

### Vier Entwicklungsstränge der neuen Spieltheorie: ein Überblick über den neuen Forschungsstand

Müller, Ulrich

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Zeitschriftenartikel / journal article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:  
GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften

#### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Müller, U. (1988). Vier Entwicklungsstränge der neuen Spieltheorie: ein Überblick über den neuen Forschungsstand. *ZUMA Nachrichten*, 12(23), 45-59. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-210029>

#### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

#### Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

## Vier Entwicklungsstränge der neuen Spieltheorie. Ein Überblick über den Forschungsstand

Nach den goldenen Gründerjahren 1944-53 führte eine sterile mathematische Verfeinerung die Spieltheorie in langandauernde Isolation und Stagnation. Seit Anfang der 70er Jahre können wir einen erstaunlichen Wiederaufstieg der Spieltheorie beobachten, der zum größeren Teil nicht auf endogener Weiterentwicklung, sondern auf der Hereinnahme von Ideen und ganzen Theorien von außerhalb beruht. Anders als früher empfängt die Spieltheorie nun auch vielfältige Anstöße aus Verhaltenswissenschaften weit über den Rahmen der Ökonomie hinaus - vor allen anderen wäre hier die Biologie zu nennen. Weiterhin fällt auf, daß dieser Entwicklungsschub vor allem in der Theorie nicht-kooperativer Spiele stattfand, also von Spielen, in denen zwar Kooperation möglich ist, aber keine bindenden Kontrakte oder Koalitionen eingegangen werden können. Vier Entwicklungsstränge kann man unterscheiden:

- 1.) die Verbindung von Spieltheorie und theoretischer Populationsbiologie zur evolutionären Spieltheorie;
- 2.) die Theorie von Superspielen (iterierten Spielen mit indefinitem Zeithorizont) mit reaktiven Strategien (Strategien mit Lernfunktion);
- 3.) Konvergenz- und Verhandlungsstrategien in nicht-kooperativen Spielen, die eine Vielzahl oder gar ein Kontinuum von Gleichgewichtspunkten haben;.
- 4.) die Theorie öffentlicher Güter als Grundlage von Modellen kollektiven Handelns in Clubs und Teams.

Ich beschreibe erst diese vier Stränge und stelle dann einige Überlegungen über die Veränderungen des allgemeinen Charakters der Spieltheorie an, die mit diesem Entwicklungsschub einhergingen. Eine Vorbemerkung: Die Sprache der Spieltheorie ist die Mathematik. Ohne Kenntnis der mathematischen Modelle kann man weder die Substanz noch die metatheoretische Grundlegung der Spieltheorie verstehen und beurteilen. Ich habe in diesem kurzen Überblick, der für ein nicht einschlägig unterrichtetes Publikum gedacht ist, für die Breite des Blicks die eigentlich unverzichtbare Formalisierung der Darstellung geopfert. Eine breit angelegte, anschauliche Einführung in die Spieltheorie mit Anwendungen bietet Ordeshook (1986), eine durchgängig formalisierte Darstellung Rauhut et.al. (1979).

### 1. Die Verbindung von Spieltheorie und theoretischer Populationsbiologie zur evolutionären Spieltheorie

#### 1.1. Forschungsstand

Die Entstehung der evolutionären Spieltheorie läßt sich im wesentlichen zurückführen auf die Einführung zweier Ideen aus der Populationsbiologie:

1. Die erste neue Idee ist die evolutionenstabiler Strategien. Die Wohladaptiertheit der meisten physiologischen Eigenschaften eines einzelnen Organismus in einer bestimmten physischen Umgebung hängt nicht ab von der relativen Häufigkeit dieser Eigenschaften in der Population, die Selektion ist frequenz-unabhängig. Anders ist es, wenn wir zu Strategien der Interaktion mit anderen Mitgliedern der Population kommen. Wie wohladaptiert bestimmte Strategien - etwa der Partnerwahl, des Wettkampfs, der Kommunikation - sind, hängt offenkundig von der relativen Häufigkeit alternativer Strategien in der Population ab. Hier ist die Selektion frequenz-abhängig. Der Punkt ist nun, daß eine frequenz-abhängige Selektion nicht auf evolutionäre Optimierung, sondern auf evolutionäre Stabilität zielt.

Nach der von Maynard-Smith (Maynard-Smith/Price 1973) stammenden Definition bedeutet Evolutionsstabilität der Strategie  $z$ , daß eine Population mit vielen Mitgliedern, welche alle  $z$  spielen, nicht durch eine neue, zunächst seltene Mutante  $p$  unterwandert werden kann. Spieltheoretisch ist eine evolutionsstabile Strategie eine Strategie, die im Gleichgewicht mit sich selbst ist. Dies schließt andererseits nicht aus, daß die Akteure in der Population sich möglicherweise alle besser stellen, wenn sie  $p$  spielten. Evolutionäre Stabilität bedeutet also nicht notwendigerweise evolutionäre Optimalität.

2. Die zweite neue Idee war, eine evolutionsstabile Strategie mathematisch zu begreifen als asymptotisch stabilen Gleichgewichtspunkt eines kontinuierlichen dynamischen Systems. Das relative Wachstum einer Strategie in der Population wird dabei als eine Funktion ihrer relativen Überlegenheit oder Unterlegenheit gegenüber konkurrierenden Strategien in der Population aufgefaßt. In mehrfacher Hinsicht stellen solche Modelle dynamischer Populationsspiele einen großen Fortschritt dar:

a) In der konventionellen Spieltheorie ist schon die Behandlung eines Drei-Personen-Spiels oft nicht mehr analytisch möglich. Innerhalb dynamischer Populationsspiele können wir demgegenüber nun beliebig viele Strategien in einer Population gegeneinander antreten lassen.

