihr nach einem ersten Angriff der Gegenseite kein Ausgleich mehr. So bleibt ein erneuter Friede in unerreichbarer Ferne. Häufig ist der Widerstand friedlicher Verhaltensweisen zu gering. Sich nicht geeignet zu verteidigen, heißt oftmals nicht nur, die Option auf einen gemeinsamen Frieden aufzugeben, sondern auch - entgegen der eigenen Absicht - auf Ausbeutung ausgehende Verhaltensweisen zu unterstützen, denn bei diesen können letztere auf ihre Kosten kommen. Derart gesehen sind friedliche Verhaltensweisen, die sich sicher verteidigen können, die einzigen echten friedlichen Verhaltensweisen.

Um diesen Unterschied zwischen friedlichen Verhaltensweisen und solchen, die sich zudem sicher verteidigen können, deutlich zu machen, wird nun hier der Begriff einer friedlich-evolutionären Verhaltensweise eingeführt.

Definition 4

Eine friedliche Verhaltensweise, die sich sicher verteidigt, heißt friedlich-evolutionäre Verhaltensweise.

Von allen bisher betrachteten Beispielen ist allein Tit For Tat eine friedlich-evolutionäre Verhaltensweise. Bevor im nächsten Abschnitt sämtliche friedlich-evolutionären Verhaltensweisen bestimmt werden, noch eine letzte Bemerkung zu den Definitionen dieses Abschnittes.

Bemerkung 4

Ohne die Allgemeinheit zu beschränken, sind in den Definitionen dieses Abschnittes die Eigenschaften 'friedensbewahrend', 'friedensschaffend' und 'verteidigt sich sicher' in Bezug auf den zweiten Akteur formuliert worden. In offenkundiger Weise übertragen sich diese Definitionen auf den Fall des ersten Akteurs. Dabei ist zu beachten, dass ein Übergang vom ersten zum zweiten Akteur nicht nur eine Vertauschung des zweiten und dritten Argumentes der in Frage kommenden Elementargeschehnisse $G^{(j)}$ bedeutet. Damit kann außerdem eine Änderung des Schadensverhältnisses einhergehen. Das Schadensverhältnis ist hier so festgelegt, dass es die Sicht des zweiten Akteurs widerspiegelt. Dies bedeutet dann im ersten Argument des in Frage kommenden Elementargeschehnisses $G^{(j)}$ eine Vertauschung der Schadensverhältnisse M und P , während N beibehalten wird. Bei der Übertragung der Definition 1 auf den Fall des ersten Akteurs ändert sich folglich nichts bis auf die Vertauschung von v und v^* . Dies gilt ebenfalls für die Definition 2, da hier die Bedingungen 2 und 4 ineinander übergehen. In der Definition 3 ist neben dieser Vertauschung von v und v^* noch $MDK^{(n)}$ durch $PKD^{(n)}$ zu ersetzen.

3.3 Die Bestimmung sämtlicher friedlich-evolutionärer Verhaltensweisen

Bevor im folgenden Theorem sämtliche friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen bestimmt und charakterisiert werden, werden zunächst einige zum Beweis benötigte Ergebnisse zusammengestellt.

Lemma 4

Die Verhaltensweisen $v, v^* \in V$ seien beliebig gewählt. Für jede natürliche Zahl n gilt dann in $P_n(v, v^*)$:

- (a) $NDK^{(n)} \geq MKD^{(n)}$;
- (b) Aus $NDK^{(n)} > MKD^{(n)}$ folgt $S(n + 1) = -1$;

(c) Aus $NDK^{(n)} = MKD^{(n)}$ folgt $S(n+1) \neq -1$;

(d) Aus $S(n+1) = 0$ folgt $NDK^{(n)} = MKD^{(n)}$.

