

Warum es sich lohnt, gut zu sein*)

Axelrods Computerturnier des Gefangenendilemmas: Resultate, Strategien, Programme

Winfried Eggebrecht und Klaus Manhart

München, Januar 2009

*) Überarbeitete Fassung eines Beitrags für die ct,
erschienen in: ct 6/1991, S. 144

Zusammenfassung

Wenn wir alle Egoisten sind – wie Biologie und Ökonomie behaupten – wie kommt dann soziale Kooperation in die Welt? Kann Kooperation vielleicht ohne vorgegebene Instanzen wie Moral und Gesetz von selbst entstehen – in einem quasi evolutionären Prozess? Wie aber wäre das möglich – schließlich erscheint selbstsüchtiges Verhalten doch immer gewinnbringender als Kooperation? Der Sozialwissenschaftler Robert Axelrod hat diese Fragen mit Hilfe des Gefangenendilemmas und eines Computerturnier erforscht. Dieser populärwissenschaftliche Beitrag fasst Axelrods Ergebnisse zusammen, stellt einige zentrale Strategien vor und zeigt, wie sie programmiertechnisch umgesetzt werden.

Der Anruf kam völlig unerwartet. „Ich hab' was für Sie!“ flüsterte die ihm wohlbekannte Stimme. „Ein ganz heißes Ding. Ein Highend-Notebook, 1A-Komponenten, mit 18 Zoll Monitor - top Maschine. Da kam einer in meinen Laden und bot mir das Ding an, zu einem Spottpreis. Na, sie können sich wohl denken, wo so was herkommt. Sind Sie interessiert?“ „Na ja,“ sagte Müller, „grundsätzlich schon. Aber wie soll das laufen?“ „Nun, der will für die Maschine 200 Euro, bar natürlich. Das Geschäft soll absolut anonym abgehen. Sie schreiben auf einen Zettel, wo Sie das Geld hinterlegen und geben mir den in einem verschlossenen Umschlag. Er gibt mir genauso die Information, wo der Rechner ist. Ich lasse gleichzeitig jedem den Brief des anderen zukommen und die Sache ist gelaufen. Was halten Sie davon?“ Müller überlegte einen Augenblick. Das Angebot schien verlockend. Und wenn die Ware in Ordnung war, S. war schließlich Fachmann, und für 200 Euro... „Okay. Ich komme morgen vorbei und bringe Ihnen den Brief.“

Müller fing an zu grübeln. „Am besten, ich lege das Geld in einen kleinen Umschlag. Aber wohin damit? Und wenn die Ware doch nicht in Ordnung ist? Woher weiß ich überhaupt, dass der andere wirklich das Notebook hinterlegt? Das ist doch gar nicht kontrollierbar!“ Zweifel machten sich breit. Das Ganze war wohl doch komplizierter als es am Anfang schien. Doch dann erhellte sich seine Miene. Müller lächelte breit, er hatte die Lösung gefunden. „Natürlich! Ich werde einen leeren Umschlag abgeben. Logisch! Da bin ich auf alle Fälle aus dem Schneider. Wenn der andere mich betrügen will hab' ich keinen Schaden - und wenn der Rechner tatsächlich da ist, dann war's ein Bombengeschäft.“

Wir wollen den Ausgang des Deals noch etwas zurückstellen und zunächst die Logik des fiktiven Herrn Müller untersuchen. Tatsächlich scheint er recht zu haben. Hinterlegt er, wie verabredet, einen Umschlag mit 200 Euro, so besteht die Gefahr, dass der andere ihn betrügt und einen leeren Koffer deponiert hat. Wenn Müller aber betrügt, so kann ihm nichts passieren. Der Verlust eines leeren Koffers ist für einen Mann seines Kalibers zu verschmerzen. Und wenn der andere einen Rechner deponiert hat - umso besser! Für Müller ist es also logisch, einen leeren Umschlag zu hinterlassen.

Der nachdenkliche Leser wird das Ende der Geschichte wohl erraten. Der Deal mit der heißen Ware endete mit einer Enttäuschung - und zwar für beide. Denn auch der „Geschäftspartner“ von Müller war beileibe kein Dummer. Vielmehr hatte er dieselben Gedanken wie Herr Müller und entschloss sich nach reiflicher Überlegung zu einer Handlungsweise, die dem blanken Egoismus entsprang - er deponierte einen

leeren Koffer. Das Geschäft war geplatzt - obwohl jeder, von seiner Seite aus betrachtet, vernünftig handelte.

Vielleicht ist Ihnen etwas ähnliches auch schon mal passiert. Sie taten aus Ihrer Sicht das einzig vernünftige, handelten zu Ihrem Vorteil - und am Ende kam nichts heraus. Oft steht man im Alltagsleben vor dem Problem, sein Verhalten auf die mögliche Handlung eines anderen abstimmen zu müssen. Wie soll man sich gegenüber Personen verhalten, bei denen man befürchten muss, dass sie die eigene Vertrauensseligkeit schamlos ausnutzen? Im Zeitalter des Computers macht die Maschine selbst vor der Beantwortung solch lebenspraktischer Fragen nicht mehr Halt.

Computersimulationen lassen sich in der Tat nicht nur zur Nachbildung technisch-physikalischer Zusammenhänge anwenden, sondern auch im humanwissenschaftlichen Bereich. Ein solches Beispiel ist die vom amerikanischen Politologen Robert Axelrod (University of Michigan) durchgeführte Simulation zum sogenannten „Gefangenendilemma“. Dieses entspricht im Prinzip unserer Geschichte von Herrn Müller und seinem „Geschäftspartner“ (siehe auch Kasten „Das klassische Gefangenendilemma“). Vereinfacht gesagt, versuchte Axelrod die Frage zu beantworten, ob es gewinnbringender ist, unsere Mitmenschen zu betrügen oder doch besser ehrlich zu sein - selbst wenn man selbst der Betrogene ist. Und er untersuchte die Frage, ob Ehrlichkeit in einem quasi evolutionären Prozess – ohne eine Instanz wie Moral, Gesetze oder einen Sanktionsapparat – von selbst entstehen kann.