b) In der konventionellen Spieltheorie geht es darum, Gleichgewichtspunkte zu finden, von denen einseitig abzuweichen den einzelnen Spieler nur schlechter stellen kann. Diese Gleichgewichtspunkte gelten als "Lösungen" des strategischen Problems, das in dem jeweiligen Spiel modelliert wird. Die Stabilität solcher Gleichgewichtspunkte gegenüber stochastischen Fluktuationen, die jedes realistische Spielmodell berücksichtigen muß, kann in diesem Rahmen nur sehr unzureichend untersucht werden. Sinnvollerweise können aber nur solche Gleichgewichtspunkte als Lösungen akzeptiert werden, die unter stochastischen Fluktuationen asymptotisch stabil sind. Über das Verhalten von Spielern abseits von Gleichgewichtspunkten kann die konventionelle Spieltheorie überdies im allgemeinen gar nichts sagen.

c) Bei der Analyse dynamischer Populationsspiele sind wir in erster Linie nicht am quantitativen Verhalten des Systems zu einer bestimmten Zeit oder in einem bestimmten Teil des Zustandsraums des Systems interessiert, sondern am globalen qualitativen Verhalten des Systems. Von der Frage nach der asymptotischen Stabilität von Gleichgewichtspunkten kommen wir deshalb zur Frage nach deren respektiven Attraktionsregionen im Zustandsraum des Systems. Von welchen Ausgangslagen im Raum aller möglichen Systemzustände aus bewegt sich das System wohin?

Die Bedeutung dieser neuen Sichtweise für die soziologische Theorienbildung liegt auf der Hand. In einem strengen Sinn kann bei sozialen Systemen doch

# ZUMA

---

nie von einem Gleichgewichtspunkt die Rede sein. Was man höchstens beobachten kann, ist, daß sich ein System in einer bestimmten Region des Raums möglicher Systemzustände aufhält und nach Erschütterungen dorthin zurückzukehren strebt. Diese Region deuten wir als Attraktionsregion eines asymptotisch stabilen Gleichgewichtspunktes. Diesen exakt zu lokalisieren ist mit den üblichen weichen Daten der Verhaltenswissenschaften unmöglich und in einer beständig fluktuierenden Welt auch kein sinnvolles Ziel. Was uns viel mehr zu interessieren hat – und demgegenüber auch erreichbar erscheint – ist die Bestimmung dieser Attraktionsregion, d.h. die Bandbreite der Parameterwerte abzuschätzen, innerhalb derer das System stabil bleibt.

## 1.2 Aktuelle Forschungsschwerpunkte der evolutionären Spieltheorie

Im Bereich des mathematischen Instrumentariums:

a) Die elementare Interaktion in diesen dynamischen Populationsspielen ist die dyadische Konkurrenz. Für sehr viele Fragestellungen ist diese kein plausibles Modell. Was ist mit triadischer, tetradischer Konkurrenz?

b) Konkurrenz in Populationen ist häufig zweistufig: zwischen Teilpopulationen von Spielern mit verschiedenen Strategien und innerhalb dieser Teilpopulationen zwischen Spielern mit identischen Strategien. Ein biologisches Beispiel ist die Konkurrenz zwischen den Geschlechtern: Die Geschlechter konkurrieren gegeneinander und untereinander um maximalen Reproduktionserfolg. Ein soziologisches Beispiel ist die Konkurrenz zwischen Arbeitern und Unternehmern, die ebenfalls gegeneinander und untereinander um maximalen wirtschaftlichen Erfolg konkurrieren. Zu entwickeln sind hier Modelle konkurrierender Teilpopulationen mit interner Konkurrenz.

c) Alle bisherigen dynamischen Populationsspiele sind linear – die Wachstumsraten der einzelnen Strategien sind lineare Funktionen der relativen Häufigkeiten dieser Strategien in der Population und ihrer Auszahlungsfunktionen. Nichts spricht dafür, daß dies in der Realität notwendigerweise so gegeben ist. Wünschenswert ist also die Entwicklung plausibler Modelle nicht-linearer Populationsspiele.

d) Nicht alle Attraktoren dynamischer Populationsspiele sind punktförmig; untersucht werden müssen auch nicht-punktförmige periodische (Grenzyklen) oder – in einem exakt angebbaren Sinn – nicht-punktförmige chaotische Attraktoren.

e) Wie hat man sich die Spieldynamik bei diskreten Generationen (überlappend oder nicht-überlappend) vorzustellen (alle bisherigen dynamischen Populationsspiele sind kontinuierlich)?

# ZUMA

---

Im Bereich möglicher sozialwissenschaftlicher Anwendungen der evolutionären Spieltheorie:

a) Weiterentwicklung des Modells von symmetrischen zu asymmetrischen Interaktionssituationen: Asymmetrien im individuellen Nutzen der Ressource, um die konkurriert wird; Asymmetrien betreffs der Konfliktfähigkeit; Asymmetrien betreffs des zeitlichen Verlaufs der Interaktion; Asymmetrien betreffs der Information; Asymmetrien betreffs des Ressourcenzugangs.

b) Populationsspiele mit kontinuierlichen Strategien (Strategien, in denen entscheidende Parameter beliebig fein variiert werden können): Abnutzungskonflikte - Wie lange durchhalten? Partnerwahl - Wieviel in die zur Schau getragene sexuelle Attraktivität investieren? Wann die Suche nach einem besseren Partner abbrechen und sich mit dem vorhandenen zufrieden geben? Eltern-Nachwuchs-Konflikt - Wieviel in die schon existierenden, wieviel in noch kommende Kinder/Enkelkinder investieren? Wann abstillen? Wann dem faulen Studenten den Wechsel streichen?

c) Was sind Merkmale evolutionsstabiler Lernstrategien? Wie schnell soll man z.B. altbewährte Problemlösungen aufgeben?

d) Lebensplanstrategien - Wann soll man um knappe Ressourcen zu konkurrieren beginnen? Wann welchen Platz in der Dominanzordnung anstreben? Wann auf Brautschau gehen? Wieviel Kooperationsbereitschaft zeigen, wann und gegenüber wem? Wann Raufbold, wann Habebald, wann Haltefest sein?