Beweis:

Die Verhaltensweisen $v \in \mathbf{V}$, $v^* \in \mathbf{V}$ und $n \in \mathbb{N}$ seien beliebig gewählt. Nach dem bisher Gesagten zählt $NDK^{(n)}$ die Angriffe des sich der Verhaltensweise v bedienenden ersten Akteurs bis einschließlich des n -ten Zuges, während $MKD^{(n)}$ die in diesem Zeitraum erfolgten Ausgleiche durch den die Verhaltensweise v^* benutzenden zweiten Akteurs angibt. Daraus ergibt sich unmittelbar

$$NDK^{(n)} \geq MKD^{(n)} .$$

Dies beweist die Aussage (a).

Ist

$$NDK^{(n)} > MKD^{(n)} ,$$

so ist nach dem n -ten Zug der erste Akteur beim Angreifen. Damit ist das Schadensverhältnis $S(n+1)$ zu Beginn des $(n+1)$ -ten Zuges negativ. Somit ist die Aussage (b) ebenfalls bewiesen.

Im Fall

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)}$$

greift der erste Akteur im $(n+1)$ -ten Zug nicht an. Daraus folgt, dass das Schadensverhältnis $S(n+1)$ zu Beginn des $(n+1)$ -ten Zuges nicht negativ ist. Damit ist die Aussage (c) bewiesen.

Ist schließlich

$$S(n+1) = 0 ,$$

und wäre außerdem

$$NDK^{(n)} > MKD^{(n)} .$$

so würde sich

$$S(n+1) = -1$$

nach der soeben bewiesenen Aussage (b) für das Schadensverhältnis $S(n+1)$ zu Beginn des $(n+1)$ -ten Zuges ergeben. Dies aber steht im Widerspruch zur Annahme. Also gilt

$$NDK^{(n)} \leq MKD^{(n)} ,$$

und zusammen mit der obigen Aussage (a) ergibt sich dann auch

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)} .$$

Damit ist abschließend auch die Aussage (d) bewiesen.

Nun gilt folgendes

Theorem 1

Eine Verhaltensweise v^* , $v^* \in \mathbf{V}$, mit

$$v_1^*(P_0) = K$$

ist genau dann eine friedlich-evolutionäre Verhaltensweise, wenn für alle $v \in \mathbf{V}$ und alle $n \in \mathbb{N}$ gilt:

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = \begin{cases} K, & \text{falls } NDK^{(n)} = MKD^{(n)} ; \\ \text{beliebig} , & \text{falls } NDK^{(n)} > MKD^{(n)} \wedge MDK^{(n)} = 0 ; \\ D, & \text{falls } NDK^{(n)} > MKD^{(n)} \wedge MDK^{(n)} > 0 . \end{cases}$$

Beweis:

Es sei v^* eine beliebige friedlich-evolutionäre Verhaltensweise. Da v^* als friedensschaffende Verhaltensweise im ersten Zug kooperiert, gilt stets

$$v_1^*(P_0) = K .$$

Nun seien $v \in \mathbf{V}$ und $n \in \mathbb{N}$ beliebig gewählt, $n > 1$. Gilt

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)} ,$$

so sind zwei Fälle zu unterscheiden, nämlich

$$Z_n = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$$

und

$$Z_n \neq G^{(3)} .$$

Im Fall

$$Z_n = G^{(3)}$$

wird v^* als friedensschaffende Verhaltensweise im nächsten Zug kooperieren, also gilt hier

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K ,$$

was für diesen Fall auch nachzuweisen war. Gilt hingegen

$$Z_n \neq G^{(3)} ,$$

so folgt aus Lemma 4 (c) und Lemma 2 (b)

$$S(n) = 0 .$$

Damit stimmt Z_n mit einem der vier Elementargeschehnisse

$$G^{(5)} = (N, D, D)^\top; G^{(6)} = (N, D, K)^\top; G^{(7)} = (N, K, D)^\top; G^{(8)} = (N, K, K)^\top$$

überein. Wie im Beweis des Lemmas 1 nachgewiesen wurde, kann v^* als friedliche Verhaltensweise nicht in eine durch das Elementargeschehnis $G^{(5)}$ beschriebene Situation kommen. Somit ist der Fall

$$Z_n = G^{(5)} = (N, D, D)^\top$$

nicht möglich. Als friedliche Verhaltensweise kann v^* nach Lemma 2 (a) nicht angreifen. Somit ist auch der Fall

$$Z_n = G^{(7)} = (N, K, D)^\top$$

nicht möglich.