Stellen wir uns vor, Herr Müller hat nicht nur die einmalige Gelegenheit, einen „heißen Notebook“ zu kaufen, sondern es bietet sich die Möglichkeit, mit seinem anonymen Lieferanten einen schwunghaften Handel zu betreiben. Jeden Monat soll ein Austausch in der geschilderten Art und Weise über die Bühne gehen. In diesem Fall wird Müller kaum beim ersten Mal einen leeren Koffer deponieren - schließlich will man ja das Vertrauen des Partners gewinnen. Also hinterlegt er die 200 Euro und findet zu seiner Freude am angegebenen Ort auch den Rechner vor - alles ist in bester Ordnung. Im darauffolgenden Monat steht Müller (genau wie sein anonymer „Partner“) wieder vor der Frage: Kooperieren oder betrügen? Schließlich - vielleicht hat der andere nur ein Notebook gehabt (als Lockvogel sozusagen).

Auch der Lieferant macht sich seine Gedanken über die Liquidität unseres Herrn Müller (unter Umständen hat der die 200 Euro mühsam zusammengekratzt). Trotzdem hinterlegen beide Rechner und Geld - wieder herrscht eitel Wonne. Im dritten Monat aber öffnet Müller den Koffer - und der ist leer! Was nun? Soll er in Zukunft auch nur

noch leere Koffer deponieren, den Deal also faktisch platzen lassen? Vielleicht war es aber nur ein einmaliger „Lieferengpass“ und Müller tut am besten so, als sei nichts gewesen. Oder soll er versuchen, den Lieferanten durch einen eigenen Vertragsbruch zu bestrafen? Das nächste Mal (oder vielleicht besser die beiden nächsten Male?) also einen leeren Koffer?

Diese Situation lässt sich als sogenanntes „iteriertes Gefangenendilemma“ modellieren. In dieser wiederholten Spielform des Entscheidungskonfliktes stellt sich die Frage, welche Verhaltensstrategie man auf Dauer wählen soll, um gut abzuschneiden. Mathematisch lässt sich nicht beweisen, was in solch einer Situation die beste Strategie ist. Und genau hier setzt Axelrods Computersimulation an.

1979 lud Axelrod eine Reihe professioneller Spieltheoretiker (siehe Kasten „Spieltheorie“) zu einem Wettbewerb ein, in dem möglichst viele Strategien für das iterative Gefangenendilemma in einem Computerturnier alle gegen alle antreten sollten. Die Programme sollten auf das K (für Kooperation) oder D (für Defektion, Abweichen) eines anderen Spielers selbst mit K oder D antworten. Auch konnte man das Verhalten des anderen Spielers bei vorherigen Begegnungen in die eigene Entscheidung mit einbeziehen. Diese Entscheidung selbst musste auch nicht unbedingt einer strengen Verhaltensregel entspringen - die Verwendung eines Zufallsgenerators war durchaus erlaubt.

Vierzehn Programme beteiligten sich, Axelrod selbst steuerte das Programm RANDOM bei, das mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% K oder D spielt. Die Komplexität der eingereichten Basic-Programme reichte von einem kleinen Vierzeiler bis hin zu stattlichen 77 Zeilen Sourcecode. Jedes Programm musste 200mal gegen jedes andere antreten, inklusive sich selbst.

Die Punkte pro Spiel errechneten sich wie folgt (siehe auch Kasten: „Das klassische Gefangenendilemma“): Spielten beide Spieler D, so erhielt jeder einen Punkt (Jeder hatte schließlich, um bei unserer Eingangsgeschichte zu bleiben, nur einen Koffer bzw. Umschlag bekommen). Spielte einer K und der andere D, so erhielt der D-„Mogler“ fünf Punkte und der „Kooperateur“ null Punkte, der D-Spieler macht einen satten Gewinn. Spielten aber beide K, so bekamen sie auch beide drei Punkte - das entspräche bei unserem fiktiven Handel dem „Reingewinn“. Um statistische Verzerrungen der verwendeten Zufallsgeneratoren auszugleichen, wurde das Turnier fünfmal hintereinander ausgetragen.

		Spieler 2	
		Notebook deponieren (Kooperation K)	Notebook NICHT deponieren (Mogeln M)
Spieler 1	Geld deponieren (Kooperation K)	3 , 3	0 , 5
	Geld NICHT deponieren (Mogeln M)	5 , 0	1 , 1

Abbildung 1: Auszahlungsmatrix (Nutzenwerte) beim Gefangenendilemma

Der Ausgang des Turniers war eine Überraschung. Es gewann der schon angesprochene Vierzeiler - das kürzeste und einfachste Programm aller Teilnehmer. Eingereicht hatte es der Spieltheoretiker und mathematische Psychologe Anatol Rapoport. Es beruhte auf der simplen Taktik, in der ersten Runde zu kooperieren und dann immer das zu tun, was die gegnerische Strategie in der vorherigen Runde getan hatte. Bezeichnenderweise trug es deshalb den Namen TIT FOR TAT (was soviel heißt wie „Wie du mir, so ich Dir“).

Axelrod analysierte daraufhin eingehend die Ergebnisse und führte den Erfolg von TIT FOR TAT vor allem auf zwei Prinzipien zurück: Sei nett und versöhnlich! Dies soll bedeuten, dass es sinnvoll erschien, nicht als erster zu mogeln und es weiterhin erfolgversprechend war, allen Groll zu vergessen, wenn man seinem Ärger einmal Luft gemacht hatte. Beispielsweise erreichte die Strategie EWIGE VERDAMMNIS des Ökonomen James Friedman, welche nach einmaliger Defektion des Gegners für die restlichen Runden selbst nur noch defektiert, im Axelrod-Turnier nur den siebten Platz.

Axelrod war überzeugt davon, dass sich auf Grundlage dieser Ergebnisse Strategien finden lassen müssten, die auf noch raffiniertere Weise dem „Gefangenendilemma“ begegnen. So entschloss er sich, das gleiche Turnier in einem größeren Rahmen noch einmal zu veranstalten. Er lud nicht nur die Teilnehmer des ersten Wettkampfes ein, sondern inserierte auch international in Computerzeitschriften mit dem Gedanken, dass sich der eine oder andere programmierwütige Freak finden lassen würde.