Als weiterführende Lektüre kann dienen: Hines 1987; Hofbauer/Sigmund 1984; Krebs, J.R./Davies, N.B. 1984.

## 2. Die Theorie von Superspielen mit reaktiven Strategien

### 2.1. Forschungsstand

Die Selektion von Kooperation, die nicht auf Verwandtschaft zwischen den Kooperationspartnern beruht, die also keine Kin-Selektion ist, hat sich bisher einer überzeugenden Darstellung im klassischen Darwinschen Evolutionsmodell entzogen. Die Evolution von Kooperation ist problematisch dann, wenn die Kooperationsbereitschaft eines Partners durch einen anderen Partner ausgebeutet werden kann. Dies ist aber in einer Vielzahl von Situationen der Fall, in denen andererseits Kooperation für die Beteiligten vorteilhaft wäre. In einer extremen Vereinfachung wollen wir eine Situation mit lediglich 2 Strategien betrachten: c möge die kooperative Strategie bedeuten und n die nicht-kooperative. Dann definiert

$$V_{cc} > V_{nn} \quad (1)$$

# ZUMA

eine Situation, in der beidseitige Kooperation beide Partner besserstellt. Ausbeutbarkeit der Kooperation fügt zwei weitere Ungleichungen hinzu:

$$V_{nc} > V_{cc} > V_{nn} > V_{cn} \quad (2)$$

Offensichtlich stellt hier die nicht-kooperative Strategie die einzige Gleichgewichtsstrategie dar, wobei das resultierende Gleichgewicht Pareto-defizitär ist. Da der Logik des Modells nach ein Alternieren zwischen Kooperation und Nicht-Kooperation beide Spieler nicht simultan besserstellen darf als permanente Kooperation, fügen wir eine weitere Ungleichung hinzu:

$$V_{cc} > (V_{nc} + V_{cn}) / 2 > V_{nn} \quad (3)$$

Noch in einer anderen Hinsicht können wir unser Modell weiter einschränken. In evolutionärer Perspektive sind die Auszahlungen Überlebens- und Reproduktionschancen. Daraus folgt, daß die Auszahlungsmatrix eines jeden Spiels, mit denen wir die Evolution von Kooperativität modellieren wollen, symmetrisch sein muß, da im anderen Fall Strategien, welche sogar im Pareto-Optimum schlechtere Überlebens- und Reproduktionschancen haben als andere, kürzer oder später aus dem Populationspool verschwunden sein werden.

Die genannten Bedingungen definieren in eindeutiger Weise das symmetrische Gefangenendilemma (Prisoner's Dilemma) mit einer Auszahlungsbimatrix (Auszahlung an den Zeilenspieler; an den Spaltenspieler).

	kooperativ	nicht-kooperativ	
kooperativ	$V_{cc}; V_{cc}$	$V_{cn}; V_{nc}$	
nicht-kooperativ	$V_{nc}; V_{cn}$	$V_{nn}; V_{nn}$	(4)

In einem einfachen, d.h. einmal und simultan gespielten Gefangenendilemma-spiel gibt es offensichtlich keine andere evolutionstabile Strategie außer permanentem Nicht-Kooperieren. Evolutionstheoretiker aus der Biologie haben sich deshalb vor allem an Gruppenselektionsmodelle gehalten, um die Evolution von Kooperativität zwischen Nichtverwandten zu erklären.

Gruppenselektion sieht das Entstehen kooperativen Verhaltens als das Ergebnis einer Konkurrenz zwischen Gruppen statt zwischen Individuen. Innerhalb von Gruppen sind die Kooperativen zwar der Ausbeutung durch die Nichtkooperativen ausgesetzt und haben insofern einen Selektionsnachteil ihnen gegenüber. Auf der Ebene der Gruppen hingegen haben die Gruppen mit wenigen oder gar keinen nichtkooperativen Mitgliedern – wegen des höheren wechselseitigen Nutzens – einen Selektionsvorteil gegenüber Gruppen, in denen viele oder gar alle Mitglieder nichtkooperativ sind. Überwiegt der Selektionsvorteil auf

# ZUMA

---

der Gruppenebene den Selektionsnachteil auf der Individualebene, so verbreitet sich kooperatives Verhalten in der Population.

Die Untersuchung formalisierter Gruppenselektionsmodelle ergibt jedoch, daß sich nur unter extremen Bedingungen Kooperation überhaupt bilden, diese Kooperation dann aber nicht evolutionsstabil sein kann (im Überblick Boorman/Levitt 1980).

Das Gruppenselektionsmodell, welches die Frühphase der modernen Verhaltensbiologie beherrschte, liegt implizite allen makrosoziologischen Theorien der Evolution sozialer Ordnung zugrunde, sofern sich diese überhaupt für die Mechanismen der Evolution interessieren und nicht nur diese als präformierten Entfaltungsprozeß beschreiben (komplexer werden, Ausdifferenzierung). Es übt bis in die Gegenwart eine beträchtliche Anziehung auch auf mikro-orientierte Sozialwissenschaftler aus: beispielsweise auf Friedrich A. Hayek (1981:207-236). Es wurde bezeichnenderweise in seinem gegenwärtigen Verständnis als erstes von einem Demographen definiert: Carr-Saunders (1922), der sich für die Evolution freiwilliger Fertilitätsbeschränkung in traditionellen Gesellschaften interessierte und argumentierte, daß zwar innerhalb von Gruppen immer wieder Verhaltensmutanten auftreten könnten, die ihre Fertilität nicht freiwillig beschränken, daß solche Gruppen aber wegen Übernutzung ihrer natürlichen Ressourcen wieder von der Bildfläche verschwänden.

Es kann nun gezeigt werden, daß mit zusätzlichen Annahmen die Evolution von Kooperativität in einem entsprechend erweiterten Gefangenendilemma-Spiel und damit im Rahmen der Individualektion des klassischen Darwinschen Modells modellhaft möglich wird. Die zentrale Idee dabei ist Reziprozität von Kooperation und Nicht-Kooperation zwischen potentiellen Partnern über längere Zeit hinweg.