Stimmt hingegen Z_n mit $G^{(6)}$ überein, so würde der erste Akteur im n -ten Zug einen neuen Angriff starten, woraus aber

$$NDK^{(n)} > MKD^{(n)}$$

folgen würde, im Widerspruch zu der gemachten Annahme

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)} .$$

Somit kommt für Z_n nur noch das Elementargeschehnis

$$G^{(8)} = (N, K, K)^\top$$

in Frage. Als friedensbewahrende Verhaltensweise kooperiert v^* in diesem Fall, also gilt auch hier

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K ,$$

und damit in allen durch die Bedingung

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)}$$

charakterisierten Fällen.

Sei nun

$$NDK^{(n)} > MKD^{(n)} .$$

Für das Schadensverhältnis $S(n+1)$ zu Beginn des $(n+1)$ -ten Zuges folgt daraus nach Lemma 4 (b)

$$S(n+1) = -1 .$$

Gilt nun

$$MDK^{(n)} = 0 ,$$

so ist nichts zu beweisen. Es sei also

$$MDK^{(n)} > 0 .$$

Da v^* als friedlich-evolutionäre Verhaltensweise die Eigenschaft besitzt, sich sicher zu verteidigen, gilt hier zugleich auch

$$MDK^{(n)} < 2 ,$$

und damit

$$MDK^{(n)} = 1 .$$

Aus Lemma 3 folgt nun unmittelbar

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = D ,$$

was zu beweisen war.

Sei nun umgekehrt $v^*, v^* = (v_n^*)_{n \in \mathbb{N}}$ eine Verhaltensweise mit den im obigen Theorem angegebenen Eigenschaften. Zu zeigen ist dann, dass v^* eine friedlich-evolutionäre Verhaltensweise ist. Zunächst wird gezeigt, dass v^* eine friedensbewahrende Verhaltensweise ist. Für ein beliebig gewähltes v und für eine beliebige natürliche Zahl n gelte

$$Z_n = G^{(8)}$$

in $P_n(v, v^*)$.

Daraus folgt

$$S(n+1) = 0 ,$$

und Lemma 4 (d) impliziert in diesem Fall

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)} .$$

Daraus folgt nach Voraussetzung

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K ,$$

was zu zeigen war.

Nun wird gezeigt, dass v^* eine friedensschaffende Verhaltensweise ist. Nach Voraussetzung gilt

$$v_1^*(P_0) = K .$$

Für ein beliebig gewähltes v und für eine beliebige natürliche Zahl n gelte in $P_n(v, v^*)$

$$Z_n = G^{(3)} = (M, K, D)^\top$$

oder

$$Z_n = G^{(5)} = (N, D, D)^\top$$

oder

$$Z_n = G^{(10)} = (P, D, K)^\top .$$

Aus all diesen drei Fällen folgt

$$S(n+1) = 0 ,$$

und wie eben impliziert dies

$$NDK^{(n)} = MKD^{(n)} .$$

Daraus folgt nach Voraussetzung

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = K ,$$

was zu zeigen war.

Es bleibt zu zeigen, dass v^* eine Verhaltensweise ist, die sich sicher verteidigt. Dazu sei v beliebig gewählt. Mit Hilfe einer vollständigen Induktion wird nun gezeigt, dass für alle $n \in \mathbb{N}$ in $P_n(v, v^*)$ gilt:

$$MDK^{(n)} < 2 .$$

Für $n = 1$ ist dies evident. Für ein gewisses n sei nun

$$MDK^{(n)} < 2$$

in $P_n(v, v^*)$. Zu zeigen bleibt: Es gilt

$$MDK^{(n+1)} < 2$$

in $P_{n+1}(v, v^*)$.