Seine Hoffnung wurde nicht enttäuscht. Er bekam 63 Programme zugeschickt, teils in Basic, teils in Fortran. Allen Teilnehmern war nicht nur das Ergebnis des ersten

Turniers bekannt, sondern jeder Interessent hatte auch eine eingehende Analyse der Prinzipien „Nettigkeit“ und „Versöhnlichkeit“ erhalten. Jeder wusste also, dass jeder wusste, dass jeder das Gleiche wusste...

Einige Strategien übertrafen sich geradezu selbst an Komplexität und Raffinesse, das längste Programm bestand aus 177 Fortran-Zeilen. Aufgrund von Axelrods weltweiten Inseraten war das Teilnehmerfeld bei diesem Turnier sehr viel weiter gestreut als beim ersten Wettkampf. Es beteiligten sich neben den „Streitern“ der ersten Runde auch viele „Amateure“ sowie Vertreter von Disziplinen wie Physik oder Biologie. Die weitaus meisten Teilnehmer stammten naturgemäß aus den USA, so manche Diskette nahm jedoch auch den weiten Weg von Europa über den Atlantik. Jüngster Teilnehmer war Steve Newman, ein elfjähriger Schüler. Nachdem alle Strategien in das Steuerprogramm implementiert waren, wurde die Starttaste gedrückt. Diesmal gewann - ja, wieder TIT FOR TAT!

Dies war auf den ersten Blick unglaublich. Wie konnte eine solch simple Taktik gegen raffinierteste, zum Teil auf komplexen Wahrscheinlichkeitsberechnungen aufbauenden Strategien bestehen? Nun, Axelrod kam sehr bald auf die Hauptursache für dieses überraschende Ergebnis. Offensichtlich hatte die Mehrzahl der Teilnehmer am zweiten Turnier die wichtigste Lektion des ersten Turniers nicht begriffen. Noch immer nämlich war nicht erkannt worden, wie wichtig die Bereitschaft ist, Kooperation anzubieten. Vielmehr war von vielen versucht worden, auf möglichst raffinierte Weise die in der ersten Runde so erfolgreichen „netten“ Strategien (wie TIT FOR TAT) auszubeuten und möglichst oft fünf Punkte zu erreichen. Dies führte dazu, dass solche Strategien allzu oft beim für beide Seiten schlechtesten Ergebnis landeten - dem leeren Koffer.

Der Erfolg des Siegerprogramms erscheint noch phantastischer, wenn man sich klarmacht, dass TIT FOR TAT kein einziges Spiel im direkten Vergleich gewonnen hat. Da unser Held ja nie als Erster defektiert (mogelt), kann er keinem Konkurrenten gegenüber einen Vorteil herausschlagen, sondern maximal unentschieden spielen. In der Summe der Ergebnisse aller gegen aller aber erringt er den Sieg, da TIT FOR TAT nur knapp verlieren kann (Auge um Auge!) und weiterhin jeden dazu einlädt, mit ihm zu kooperieren. Dies führte sehr oft zu drei Punkten für beide - und letztlich zum Gesamtsieg. Das Prinzip „Nettigkeit“ erwies sich generell als sehr erfolgreich, gerade im zweiten Turnier. Auf der Ergebnisliste war unter den ersten 15 Programmen nur eine „nicht nette“ Strategie (auf Platz 8), während umgekehrt auf den fünfzehn letzten

Plätzen nur eine „nette“ zu finden ist, der große Verlierer sind die „unnetten“ Strategien.

Nicht vergessen werden darf jedoch, dass der Erfolg einer Strategie sehr stark vom Konkurrenzmilieu abhängt, in dem sie sich befindet. Dies ist auch der Grund dafür, dass TIT FOR TAT im unten vorgestellten Simulationsprogramm nicht den ersten Platz erringt (siehe Kasten: Der Kampf der Strategien). Axelrod weist selbst mehrmals darauf hin, dass es keine generell „beste“ Strategie gibt. Unter dem Gesichtspunkt des nackten Erfolges scheint es sicherlich sinnvoll, einen gutgläubigen Menschen, der immer kooperiert, gnadenlos auszunutzen. Genau diesem im Alltagsleben weitverbreiteten Egoismus aber wird durch die Ergebnisse von Axelrod eine Lehre erteilt. Auf Dauer ist Ausbeutung nicht erfolgreich. Dies zeigt sich besonders eindrucksvoll in einer Simulationsvariante, die Axelrod nach seinem zweiten Turnier erprobte - der sogenannten „ökologischen Simulation“.

Stellen sie sich den berühmten „Hecht im Karpfenteich“ vor. Für seinen tägliche Nahrung benötigt er eine gewisse Anzahl Karpfen. Der Hecht steht nun jeden Tag vor der Entscheidung, wie viele Karpfen er nun fressen soll. Wenn er sich „kooperativ“ verhält (soweit das einem Hecht zumutbar ist), wird er nicht mehr Karpfen als nötig verspeisen. Aber wehe ihm, er fängt jeden Tag so viele seiner arglosen Teichgenossen wie er könnte. Dann nämlich beraubt er sich auf Dauer selbst seiner Lebensgrundlage und nimmt eine für ihn sehr ungünstige „Spitzenposition“ ein - verhungert auf der Wasseroberfläche treibend.

Diesen Sachverhalt versuchte nun Axelrod in eine entsprechende Simulation für alle Strategien umzusetzen. Das Spiel „Alle gegen Alle“ wurde jetzt nicht nur einmal, sondern wiederholt ausgetragen. Die Zusammensetzung für jedes Spiel hing dabei vom Ergebnis des vorherigen Spiels ab. Das heißt, erfolgreiche Strategien waren entsprechend ihrer erreichten Punktzahl proportional öfter vorhanden als Verliererstrategien. In diesem „ökologischen Turnier“ waren also zunächst gute und schlechte Strategien gleich oft vorhanden. Von Generation zu Generation aber vermehrten sich die „Guten“, während die „Schlechten“ immer weniger wurden. In diesem „Teich“ sollte sich nach dem Prinzip des „Survival of the Fittest“ die Spreu vom Weizen trennen. Das für ein erfolgreiches Abschneiden so bedeutsame Strategiemilieu war nun einer ständigen Veränderung unterworfen - und nur der Erfolg führte zu noch mehr Erfolg.