In den letzten 10 Jahren hat es viele solche Studien zur reziproken Kooperativität in Gefangenendilemma-Spielen gegeben, die zu weitgehend übereinstimmenden Ergebnissen kamen:

1. Das Spiel muß mehr als einmal gespielt werden, und da auch kein evolutionsstabiles Gleichgewicht außer dem bereits besprochenen Pareto-defizitären Nash-Gleichgewicht - konstanter Nicht-Kooperation - im Gefangenendilemma möglich ist, wenn die Gesamtzahl der gespielten Runden vor dem Spiel festgelegt und den Mitspielern bekannt ist, haben wir uns auf ein mehrfach gespieltes Spiel mit einer nicht festgelegten Zahl von Runden einzulassen. Der evolutionäre Wert von konkurrierenden Strategien kann dann mittels eines Diskontierungsansatzes - zukünftige Auszahlung wiegt geringer als die gegenwärtige Auszahlung - bestimmt werden.

Nehmen wir etwa eine unendlich lange Sequenz identischer Züge, von denen jeder eine Auszahlung  $V_{ij}$  erbringt an einen Spieler, der Strategie  $i$  gegen Strategie  $j$  spielt. Die Gesamtauszahlung von  $V_{ij}(\text{total})$ , ausgedrückt in gegenwärtigem Wert, ergibt dann:

$$V_{ij}(\text{total}) = V_{ij} + wV_{ij} + w^2V_{ij} + w^3V_{ij} + \dots \quad 0 < w < 1 \quad (5)$$

# ZUMA

---

wobei  $w$  ein konstanter Diskontierungsfaktor ist. Je größer  $w$ , desto größer ist zugleich die erwartete Länge der gesamten Interaktionssequenz. Entsprechend der Formel für die geometrische Reihe gilt für die Gesamtauszahlung der Interaktionssequenz:

$$V_{ij}(\text{total}) = \sum_{k=0}^{\infty} w^k V_{ij} = V_{ij}/(1-w) \quad (6)$$

falls wir annehmen, daß der erste Zug mit Sicherheit stattfindet. Durch die Wahl verschiedener Werte für  $w$  können wir einen sozialen Kontakt verschiedener durchschnittlicher Länge modellieren, welcher, wenn wir ganze Populationen von Spielern im Blickfeld haben, als Indikator für die soziale Kohäsion in der Population aufgefaßt werden kann. Je höher die erwartete Zahl zukünftiger sozialer Begegnungen mit einem gegebenen Interaktionspartner, desto größer die soziale Kohäsion.

2. Die Spieler müssen über reaktive Strategien verfügen: Sie müssen mit kooperativen Partnern kooperativ, mit nicht-kooperativen jedoch nicht-kooperativ spielen können, um den Schaden durch mögliche Ausbeutung zu minimieren.

3. Dennoch kann auch die beste reaktive Strategie die Strategie konstanter Nicht-Kooperation in paarweisen Begegnungen nicht schlagen. Das Gefangenendilemma muß in einer Population gespielt werden. Die Kooperativen müssen den Schaden durch Nicht-Kooperierer aufwiegen können durch den Nutzen der Kooperation von kooperativen Spielern untereinander.

Aus solchen dreifach erweiterten Gefangenendilemma-Spielen konnte Axelrod zusammenfassend drei unverzichtbare Eigenschaften einer jeden evolutionsstabilen kooperativen Strategie ableiten:

a) Freundlichkeit (niceness): Jede Interaktion muß mit einem kooperativen Zug eröffnet werden. Anderenfalls würde eine evolutionsstabile kooperative Strategie niemals in eine Kooperation mit sich selbst eintreten können.

b) Provozierbarkeit (provocability): Eine freundliche Strategie kann nur dann evolutionsstabil sein, wenn sie bereits den ersten nicht-kooperativen Zug des anderen Spielers bestraft, weil sie sonst hilflos durch einzelne asoziale Züge ausgenutzt würde.

c) Nachsichtigkeit (forgiveness): Nach angemessener Vergeltung muß eine evolutionsstabile kooperative Strategie zur beidseitigen Kooperation zurückkehren und darf vergangene Nicht-Kooperation nicht für immer bestrafen.



## 2.2. Aktuelle Schwerpunkte der Forschung zu iterierten Kooperations- spielen mit reaktiven Strategien sind:

1. Iterierte Kooperationsspiele von anderem Typ als dem iterierten Gefangenendilemma finden, insbesondere solche, bei denen die nicht-kooperative Strategie keine dominante Strategie ist, aber dennoch alle Gleichgewichte Pareto-defizitär sind.

2. Auch wenn die bislang untersuchten Kooperationsspiele zu Populationsspielen erweitert wurden, so bleiben sie doch Modelle dyadischer Interaktionen, in denen die Effekte der dyadialen Einzelinteraktionen auf den individuellen Akteur linear aufaddiert werden. Wo diese Aufaddierung nicht mehr plausibel erscheint, muß man Modelle triadischer oder noch komplexerer Einzelinteraktionen entwickeln.

3. Superspiele der beschriebenen Art liefern uns nicht das Instrumentarium, die Dynamik der Interaktion von mehr als zwei Strategien simultan zu untersuchen. Dies ist jedoch unverzichtbar für einen Populationsansatz, in dem wir die Selektion einer optimalen kooperativen Strategie aus einem Pool von unbegrenzt vielen konkurrierenden Strategien innerhalb einer gesamten Population untersuchen möchten.