Ist nun

$$MDK^{(n)} = 0 ,$$

so ist die Behauptung evident. Sei also

$$MDK^{(n)} = 1 .$$

Ist gleichzeitig das Schadensverhältnis $S(n+1)$ zu Beginn des $(n+1)$ -ten Zuges nicht negativ, so kann Z_{n+1} nicht mit dem Elementargeschehnis

$$G^{(2)} = (M, D, K)^\top$$

übereinstimmen. In diesem Fall gilt also

$$MDK^{(n+1)} = MDK^{(n)} = 1 < 2 ,$$

was zu zeigen war. Es verbleibt der Fall, dass das Schadensverhältnis $S(n+1)$ zu Beginn des $(n+1)$ -ten Zuges negativ ist. Daraus folgt, dass der erste Akteur angreift. Lemma 4 (a) und (c) implizieren in diesem Fall

$$NDK^{(n)} > MKD^{(n)} .$$

Wegen

$$MDK^{(n)} = 1$$

folgt dann aus der Voraussetzung

$$v_{n+1}^*(P_n(v, v^*)) = D .$$

Deshalb kann auch hier Z_{n+1} nicht mit dem Elementargeschehnis

$$G^{(2)} = (M, D, K)^\top$$

übereinstimmen. Auch hier gilt somit

$$MDK^{(n+1)} = MDK^{(n)} = 1 < 2 .$$

Damit ist alles bewiesen.

Bemerkung 5

Das soeben bewiesene Theorem gibt eine Übersicht über alle friedlich-evolutionären Verhaltensweisen. Unter

diesen ist Tit For Tat die Einzige, die nicht ausbeutbar ist. Dieser Vorzug aber wird mit dem Preis bezahlt, zugleich auch die einzige zu sein, die nach einem Angriff keinen Versuch unternimmt, herauszufinden, ob die Gegenseite mit dem bisherigen Vorteil zufrieden ist und ob eventuell in dieser Situation ein Arrangement gefunden werden kann. Dem Nachteil aller anderen friedlich-evolutionärer Verhaltensweisen, einmal ausgebeutet werden zu können, steht hingegen der Vorteil gegenüber, mit einer vorsichtigen, abwartenden Haltung nach einem ersten Angriff der Gegenseite eventuell eine lange Auseinandersetzung zu vermeiden.

Bemerkung 6

Ist eine friedlich-evolutionäre Verhaltensweise zudem noch verständlich, so teilt sie mit Tit For Tat all jene Eigenschaften, die Robert Axelrod zufolge den robusten Erfolg von Tit For Tat bei allen seinen Turnieren ausmachte. Mit den hier eingeführten Begriffen lässt sich die zitierte Aussage von Robert Axelrod so formulieren: "Was den robusten Erfolg von Tit For Tat erklärt, ist die Kombination, den Frieden stets zu bewahren, sich sicher zu verteidigen, stets bereit zu sein, den Frieden zu schaffen und verständlich zu sein. Den Frieden zu bewahren schützt vor überflüssigen Scherereien, sich sicher zu verteidigen hält die andere Seite nach einer versuchten Defektion davon ab, diese unbeirrt fortzusetzen. Bereit zu sein, stets Frieden zu schaffen, ist wichtig bei der Wiederherstellung wechselseitiger Kooperation. Schließlich erleichtert Verständlichkeit die Identifikation und löst langfristige Kooperation aus."

Mit Sicherheit ist neben Tit For Tat unter allen weiteren friedlich-evolutionären Verhaltensweisen noch jene Verhaltensweise v' verständlich, die so lange kooperiert, wie dies möglich ist. Formal kann diese Verhaltensweise $v' = (v'_n)_{n \in \mathbb{N}}$ durch

$$v'_1(P_0) = K ,$$

$$v'_{n+1}(P_n(v, v')) = \begin{cases} K , & \text{falls } NDK^{(n)} = MKD^{(n)} ; \\ K , & \text{falls } NDK^{(n)} > MKD^{(n)} \wedge MDK^{(n)} = 0 ; \\ D , & \text{falls } NDK^{(n)} > MKD^{(n)} \wedge MDK^{(n)} > 0 \end{cases}$$

charakterisiert werden.