Nun, das Ergebnis dieses Turniers wird sie nicht überraschen - im Laufe der Generationen vermehrte sich TIT FOR TAT unaufhaltsam und gewann mit großem Vorsprung. Der Vorsprung ließ sich auf die Vielzahl von K-K-Spielen zurückführen. Wieder einmal hatte sich Kooperation ausgezahlt, im Gegensatz zur betrügerischen Ausbeutung. Zwar lagen nach den ersten 200 Generationen auch „unnette“ Strategien im Spitzenfeld, ihre Punkte holten sie jedoch meist gegen „Tölpelstrategien“ wie IMMER K - und zwar so gnadenlos, dass diese („Karpfen“) bald ausstarben. Damit aber schaufelten sich die raffinierten Mogelstrategien selbst ihr Grab - sie rutschten mangels „Futter“ immer weiter ab bis sie selbst ausstarben. Axelrod resümiert: „Nicht nett zu sein, mag auf den ersten Blick erfolversprechend sein; auf die Dauer aber kann es genau die Umgebung zerstören, die für den eigenen Erfolg unentbehrlich ist.“

Welche Schlussfolgerungen lassen sich nun aus Axelrods Wettkampf ziehen? Er selbst gibt für ein erfolgreiches Verhalten in einer Gefangenendilemma-Situation folgende vier Empfehlungen: Sei nicht neidisch, defektiere nicht als erster, erwidere sowohl Kooperation als auch Defektion und sei nicht zu raffiniert! Nun, für diese Ratschläge bedarf es auf den ersten Blick keiner spieltheoretischen Analyse. Bei genauerer Betrachtung jedoch wird der Tiefgang dieser Regeln deutlicher. Die Regel, keinen Neid aufkommen zu lassen, wird sicherlich vielen schwer fallen. Im Gefangenendilemma jedoch ist sie von geradezu herausragender Bedeutung. Axelrod ließ in seinen Seminaren an der University of Michigan oft Studenten paarweise einige Dutzend Mal ein Gefangenendilemma spielen. Ziel sollte es nicht sein, mehr Punkte als der andere Spieler zu erreichen, sondern einfach selbst so viele Punkte wie möglich zu sammeln.

Im Spiel zeigte sich aber, dass sich die Studenten in der überwiegenden Mehrzahl nicht an die eigentliche Zielvorgabe hielten. Vielmehr suchten sie intuitiv nach einem Vergleichsmaßstab für ihre Leistung, der naheliegendste war selbstverständlich der Punktestand des „Gegners“. Den versuchte man dann zu übertreffen, meist durch das Einstreuen von Defektionen, der andere antwortete seinerseits... - der Ausgang dieses Mechanismus ist bekannt. Neid wirkt im Gefangenendilemma selbstzerstörerisch - genau wie im wirklichen Leben.

Auch die Empfehlung, nicht als erster zu defektieren, mag manchem schwer fallen. Oft ist die Versuchung überwältigend, den anderen zu übervorteilen in der Hoffnung, den hierdurch gewonnenen Vorsprung behalten zu können. Der hierdurch hervorgerufene Vertrauensverlust wiegt jedoch in fast allen Fällen schwerer als ein durch Mogeln erworbener Vorsprung - getreu dem Sprichwort unserer Großmütter:

„Wer einmal lügt, dem glaubt man nicht...“. Die Regel „Auge um Auge“ dagegen ist für die meisten sehr viel leichter einzuhalten. Aber auch hier gilt: „Blinde Rache schadet nur!“ - nach dem Streit sollte man den „Gegner“ wieder zum „Partner“ machen und, ihm freundschaftlich die Hand reichend, Kooperation anbieten. Nur so lassen sich die erwünschten „hohen Punktzahlen“, sprich beiderseitige Vorteile, erzielen. Und schließlich: Sei nicht zu clever! Wer hat nicht schon mal mit jemandem zu tun gehabt, der zwar einen grundsätzlich vertrauenerweckenden Eindruck erweckte, der aber auf der anderen Seite eine Raffinesse an den Tag legte, dass einem manchmal fast Angst und Bange wurde. Dies führt fast immer dazu, dass man peinlich genau auf das „Punktekonto“ des anderen schaut, immer in der Sorge, übervorteilt zu werden. Und damit ist schon wieder (siehe Regel 1) die Basis gegenseitiger Defektion gegeben - mit dem bekannten Ergebnis.

Eine - zugegeben - sehr optimistische Schlussfolgerung lässt sich schließlich aus dem Verlauf der ökologischen Simulation ziehen: Die Simulation zeigt, dass Kooperation aus sich selbst heraus entstehen kann ohne die ordnende Hand einer übergeordneten Größe. Der berühmte Leviathan des Philosophen Thomas Hobbes ist also gar nicht nötig. Das „Prinzip Ausbeutung“ hat, über einen langen Zeitraum gesehen, gegenüber dem „Willen zur Zusammenarbeit“, keine Chance.

Die Simulation von Robert Axelrod darf allerdings auch nicht überbewertet werden. Seine Schlussfolgerungen gelten ausschließlich für ein Zwei-Personen-Nichtnullsummenspiel - auch wenn sich das in seinem Buch „Die Evolution der Kooperation“ stellenweise anders liest.

Auch fehlt in seiner Simulation die Möglichkeit des Spielabbruchs - eine sogenannte „Exit-Option“. Dem Menschen steht normalerweise immer die Möglichkeit offen, ein Spiel abzubrechen nach dem Motto: „Mit dir macht's keinen Spaß, weil ich dauernd verliere!“ - so wie IMMER K gegen IMMER D. Auch Herr Müller aus unserem Beispiel wird kaum monatelang einen leeren Koffer deponieren, nachdem er gemerkt hat, dass keine Notebooks zu erwarten sind! Diese Variante hat Rudolf Schüssler in seinem Buch „Kooperation unter Egoisten“ untersucht.

Und schließlich: Das Ausmaß einer „Vergeltung“ ist bei Axelrod nicht variabel, es gibt nur K oder D. In der Realität dagegen ist man mit der Bestrafung grundsätzlich flexibel. Ein Axelrod-schüler als Präsident der Vereinigten Staaten wüsste z.B. nicht, ob er Überfälle auf neutrale Staaten mit einem Handelsembargo oder einem Luftangriff (oder beidem) hätte beantworten sollen.