4. Reaktiv-kooperative Strategien im Axelrodschen Modell, welche alle die drei Eigenschaften von Freundlichkeit, Provozierbarkeit und Nachsicht zeigen, aber in anderen wichtigen Aspekten voneinander abweichen, erreichen dieselbe Auszahlung in allen möglichen Paarungen. Die Breite der funktionalen Eigenschaften dieser verschiedenen reaktiv-kooperativen Strategien unter verschiedenen ökologischen Parametern kommt also nicht zum Vorschein. Um dies zu untersuchen, integrieren wir Superspiele mit reaktiven Strategien in die Theorie dynamischer Populationsspiele. Dies ist in befriedigender Weise nur möglich, wenn gleichzeitig "Weißes Rauschen" eingeführt wird: Jede Strategie wird gelegentlich einen Fehler machen, das heißt von ihren eigenen Regeln abweichen. Dadurch werden sich jene funktionalen Unterschiede enthüllen. Es erweist sich dabei, daß Provozierbarkeit in stochastischen Spielen anders als ursprünglich bei Axelrod definiert werden muß.

5. Ein vielversprechendes neues Arbeitsgebiet sind Populationsspiele zur Evolution von Metanormen der Kooperativität (Axelrod 1986). Es zeigt sich, daß Normen reziproker Kooperativität (bestrafe den, der mit Dir nicht kooperiert) durch Metanormen reziproker Kooperativität (bestrafe den, den Du dabei siehst, wie er mit Dritten nicht kooperiert) evolutionär höchst effizient stabilisiert werden können.

Als weiterführende Lektüre kann dienen: Axelrod 1981, 1984, 1986; Axelrod und Hamilton 1981; Friedman 1977; Mueller 1986, 1987; Raub/Voss 1986; Taylor 1976.

## 3. Konvergenz- und Verhandlungsstrategien

### 3.1. Forschungsstand

Gegenstand der klassischen Mikroökonomie ist der seinen Nutzen perfekt maximierende Akteur, der eine rationale Präferenzstruktur hat und alle für seine Entscheidungen wichtigen Informationen in zu vernachlässigend kurzer Zeit auswerten kann. In der Welt der klassischen Mikroökonomie schien dies keine unrealistische Vorgabe zu sein, da bei perfekter Konkurrenz in einer stationären Welt ein Akteur jenseits seiner Individualsphäre nur die Marktpreise seiner Arbeitskraft und der ihn interessierenden Güter zu kennen braucht, um rationale Entscheidungen treffen zu können. Aus Rationalität auf der Mikroebene folgt Rationalität auf der Makroebene: Bei rationalen Akteuren, perfekter Konkurrenz und vollkommener Information gibt es ein eindeutig bestimmtes und stabiles Marktgleichgewicht.

Bei unvollkommener Information, d.h. wenn die Beteiligten nicht alle dieselben Informationen haben, gibt es hingegen oft viele mögliche Marktgleichgewichte, zum Teil sogar ein Kontinuum von Marktgleichgewichten. Ein einfaches Beispiel vom Arbeitsmarkt: Wenn potentielle Arbeitgeber die individuellen Fähigkeiten eines potentiellen Arbeitnehmers nicht kennen, sondern nur wissen, welche formalen Qualifikationen dieser erworben hat, so ist im Marktgleichgewicht, wenn für alle Arten von Absolventen das Lebensnettoeinkommen (Lebensbruttoeinkommen minus Kosten der Ausbildung) identisch ist, jede Entscheidung darüber, wieviel in die eigene Bildung investiert werden soll, im Haushaltsgleichgewicht. Bei einer Mehrzahl oder gar einem Kontinuum von Gleichgewichten kann das Rationalhandlungsmodell nichts mehr erklären.

Auch die Annahme vollkommener Information und perfekter Informationserschöpfung hat bei unvollkommenen Märkten wie bei nicht-stationären Märkten jeden Bezug zur Realität verloren.

- Der Monopolist oder der Oligopolist muß nicht bloß die Preise aller Güter auf dem Markt kennen, er muß die Nachfrage- und Produktionsfunktionen aller anderen Marktteilnehmer kennen, d.h. ein vollständiges Modell der betreffenden Wirtschaft im Kopf haben, um eine rationale Entscheidung über Produktionsmenge und Verkaufspreis treffen zu können.

- In nicht-stationären Märkten sind gegenwärtige Preise keine unverzerrten Schätzer zukünftiger Preise. Rationale Entscheidungen im klassischen Sinn setzen Akteure voraus, die perfekte Kenntnis zukünftiger Marktzustände, wenn auch in stochastischer Form, haben. Haben die Akteure unter diesen Umständen kein vollständiges Modell der betreffenden Wirtschaft im Kopf, und haben sie keine perfekte Kenntnis zukünftiger Marktzustände, so kann es wiederum eine Vielzahl von Marktgleichgewichten geben.

# ZUMA

---

Die sich aus beiden Argumenten ergebenden Konsequenzen sind unausweichlich: Das klassische Rationalhandlungsmodell hat nicht geleugnet, daß sowohl die Entscheidungen des einzelnen Akteurs wie das Erreichen von Gleichgewichten in Transaktionen oder Verhandlungen Prozesse darstellen. Dieser Prozeßcharakter von Rationalität konnte jedoch vernachlässigt werden, wenn das Ergebnis – das Gleichgewicht – unabhängig vom Weg dorthin eindeutig feststand. Nun steht das Ergebnis nicht mehr eindeutig fest, folglich muß sich die Rationalität einer Einzelentscheidung, wie die der Marktdynamik, im Prozeß des Findens eines (von vielen möglichen) Gleichgewichten enthüllen.

Ein klassisches Beispiel einer solchen prozeduralen Rationalität ist das Zeuthensche, ein neueres das Rubensteinsche Verhandlungsprinzip. An einem extrem vereinfachten Beispiel läßt sich klar machen, worum es geht:

Zwei Akteure verhandeln über die Aufteilung eines Kuchens. Können die beiden sich nicht einigen, so erhalten beide nichts. Jede mögliche Aufteilung des Kuchens ist dann, wie man leicht sieht, ein Pareto-optimales Gleichgewicht, von dem einseitig abzuweichen jeden Akteur nur schlechter stellen kann. Eine doppelte Aufgabe haben sich nun diese Autoren gestellt:

1. nach irgendeinem rationalen Kriterium eines dieser Gleichgewichte herauszugreifen;
2. ein Verhandlungsprinzip zu finden, welches, wenn von beiden Akteuren angewandt (alternativ: von mindestens einem Partner angewandt) ungeachtet der Ausgangslage zu eben jenem herausgegriffenen Gleichgewicht führt.