Ausblick

Der Erfolg und die Überlegenheit zumindest der verständlichen, friedlich-evolutionären Verhaltensweise ist ein erfreuliches Resultat, auch wenn es im Gegensatz zu dem zu stehen scheint, was sich heute vor unseren Augen abspielt. Eine auf friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen aufgebaute Welt wird eine friedliche Welt sein im Gegensatz zu der heute von individuell rationalistischen Denk- und Verhaltensweisen geprägten. Zugleich werden in einer solchen Welt Individualität und soziale Kohärenz, die heute unvereinbar erscheinen, harmonisch koexistieren.

Noch aus einem weiteren Grund sind friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen von Bedeutung. In einer Welt, der ernstzunehmende Prognosen eine Periode des Mangels vorhersagen, wird Effizienz von äußerster Wichtigkeit sein.⁽⁷⁾ Hinsichtlich der technischen Effizienz besteht inzwischen ein allgemeiner Konsens. Die soziale Effizienz hingegen, deren Bedeutung jener der technischen Effizienz nicht nachsteht, wird dagegen heute noch vollständig außer acht gelassen.

Für beliebige soziale Interaktionen, seien es die zweier Individuen, seien es die innerhalb einer Gruppe oder einer Gesellschaft, kann der Effektivitätsgrad E einer beliebigen sozialen Interaktion in Übereinstimmung mit der Definition des Effektivitätsgrades in Physik und Technik - gegebenenfalls nach einer geeigneten Normierung - als Quotient aus dem erreichten Resultat R und dem bestmöglichen Resultat $R_{\max}$ definiert werden. Wie es damit weltweit vielerorts bestellt ist, zeigt jenes Experiment von Douglas Hofstadter, in der die Gruppe zu einem Effektivitätsgrad $E = 0,41$ kommt, wenn die bereinigten Ergebnisse zugrunde gelegt werden⁽⁸⁾. Die größtmögliche soziale Effizienz $E = 1$ wird erreicht, wenn alle Akteure kooperieren. Dies erscheint heute als Utopie.

Die Geschichte der Menschheit lehrt, dass stets mit dem Reiz zu rechnen ist, auf Kosten kooperativer Verhaltensweisen durch Defektionen zu größeren individuellen Gewinnen zu kommen. Es ist nun anzunehmen, dass friedlich-evolutionäre Verhaltensweisen jener, wohl historisch zu nennenden, Aufgabe am besten gerecht werden kann, unter den heute gegebenen Umständen zu größtmöglicher sozialer Effizienz beizutragen, ohne gleichzeitig das Opfer individuell rationalistischer, auf Ausbeutung ausgehender Verhaltensweisen zu werden. Dies zu untersuchen sollte die Aufgabe weiterer wissenschaftlicher Forschungen sein.

Literatur

- (1) Axelrod, Robert: Die Evolution der Kooperation. R. Oldenbourg Verlag, München. 1987.
- (2) ibid. S. 30.
- (3) ibid. S. 32.
- (4) ibid. S. 39.
- (5) ibid. S. 48.
- (6) Anatol Rapoport, in: Hofstadter, Douglas R.: Kann sich in einer Welt voller Egoisten kooperatives Verhalten entwickeln? in: Spektrum der Wissenschaften, Nr. 8, 1983
- (7) Brown, Lester R.: Die mageren Jahre kommen, in World-Watch, 5. Jhrg, Heft 1, 1966
- (8) Hofstadter, Douglas R.: Ist Kooperation ein Lotteriespiel? Oder: Wie weit reicht die Macht der Vernunft? in: Spektrum der Wissenschaften, Nr. 9, 1983

Seebach, den 28. Mai 1996.