Zusammenfassend lässt sich trotzdem sagen: Kooperation zahlt sich aus! Wenn man dies auch noch - wie geschehen - mittels einer Computersimulation nachweisen kann - umso besser! Versuchen Sie sich also selbst an der Entwicklung erfolgreicher Verhaltensregeln. Das zu diesem Beitrag gehörende Simulationsprogramm ist um beliebig viele Strategien ergänzbar. Je größer ein Strategiemilieu ist, umso deutlicher treten etwaige Erfolgskriterien hervor. Wenn Sie meinen, eine Strategie gefunden zu haben, die in einem großen Konkurrenzfeld beim Spiel „Alle gegen Alle“ die Nase vorn hat - nur Mut. Schicken Sie uns Ihren „Gewinner“ zu.

Literatur

- Axelrod, Robert: Die Evolution der Kooperation. München, Oldenbourg Verlag, 1988
- Donninger, Christian: Is it always efficient to be nice? A computer simulation of Axelrod's computer tournament, in: Diekmann, A./Mitter, P.: Paradoxical effects of social behavior. Essays in Honor of Anatol Rapoport. Heidelberg-Wien, Physica, 1986, S.123-134
- Hofstadter, Douglas R.: Kann sich in einer Welt voller Egoisten kooperatives Verhalten entwickeln? in: Spektrum der Wissenschaft, 8, 1983, S. 8-14
- Schüßler, Rudolf: Kooperation unter Egoisten. München, Oldenbourg Verlag, 1990

ANHANG

▷ 1. Das klassische Gefangenendilemma

Die Paradoxie des Gefangenendilemmas wurde 1950 von Merrill M. Flood und Melvin Dresher erfunden. Der Name erklärt sich leicht aus der gestellten Situation. Zwei Personen - nennen wir sie John und Jim - haben eine Bank ausgeraubt. Sie werden beide verhaftet. Der Staatsanwalt kann den Bankraub allerdings nur mittels Indizien nachweisen. Er verhört deshalb die beiden Gefangenen, die seit ihrer Festnahme keinen Kontakt miteinander haben, getrennt und versucht zuerst John mit einer Art Kronzeugenregelung zum Geständnis der Tat zu überreden. Weiterhin lässt er keinen Zweifel daran, dass er Jim denselben Vorschlag machen wird.

Sein Angebot lautet folgendermaßen: Wenn sie beide die Tat abstreiten, werden sie beide aufgrund der Indizien zu zwei Jahren Haft verurteilt. Tritt John jedoch als Kronzeuge auf, indem er seine Schuld eingesteht, wird er freigesprochen und sein schweigsamer Komplize zu fünf Jahren Haft verurteilt. Bekennen sich aber beide schuldig, so werden beide zu vier Jahren Haft verurteilt. John steht nun vor folgender Situation: Wenn er schweigt, sein Komplize aber gesteht, so bekommt er fünf Jahre Haft. Da ist es schon besser, er gesteht selbst, das bedeutet ein Jahr Gefängnis weniger. Außerdem: Wenn Jim schweigt, dann ist er selbst sogar frei. Für John ist es also vernünftiger zu gestehen. Jim denkt genauso - und beide wandern für vier Jahre hinter schwedische Gardinen. Hätten sie beide der Verschwiegenheit des anderen getraut, so wären es nur zwei Jahre Haft gewesen.

Um das Beispiel zu einem iterierten Gefangenendilemma zu machen stelle man sich vor, die Kette der Indizien steht auf sehr wackeligen Füßen. Dies macht eine Reihe von Verhören notwendig - Jim und John stehen jeden Tag vor der Frage: Schweigen (Kooperation = K) oder gestehen (Defektion = D). Hier sind wir bei Axelrod angelangt. Die oben abgebildete sogenannte „Auszahlungsmatrix“ (oder auch Nutzen-Matrix) wurde von ihm für die Ermittlung der erzielten Punkte verwendet. Sie entspricht der Auszahlungsmatrix des klassischen Dilemmas: Im Feld „Beide K“ ist (bei John und Jim) die Auszahlung $-2/-2$ - jeder wird zu zwei Jahren verurteilt. Die Kombinationen „K-D“ sowie „D-K“ ergeben $-5/0$ bzw. $0/-5$, im Feld „Beide D“ lautet das Urteil $-4/-4$!

Es lässt sich aus der Darstellung sehr schön ablesen, warum beide in diesem für sie so verhängnisvollen Feld landen. Die Zahlen scheinen für jeden Spieler - für sich

betrachtet - eindeutig: Defektion (D) bringt ihm mehr als Kooperation (M), „Gestehen“ ist die dominante Strategie. Wenn sich unsere beiden Gefangenen die Situation in solcher Weise wie wir verdeutlicht hätten oder einfach dem Komplizen vertraut hätten, wären sie mit zwei statt vier Jahren davongekommen!

▷ 2. Mathematische Spieltheorie

Anders als ihr Name vermuten lässt, ist die Spieltheorie eine völlig seriöse mathematische Disziplin, die ihre Wurzeln in der linearen Algebra hat. Die Theorie strategischer Spiele, wie sie auch genannt wird, ist eine mathematische Theorie von Konfliktsituationen, bei der sich zwei oder mehr Akteure gegenüberstehen. Sie behandelt Entscheidungssituationen, deren Ausgang vom Verhalten der einzelnen Spieler abhängt. Das Ziel der Theorie ist es, Empfehlungen für eine rationale Handlungsweise jedes Spielers im Verlaufe einer Konfliktsituation auszuarbeiten.

Die von den Spieltheoretikern behandelten Entscheidungssituationen lassen sich in verschiedene Klassen einteilen. Neben Spielen mit vollständiger und unvollständiger Information, endlichen und unendlichen Spielen untersuchen Spieltheoretiker vor allem 2- und N-Personenspiele sowie Nullsummen- und Nicht-Nullsummenspiele. In Spielen mit vollständiger Information kennt jeder Spieler die Resultate aller vorangegangenen Züge. Schach, Backgammon und das Gefangenendilemma sind Spiele mit vollständiger Information, die meisten Kartenspiele sind Spiele mit unvollständiger Information. Endlich heißt ein Spiel, wenn es für jeden Spieler nur eine endliche Anzahl von Strategien gibt. Eine Strategie ist dabei eine Regel, die für jede Situation, die in einem Spiel entstehen kann vorschreibt, welche Wahl getroffen wird.