Das erforderliche zusätzliche rationale Kriterium ist bei Zeuthen das Nash-Kriterium für Verhandlungsspiele: ein Pareto-optimales Gleichgewicht, in dem kein Beteiligter einen Anreiz hat, den anderen durch Seitenzahlungen zu einem bilateralen Abweichen zu bewegen. Bei Rubinstein ist das Kriterium Teilspielperfektheit des Gleichgewichts. Eine Darstellung dieses recht technischen Kriteriums findet der Leser in den meisten Lehrbüchern der Spieltheorie.

### **3.2. Aktuelle Forschungsschwerpunkte zu "Konvergenz- und Verhandlungsstrategien"**

Die genannten – und alle vergleichbaren – Ansätze haben zwei grundsätzliche Schwächen:

1. Sie beschreiben Verhandlungsprozeduren, bei der die Akteure wenigstens für eine "juristische Sekunde" einen Kontrakt eingehen, der mit ethischen oder rechtlichen Mitteln durchgesetzt werden muß, nämlich vom Abschluß der Verhandlungen zur Verwirklichung der jeweils letzten Angebote. Denn erst wenn alle anderen ihre letzten Angebote verwirklichen, dann wird es für mich

eine Gleichgewichtsstrategie, dasselbe tun. Es wäre wünschenswert, Konvergenzstrategien zu beschreiben, die diesen Kontraktaspekt nicht notwendig haben und explizite Verhandlungsstrategien als Spezialfall unter sich subsumieren. In der Realität sind solche Prozesse des impliziten Aufeinanderzugehens wichtiger als explizite Verhandlungssequenzen.

2. Sie sind nur halbherzige Modelle einer prozeduralen Rationalität, da sie sich doch wieder von einer extern eingeführten, zusätzlichen Eigenschaft des Prozeßendpunktes her rechtfertigen. Konsequenter wäre, nach Konvergenz- und Verhandlungsstrategien zu suchen, für die während des ganzen Prozesses Evolutionsstabilität nachgewiesen werden kann, ungeachtet des jeweils erreichten Endpunktes.

Als weiterführende Lektüre kann dienen: Arrow 1986; Harsanyi 1977; Roth 1985; Simon 1986; Sutton 1986.

#### **4. Die Theorie öffentlicher Güter als Grundlage von Modellen kollektiven Handelns in Clubs und Teams**

##### **4.1. Forschungsstand**

Öffentliche Güter sind gekennzeichnet durch technische Nichtausschließbarkeit zusätzlicher Konsumenten und durch inkomplette Rivalität des Konsums: Der Konsum zusätzlicher Konsumenten verringert nicht in gleichem Maße den Konsum bisheriger Konsumenten. Beispiele für öffentliche Güter sind der Schutz auf den Straßen durch patrouillierende Polizei oder die Verbesserung der Luftqualität durch verbesserten Umweltschutz.

Seit Samuelsons berühmtem Aufsatz von 1954 wissen wir, daß in reinen Marktwirtschaften ohne eine Zentralgewalt die Versorgung mit öffentlichen Gütern im allgemeinen stets suboptimal ist. Das Verfehlen des optimalen Versorgungsniveaus mit öffentlichen Gütern auch dort, wo jeder einen gewissen Beitrag leistet, ergibt sich zwangsläufig aus der Rationalität eines Entscheidungsverhaltens, welches die eigene Nachfragefunktion in Reaktion auf die Nachfragefunktionen der anderen bestimmt. Ein optimales Versorgungsniveau kann demgegenüber nur erreicht werden, wenn die einzelnen Konsumenten die eigene Nachfragefunktion von Beginn an und ohne Reaktion auf die Nachfragefunktion der anderen festlegen.

Wenn wir zur Vereinfachung annehmen, daß alle beteiligten Konsumenten gleiche Präferenzen und gleiche Budgets haben und daß zudem das nachgefragte Gut zu konstanten Grenzkosten bereitgestellt werden kann, dann ließe sich der Unterschied zwischen beiden Entscheidungskalkülen so beschreiben: Der erste fragt: "Wenn die  $n-1$  anderen Mitspieler soundsoviele Einheiten des öffentlichen Gutes bereitstellen, wieviele bestelle ich dann noch auf eigene Rechnung zusätzlich nach?", während der zweite fragt: "Wenn ich den  $n$ -ten Teil der Gesamtnachfrage bezahlen muß, wieviel frage ich dann nach?". Das Ergeb-

nis des ersten Kalküls (Individualanpassungs-Verhalten) heißt in der Wohlfahrtsökonomie ein Cournot-Nash-Gleichgewicht, des zweiten (Gruppenwohlfahrts-Verhalten) ein verallgemeinertes Lindahl-Gleichgewicht. Das Free Rider Problem - daß einzelne Akteure, die vom Konsum nicht ausgeschlossen werden können, konsumieren, ohne sich überhaupt an den Kosten zu beteiligen - zeigt sich so nur als der, wenn auch auffälligste Spezialfall eines breiteren Problems.

Der Zusammenhang mit dem Problem der Evolution von Kooperation dort, wo Kooperationsbereitschaft ausbeutbar ist (siehe Abschnitt 2.1.), ist offenkundig. Auf zwei Gebieten wurden deshalb auch besondere Anstrengungen unternommen, die Theorie öffentlicher Güter spieltheoretisch zu behandeln: die Theorie kollektiven Handelns in Gruppen und Anreizstrukturen für wahrheitsgetreue Nachfrageangaben.