Ein N-Personenspiel ist ein Spiel, an dem mehr als 2 Parteien beteiligt sind. In einem N-Personenspiel sind im Verlauf des Spiels Bündnisse möglich. Wenn sich in einem N-Personenspiel die Gegner zu zwei Parteien zusammenschließen, so reduziert sich dieses Spiel zu einem 2-Personenspiel, wie z.B. dem klassischen Gefangenendilemma. Bei Nullsummenspielen gewinnt, vereinfacht ausgedrückt, der eine Spieler das, was der andere verliert. Beispiele hierfür sind Gesellschaftsspiele wie Mensch-ärger-dich-nicht oder auch das Schachspiel. In einem Nullsummenspiel sind die Interessen beider Spieler direkt entgegengesetzt. Das Gefangenendilemma zählt dagegen zur Kategorie der Nicht-Nullsummenspiele, da die Gewinne des einen Spielers nicht vollständig zu Lasten des anderen gehen und die Interessen der Spieler nicht grundsätzlich entgegengesetzt sind.

Begründet wurde die Spieltheorie von einem der genialsten Mathematiker dieses Jahrhunderts, John von Neumann. Bereits in den dreißiger Jahren bewies von Neumann einige bahnbrechende Theoreme für die einfacheren und unproblematischeren Nullsummenspiele. In dem Grundlagenwerk „Spieltheorie und

wirtschaftliches Verhalten“ begann von Neumann zusammen mit dem Ökonomen Oskar Morgenstern mathematische Spielmodelle auf soziale und ökonomische Problemstellungen anzuwenden. Sie erkannten als erste, dass typische Probleme ökonomischen Verhaltens mit dem mathematischen Begriff von strategischen Spielen übereinstimmen.

Heute finden sich spieltheoretische Ansätze in der Informatik, Biologie, Psychologie, Soziologie und der Politikwissenschaft. Hier wurde insbesondere untersucht, inwieweit Gefangenendilemmasituationen mit realen Entscheidungsstrukturen in der internationalen Politik korrespondieren. Der überwundene „Kalte Krieg“ ist ein Beispiel dafür. Beide Supermächte standen vor der Frage, ob sie sich zu Abrüstungsgesprächen bereit erklären (Kooperation) oder solche verweigern (Defektion). Da sich bei der Kombination K-D für den defektierenden Spieler ein militärischer Vorteil ergibt, bei beiderseitiger Gesprächsverweigerung aber der Nachteil hoher Rüstungskosten für beide Spieler gilt, befanden sich die USA und die UdSSR im Dilemma des Gefangenen.

Ökologen kennen das Gefangenendilemma als die sogenannte „Allmende-Klemme“: Wenn bei gemeinsamer Nutzung eines Weidelandes ein einzelner Herdenbesitzer die Anzahl seiner Tiere erhöht, kann er mit einem zusätzlichen Gewinn rechnen. Andererseits schädigt er durch seine Überweidung aber den gemeinschaftlichen Besitz. Verhalten sich gar alle Herdenbesitzer defektiv (Erhöhung des Tierbestandes), so droht eine irreversible Schädigung des Weidelandes.

Eine Forschungsgruppe der psychologischen Fakultät der Universität Freiburg veröffentlichte kürzlich eine Untersuchung zu genau diesem Problem. Drei Spieler hatten sich in die Situation von Fischern an einem gemeinsamen See zu versetzen. In jeder von mehreren Spielrunden wurden die einzelnen Fangquoten festgesetzt und darauf der Fischbestand für die kommende Runde errechnet. Der Ehrgeiz der drei wurde durch eine Bezahlung, abhängig vom eigenen Fangertrag, angestachelt. Ein übermäßiges Abfischen führte hier nicht nur zum ökologischen sondern auch zum ökonomischen Niedergang, da sich die Fische nicht ausreichend vermehren konnten, die Gesamtzahl zurückging und schließlich die Fische ausstarben. Zu große Zurückhaltung beim Fischen führte dagegen ebenfalls in die Pleite, da der See nur begrenzt Platz und Nahrung bietet. Es zeigte sich, dass die Faktoren ökologisches Wissen, Vertrauen in die Mitspieler und eine faire Gewinnverteilung unter allen drei Fischern schließlich zum gemeinsamen Erfolg führten. Eine einfache Verhaltensweise á la TIT FOR TAT ist in so einer Situation nutzlos.

▷ 3. Das Simulationsprogramm mit seinen Strategien

Wenn man versucht, Axelrods Strategien nachzuprogrammieren, steht man vor einem Dilemma (allerdings keinem Gefangenendilemma). Zum einen beschreibt Axelrod in seinem Buch nur etwa 1/4 der eingereichten Entscheidungsregeln und auch diese sind nicht immer ganz klar dargestellt. Zum andern sind manche beschriebenen Regeln so komplex, dass es sehr aufwändig wäre, diese nachzuprogrammieren. Das zu diesem Beitrag gehörende Pascal-Programm enthält die folgenden 14 zentralen Strategien als Teilmenge aus Axelrods erstem und zweitem Computerturnier, sowie einige Strategien aus einer Wiederholung der Simulation von Christian Donninger (1986).

- (1) Das Siegerprogramm TIT FOR TAT von Anatol Rapoport spielt in der 1. Runde K und dann immer das, was die anderen in der vorherigen Runde spielten;
- (2) CHAMPION belegte den zweiten Platz beim 2. Turnier. Es kooperiert in den ersten 10 Runden und spielt TIT FOR TAT in den nächsten 15 Runden. Nach 25 Runden kooperiert das Programm, außer alle folgenden Bedingungen sind erfüllt:
 - der andere Spieler defektiert im vorhergehenden Zug,
 - der andere kooperierte weniger als 60% bis zur jetzigen Runde
 - die Zufallszahl zwischen 0 und 1 ist größer als die Kooperationsrate des anderen bis zur letzten Runde.
- (3) EWIGE VERDAMMNIS (Friedman) ist eine vollständig unnachsichtige Regel, die ewige Vergeltung übt: sie kooperiert solange, bis der andere zum erstenmal abweicht und defektiert dann für immer. Diese Regel erreichte nur Platz 52.
- (4) SHUBIK beginnt kooperativ, defektiert, wenn der andere erstmals defektiert und erhöht mit jeder Defektion des anderen die Zahl der eigenen Defektionen um 1. SHUBIK wurde nur im 1. Turnier eingereicht und erreichte dort Rang 5.
- (5) JOSS ist eine hinterlistige Regel, die im Prinzip TIT FOR TAT spielt. Im Fall der Kooperation des Mitspielers defektiert JOSS allerdings mit einer Wahrscheinlichkeit von 10%. JOSS erreichte nur Rang 29.
- (6) RANDOM ist eine Zufallsregel, die sich für K oder D auf der Grundlage eines simulierten Münzwurfes entscheidet. RANDOM wurde im 2. Turnier vorletzter, im 1. letzter.
- (7) EATHERLEY achtet darauf, wie oft der andere im bisherigen Spielverlauf kooperiert hat. Nachdem der andere Spieler defektiert, defektiert es mit der Wahrscheinlichkeit des Verhältnisses zwischen der Defektionszahl des Mitspielers und der Rundenzahl. Die Regel erreichte Rang 14 im 2. Turnier.

- (8) TESTER ist für die Suche nach „Softies“ eingerichtet, um diese gehörig auszunehmen, ist andererseits aber auch darauf vorbereitet, auszuweichen, wenn der Mitspieler sich nicht ausbeuten lässt. TESTER defektiert bereits beim 1. Zug, um die Reaktion der Mitspielers zu testen. Defektiert dieser in Runde 2, entschuldigt sich TESTER, indem es kooperiert und für den Rest des Spiels TIT FOR TAT spielt. Andernfalls kooperiert es beim 2. und 3. Zug, defektiert aber danach bei jedem 2. Zug. Die Strategie belegte Platz 46.
- (9) TIT FOR TWO TATS ist eine nachsichtige Variante von TIT FOR TAT und defektiert erst nach 2 Abweichungen des Partners. TIT FOR TWO TATS hätte Axelrods zweites Turnier gewonnen, wenn es eingereicht worden wäre.
- (10) FELD beginnt mit TIT FOR TAT und verringert die Kooperationswahrscheinlichkeit nach einer Kooperation des Mitspielers graduell von 100% in Runde 1 bis 50% in der letzten Runde. Nach einer Defektion des Mitspielers wird immer defektiert. FELD belegte den 11. Platz im 1. Turnier.
- (11) IMMER D defektiert unabhängig von der Wahl des Gegners in jeder Runde.
- (12) Analog spielt IMMER K in jeder Runde kooperativ.
- (13) TIT FOR TAT K belegte in Donningers Simulation mit dem Axelrod-Design den 1. Platz. Es spielt TIT FOR TAT, jeden 10. Zug aber unabhängig vom Zug des Gegners 2 kooperative Züge;
- (14) FRANCE spielt unabhängig vom Gegner im 4. 7. 10. 13... Zug D, sonst K; es belegte Rang 16 bei Donninger.

Das zu diesem Artikel gehörende Pascal-Programm realisiert die Strategien als Funktionen. In jeder Runde werden zwei dieser Funktionen aufgerufen. Der Wert, den eine Funktion zurückgibt, hängt ab von der implementierten Regel. Viele Strategien machen ihre Entscheidung vom Verhalten des Gegners in zurückliegenden Runden abhängig. Diese Informationen werden in einer Geschichte-Matrix gespeichert. Hier werden jeweils für eine Begegnung die abgegebenen Wahlen (K oder D) bis zur aktuellen Runde aufgezeichnet.

Nähere Informationen zum Simulationsprogramm finden Sie im dazugehörigen Mini-Handbuch.

▷ 4. Kampf der Strategien - Die Analyse

Führt man die Simulation durch, so ergibt sich folgende Rangordnung:

Rangplatz	Strategie	Gesamtpunkte	Begegnungen	Pkte/Begn.
1	TIT FOR TAT K	8020	3000	2.67
2	SHUBIK	7985	3000	2.66
3	EATHERLEY	7962	3000	2.65
4	CHAMPION	7739	3000	2.58
5	TIT FOR TAT	7702	3000	2.57
6	EWIGE VERDAMMNIS	7648	3000	2.55
7	TIT FOR TWO TAT	7593	3000	2.53
8	IMMER KOOPERATIV	7419	3000	2.47
9	TESTER	7405	3000	2.47
10	FRANCE	6825	3000	2.28
11	ZUFALL	6664	3000	2.22
12	FELD	6155	3000	2.05
13	JOSS	6011	3000	2.00
14	IMMER DEFEKTIV	4940	3000	1.65

Erster wird TIT FOR TAT K, die weniger strenge Variante von TIT FOR TAT. Allerdings schneiden die ersten drei Strategien ungefähr gleich gut ab, was sich darin äußert, dass manchmal auch SHUBIK oder EATHERLEY das Spiel gewinnt. Weit abgeschlagen auf dem letzten Platz landet IMMER D, das im Schnitt pro Runde genau einen Punkt weniger bekommt als die beste Strategie. TIT FOR TAT wird zwar nicht erster wie bei Axelrod - eine Folge des reduzierten Strategiemfelds - aber es gelten die gleichen Prinzipien, die Axelrod bei seiner Simulation entdeckte:

- Sei freundlich und defektiere nicht als erster

Die ersten acht Strategien sind alle nett, d.h. sie defektieren nie als erste, die letzten sechs sind alle nicht nett. Es zahlt sich also auch hier aus, freundlich zu sein.

- Lass dich nicht ausnutzen und erwidere sowohl Kooperation als Defektion

Die ersten fünf Strategien reagieren sofort sowohl auf Kooperation als auch auf Defektion. Die schlechtesten netten Strategien, die auf den Gegner reagieren, sind TIT FOR TWO TAT und EWIGE VERDAMMNIS. TIT FOR TWO TAT lässt sich zu oft ausnutzen, da es erst nach zwei Defektionen reagiert. EWIGE VERDAMMNIS lässt sich zwar nicht ausnutzen, ist aber zu streng, da es bei einmaliger Defektion des Gegners völlig unversöhnlich nur mehr D bis zum Ende der Begegnung spielt. Etwas überraschend ist das gute Ergebnis von SHUBIK, das eine Strategie der zunehmenden Vergeltung verfolgt, also auch relativ streng reagiert.