Aus der Logik des Theorems folgt, daß die Versorgung mit öffentlichen Gütern um so mehr vom Optimum abweicht, je größer die Gruppe potentieller Konsumenten ist. Man kann daraus schließen, daß große Gruppen zwecks der Bereitstellung eines öffentlichen Gutes nur dann organisationsfähig sind, wenn es für die einzelnen Gruppenmitglieder zusätzliche individuelle Anreize zur Kostenteilung gibt: entweder Zwangsmaßnahmen - wie Steuern - oder privilegierten Zugang zu privaten Gütern, die quasi Huckepack mit den öffentlichen zusammen angeboten werden: eine spezielle Unfallschutzversicherung für ADAC-Mitglieder oder für Gewerkschaftsmitglieder verbilligte Urlaube in organisationseigenen Heimen.

Eine weitere Schlußfolgerung ist, daß bei gegebener Gruppengröße und gegebenem Gesamtbudget der Gruppenmitglieder das Versorgungsniveau mit dem öffentlichen Gut um so höher sein wird, je ungleicher die Einzelbudgets verteilt sind, wenn wir einen Cournot-Nash Entscheidungskalkül unterstellen.

Das zweite Gebiet, die Mechanismen zur wahrheitsgetreuen Nachfrageangabe, befaßt sich mit der Effizienz von Regierungen bei der Bereitstellung öffentlicher Güter. Egal wie nun die Regierung die Wünsche der Regierten in Betracht zieht, stets gilt: Wenn die Höhe der für ein öffentliches Gut individuell zu zahlenden Steuern von der individuell angegebenen Nachfrage nach diesem öffentlichen Gut abhängig ist, so ist es rational, die eigene individuelle Nachfrage nach diesem öffentlichen Gut zu untertreiben. Ist die Höhe der zu zahlenden Steuern von der individuell angegebenen Nachfrage unabhängig, so ist es hingegen rational, die eigene individuelle Nachfrage nach dem öffentlichen Gut zu übertreiben. Das Problem ist, eine Anreizstruktur zu finden, die es rational macht, die eigene Nachfragefunktion nach dem öffentlichen Gut wahrheitsgetreu mitzuteilen.

## 4.2 Aktuelle Forschungsschwerpunkte zu "Die Theorie öffentlicher Güter"

1. Die Kombination von öffentlichen Gütern und selektiven Anreizen in Gestalt bestimmter privater Güter für die, die sich an den Kosten der Bereitstellung der öffentlichen Güter beteiligen, kann nur dann effizient sein, wenn wir Transaktions- und Informationskosten berücksichtigen. Das Aufspüren von separaten Bezugsmöglichkeiten für jene privaten Güter muß für den einzelnen Konsumenten so teuer sein, daß die Paketlösung - Beiträge für das öffentliche Gut plus den Organisationspreis für jene öffentlichen Güter - ihm attraktiver erscheint. Transaktions- und Informationskosten müssen folglich in die Theorie kollektiven Handelns eingearbeitet werden.

2. Die gängigen social choice-Modelle von Clubs untersuchen mehr das Verhältnis der Gruppe nach außen als die Strukturen im Inneren. Sind die öffentlichen Güter, auf denen die Gruppe beruht, keine reinen, sondern lokale öffentliche Güter, d.h. gibt es eine mit der Gruppengröße anwachsende inkomplette Rivalität im Konsum, und ist Ausschluß zusätzlicher Mitglieder zu erträglichen Kosten möglich, so ist der Konsum des öffentlichen Gutes innerhalb der Gruppe nicht notwendigerweise egalitär. Es ist überdies auch zweifelhaft, wann eine egalitäre Verteilung überhaupt evolutionär stabil sein kann. Zu erforschen ist, wann sich egalitäre, wann nicht-egalitäre Binnenstrukturen in Gruppen bilden.

3. Wahrheitsgetreue-Angaben-Mechanismen (truthful preference revealing mechanism) sind notwendige Bedingung einer effizienten Besteuerung. In den einschlägigen Modellen wird dabei stets unterstellt, daß es eine zentrale Autorität gibt, die die Macht hat, einen solchen Mechanismus zu installieren. Wie solche zentralen Autoritäten auch in dezentralen Gruppierungen und Wirtschaften spontan entstehen und sich durchsetzen könnten, ist bislang noch kaum untersucht worden. Hierher gehört auch die Frage, ob die dauerhafte Induzierung von wechselseitiger Kooperation zwischen Mitgliedern einer Gruppe dadurch möglich ist, daß ein Teil der Mitglieder kooperatives Verhalten bei anderen Mitgliedern, auch Dritten gegenüber, belohnt.

Als weiterführende Lektüre kann dienen: Becker 1976; Olson 1965, Schotter/Schwödiauer 1980.

## 5. Allgemeine Betrachtungen

Sucht man nach dem Gemeinsamen in diesen vier Entwicklungssträngen, so stößt man auf eine doppelte Umdeutung des Rationalhandlungsmodells, welches der Spieltheorie zugrundeliegt.

Die erste dieser Veränderungen ist die Eröffnung der evolutionären Perspektive und, aus der damit einhergehenden Idee frequenzabhängiger Selektion

folgend, die Erweiterung von der Perspektive einzelner Spieler zur Perspektive einer Population von Spielern.

Mit dynamischen Populationsspielen untersuchen wir – in Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen – die evolutionären Chancen konkurrierender Strategien in Populationen. In iterierten Kooperationsspielen in Populationen untersuchen wir die Bedingungen, unter denen bedingt kooperative Strategien gegenüber nicht-kooperativen Strategien evolutionär stabil sind. In der Untersuchung von Verhandlungsstrategien in Kooperationsspielen mit einer Vielfalt oder einem Kontinuum von Gleichgewichtspunkten wollen wir Verhandlungsstrategien finden, die an jedem Punkt des Weges hin zu einem der möglichen Endpunkte des Verhandlungsprozesses konkurrierenden Verhandlungsstrategien überlegen sind. Eine optimale Versorgung mit öffentlichen Gütern setzt die Existenz bestimmter Nicht-Markt-Institutionen voraus. Wie können sich diese spontan bilden?

Aus evolutionärer Perspektive folgt die zweite Umdeutung: Die Spieltheorie wandelt sich von einer normativen zu einer deskriptiven Theorie strategischer Interaktion. Ob ein Akteur rational handelt, d.h. seinen Nutzen tatsächlich maximiert, läßt sich von außen nicht entscheiden, solange es nur von einer rein subjektiven (und deshalb grundsätzlich nicht beobachtbaren) Präferenzordnung abhängt, was dieser Nutzen überhaupt ist. Jetzt gibt es ein objektives Kriterium für Rationalität, nämlich evolutionärer Erfolg in Gestalt evolutionärer Stabilität. Entsprechend eröffnet sich die Perspektive, daß die Spieltheorie empirisch überprüfbare Voraussagen macht, welche Strategien in welchen Umwelten und in welchen Populationen zunehmen oder abnehmen werden.

Ob eine bestimmte Verhaltensweise den Nutzen eines Organismus maximiert, läßt sich auch dann nicht mit Bestimmtheit sagen, wenn man in Gestalt der biologischen Fitness einen objektiven Nutzenmaßstab hat – wie läßt sich feststellen, ob nicht eine alternative Verhaltensweise zu einem noch größeren Nutzen führen könnte? Ob eine bestimmte Verhaltensweise in einer Population evolutionsstabil ist, läßt sich hingegen grundsätzlich empirisch entscheiden.

Ob in einem Superspiel eine bestimmte reaktive Strategie zu optimalen Auszahlungen führt, läßt sich nicht mit Bestimmtheit feststellen, wohl aber, ob sie gegen eine bestimmte Menge von Alternativstrategien evolutionsstabil ist.

Kann nutzenmaximierendes Verhalten zu einer Vielzahl gleichermaßen möglicher Gleichgewichte führen, so kann die Effizienz eines beobachteten Verhaltens nicht mehr vom Resultat her beurteilt werden. Ob eine bestimmte Verhand-

# ZUMA

---

lungsstrategie in dieser Situation alternativen Verhandlungsstrategien überlegen ist, läßt sich hingegen grundsätzlich empirisch entscheiden.

Das optimale Niveau der Versorgung mit öffentlichen Gütern läßt sich ohne Kenntnis der wahren individuellen Nachfragefunktionen der Beteiligten nicht bestimmen. Ob Nicht-Markt-Institutionen existieren, die öffentliche Güter dort zur Verfügung stellen, wo Marktmechanismen dies nicht tun, läßt sich hingegen grundsätzlich empirisch feststellen.

Dieser Beitrag wurde von Ulrich Mueller verfaßt.

## Literatur

- Arrow, K.J., 1986: Rationality of Self and Others in an Economic System. In: Hogarth, R.M./Reder, M.W. (Hrsg.), Rational Choice. The Contrast between Economics and Psychology. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Axelrod, R., 1981: "The Emergence of Cooperation among Egoists". American Political Science Review 75:306-318.
- Axelrod, R., 1984: The Evolution of Cooperation. New York: Basic Books.
- Axelrod, R., 1986: An Evolutionary Approach to Norms. American Political Science Review 80: 1095-1111.
- Axelrod, R./Hamilton, W.D., 1981: "The Evolution of Cooperation". Science 211:1390-1396.
- Becker, G.S., 1976: Altruism, Egoism, and Genetic Fitness: Economics and Sociobiology. Journal of Economic Literature 14.
- Boormann, S.A./Levitt, P., 1980: The Genetics of Altruism. New York: Academic Press.
- Carr-Saunders, A.M., 1922: The Population Problem: A Study in Evolution. Oxford University Press.
- Friedman, J.W., 1977: Oligopoly and the Theory of Games. Amsterdam: North Holland.
- Harsanyi, J.C., 1977: Rational Behavior and Bargaining Equilibrium in Games and Social Situations. Cambridge University Press.
- Hayek, F.A., 1981: Recht, Gesetzgebung und Freiheit. Band 3: Die Verfassung einer Gesellschaft freier Menschen. Verlag Moderne Industrie.
- Hines, W.G.S., 1987: Evolutionary Stable Strategies. A Review of Basic Theory. Theoretical Population Biology 31:195-272
- Hofbauer, J./Sigmund, K., 1984: Evolutionstheorie und dynamische Systeme. Berlin und Hamburg: Paul Parey.
- Krebs, J.R./Davies, N.B. (Hrsg.), 1984: Behavioral Ecology. 2. Auflage. Blackwell. 1984
- Maynard Smith, J./Price G.R., 1973: "The Logic of Animal Conflicts". Nature 246:15-18.
- Mueller, U., 1986: Kooperative Gleichgewichte und der Weg dorthin. Zeitschrift für Soziologie 15:457-461.
- Mueller, U., 1987: Optimal Retaliation For Optimal Cooperation. Journal of Conflict Resolution 31:692-724.
- Olson, M., 1965: The logic of collective action. Cambridge: Harvard University Press.
- Ordeshook, P.C., 1986: Game Theory and Political Theory. An Introduction. Cambridge University Press.
- Raub, W./Voss, Th., 1986: Die Sozialstruktur der Kooperation rationaler Egoisten. Zeitschrift für Soziologie 15:309-323.
- Rauhut, B.R./Schmitz, N./Zachow, E.W., 1979: Spieltheorie. Eine Einführung in die mathematische Theorie strategischer Spiele. Stuttgart: Teubner.
- Roth, A.V. (Hrsg.), 1985: Game-theoretic models of bargaining. Cambridge University Press.
- Samuelson, P.A., 1954: The Pure Theory of Public Expenditure. Review of Economics and Statistics 36a:387-389.
- Schotter, A./Schwödtauer, G., 1980: Economics and the Theory of Games: A Survey. Journal of Economic Literature 18:479-527.
- Simon, H.A. 1986: Rationality in Psychology and Economics. In: Hogarth, R.M./Reder, M.W. (Hrsg.), Rational Choice. The Contrast between Economics and Psychology. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Sutton, J., 1986: Non-Cooperative Bargaining Theory: An Introduction. Review of Economic Studies 50:709-724.
- Taylor, M., 1976: Anarchy and Cooperation. New York: Wiley