- Sei nicht zu raffiniert

Die komplexeren Regeln wie EATHERLEY und CHAMPION schneiden nicht besser ab als die einfachen. Komplexe Strategien sind oft undurchschaubar und erwecken einen chaotischen, zufälligen Eindruck. Dies hat zur Folge, dass sich Kooperation nicht zu lohnen scheint und der „irritierte Spieler“ folglich defektiert.

- Sei nicht neidisch

In einer Nicht-Nullsummenwelt muss man nicht besser sein, als der andere Spieler, um selbst gut abzuschneiden. Die besten Strategien sind nicht darauf aus, besser zu sein als andere. Es macht nichts, wenn jeder so gut ist wie ich oder besser, solange ich selbst gut abschneide. In einem iterierten Gefangenendilemma von langer Dauer ist der Erfolg des anderen praktisch eine Voraussetzung dafür, dass ich selbst gut abschneide.

Mit Menüpunkt 3 des Simulationsprogramms kann man das Verhalten einzelner Strategiepaare verfolgen. Eine der interessantesten Paarungen ist die von JOSS gegen TIT FOR TAT, die hier auszugsweise aufgelistet ist:

Runde	Strategie	Ergebnis	Punktesumme
1	TIT FOR TAT	K	3
	JOSS	K	3
2	TIT FOR TAT	K	6
	JOSS	K	6
3	TIT FOR TAT	K	9
	JOSS	K	9
4	TIT FOR TAT	K	12
	JOSS	K	12
5	TIT FOR TAT	K	15
	JOSS	K	15
6	TIT FOR TAT	K	18
	JOSS	K	18
...			
18	TIT FOR TAT	K	54
	JOSS	K	54
19	TIT FOR TAT	K	54
	JOSS	D	59
20	TIT FOR TAT	D	59
	JOSS	K	59
21	TIT FOR TAT	K	59
	JOSS	D	64
22	TIT FOR TAT	D	64
	JOSS	K	64
23	TIT FOR TAT	K	64
	JOSS	D	69
24	TIT FOR TAT	D	69
	JOSS	K	69

25	TIT FOR TAT	K	69
	JOSS	D	74
26	TIT FOR TAT	D	74
	JOSS	K	74
27	TIT FOR TAT	K	74
	JOSS	D	79
28	TIT FOR TAT	D	79
	JOSS	K	79
29	TIT FOR TAT	K	79
	JOSS	D	84
30	TIT FOR TAT	D	80
	JOSS	D	85
31	TIT FOR TAT	D	81
	JOSS	D	86
32	TIT FOR TAT	D	82
	JOSS	D	87
33	TIT FOR TAT	D	83
	JOSS	D	88
34	TIT FOR TAT	D	84
	JOSS	D	89
35	TIT FOR TAT	D	85
	JOSS	D	90
...			
199	TIT FOR TAT	D	249
	JOSS	D	254
200	TIT FOR TAT	D	250
	JOSS	D	255

JOSS ist eine hinterlistige Regel, die es darauf anlegt, mit einer gelegentlichen Defektion ungestraft davon zu kommen. Wie TIT FOR TAT defektiert es, wenn der andere defektiert, kooperiert aber nach einem kooperativen Zug des Mitspielers nicht immer, sondern nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 90%. Beide beginnen also normalerweise in den ersten Runden kooperativ und sammeln fleißig drei Punkte je Runde ein.

In Runde 19 beginnt das Desaster. Der Zufallsmechanismus von JOSS schlägt zu und es spielt ein hinterlistiges D. Darauf reagiert TIT FOR TAT in der nächsten Runde 20 mit einem D, JOSS antwortet auf TIT FOR TATs K in Runde 19 mit einem K. In Runde 21 muss JOSS auf die D-Wahl von TIT FOR TAT seinerseits mit einem D reagieren, woraufhin TIT FOR TAT in Runde 22 wiederum reagieren muss ... Praktisch verursachte also die einmalige Defektion von JOSS in Runde 19 ein Echo, das zwischen JOSS und TIT FOR TAT hin und her wandert. Dies geht so bis zu Runde 29.

In der 30. Runde kommt es durch den Zufallsmechanismus abermals zu einer außerplanmäßigen Defektion von JOSS. Damit landen beide Strategien in permanenter Defektion, die nur mehr einen Punkt pro Runde bringt und aus der sie bis zum Schluss

nicht mehr entkommen. Man beachte, dass JOSS zwar mit 255 gegen 250 Punkten ein wenig besser abschneidet als TIT FOR TAT, beide aber durch die frühen D-D-Wahlen ein schlechtes Ergebnis erzielen (Zum Vergleich: bei beidseitiger Kooperation 600 Punkte). Da der Endgewinner derjenige mit der maximalen Punktzahl ist, nutzen einzelne Gewinne mit wenig Punkten nicht viel. Es kommt darauf an, insgesamt die Punktzahl zu maximieren und den anderen möglichst zur Kooperation zu bewegen ohne sich ausnutzen zu lassen!

Wäre es möglich, JOSS nach dem D-D-Desaster wieder zur Kooperation zu bringen, so würde der JOSS-Mitspieler - und auch JOSS selbst - wesentlich besser abschneiden. Eine solche Strategie ist TIT FOR TAT K, die in Axelrods Simulation nicht dabei war, dieses aber voraussichtlich gewonnen hätte (wird bei Donninger und bei uns erster). Diese Strategie stammt von Andreas Diekmann (Universität Bern) und bietet jeden 10. und 11. Zug ein K an, unabhängig von der Entscheidung des Gegners. Mit diesem Mechanismus landen die beiden nicht mehr in der endgültigen Defektion, sondern TIT FOR TAT K zieht quasi beide Spieler am Schopf wieder aus dem D-D-Sumpf. Die unerwartete Rettung schlägt für beide mit ca. 300 Punkten mehr zu Buche - Kooperation zahlt sich eben aus.