Arne Traulsen

4 Die Evolution und der Zusammenbruch von Kooperation: Wie Einzelne das Gemeinwohl gefährden können

Zusammenfassung: Kooperation, bei der Individuen Kosten tragen, die für die ganze Gemeinschaft von Nutzen sind, kann man auf allen Ebenen der biologischen und sozialen Organisation finden – von Kooperation zwischen Genen innerhalb eines Genoms über das Teilen von extrazellulären Produkten in mikrobiellen Populationen bis hin zur menschlichen Gesellschaft. In all diesen Fällen wäre es für ein Individuum kurzfristig von Vorteil, die Kooperation aufzugeben. Es kann dann immer noch die Beiträge anderer ausnutzen, muss aber nicht mehr einen eigenen Anteil tragen. Wenn sich ein solches Verhalten durch Imitation oder Vererbung ausbreitet, dann ist die Kooperation und damit ein Gemeinschaftsgut in Gefahr. Kooperation kann dann durch verschiedene Mechanismen stabilisiert werden, die in der theoretischen Biologie im Detail analysiert werden. Ein besonders interessanter Fall sind Situationen, in denen Schwellenwerte erreicht werden müssen, um die Vorteile der Kooperation zu erlangen – hier kann das Kooperations- zu einem Koordinationsproblem werden. Wie scharf diese Schwellenwerte sind ist entscheidend, um Lösungen zu stabilisieren.

Abstract: Cooperation, where individuals pay costs that benefit the entire community, can be found on all levels of biological and social organization – from cooperation between genes within a genome via sharing costly extracellular products in microbial populations to cooperation within animal and human societies. In the short run, it would be advantageous for an individual to withhold cooperation in all these cases. In this way, it can exploit the contributions of other, but it would no longer have to pay its own share. If such behaviour spreads through imitation or inheritance, cooperation and thus a common good is at risk. However, cooperation can be stabilised by various mechanisms that are analysed in detail in theoretical biology. A particularly interesting case are situations in which threshold values have to be reached in order to obtain the advantages of cooperation – in these situations, cooperation can become a problem of coordinating towards a particular solution. How sharp these thresholds are can be a crucial factor in order to stabilize solutions.

Die Evolution und Stabilisierung der Kooperation zwischen egoistischen Individuen ist für viele Disziplinen von großem Interesse, von der Evolutionsbiologie bis zu den Sozial- und Politikwissenschaften [1–4]. Die Frage, warum sich kooperatives Verhalten entwickelte, wird gelegentlich als ein Schlüsselproblem in der Wissenschaft betrachtet [5]. Es gibt zahlreiche Mechanismen, die zu Kooperation führen, die ausführlich und detailliert untersucht wurden [5]. Z. B. kann Reputation beim Menschen

https://doi.org/10.1515/9783110600261-007

zu Kooperation führen, wenn kooperative Spieler dadurch Vorteile in zukünftigen Interaktionen haben, weil sie als kooperativ bekannt sind [6–10]: Andere Spieler kooperieren entweder mit höherer Wahrscheinlichkeit mit ihnen oder die als kooperativ bekannten Spieler werden öfter als Spielpartner ausgewählt, weil die Interaktionen mit ihnen attraktiver erscheinen. Es wurde argumentiert, dass Menschen es gewohnt sind, beobachtet zu werden und dass somit auch subtile Hinweise auf Beobachtung mehr kooperatives Verhalten auslösen können [11–13]. Ein faszinierendes Experiment ist dazu von Bateson et al. durchgeführt worden [11]: Die Autoren haben über einer Kasse, in die Mitarbeiter anonym und freiwillig für Getränke (Tee, Kaffee, Milch) zahlen, Bilder aufgehängt, die jede Woche ausgetauscht wurden. Diese Bilder zeigten entweder Augen, die den Betrachter ansehen, oder (als vermeintlich neutrales Bild) Blumen. Es wurde signifikant mehr in die Kasse eingezahlt, wenn diese Bilder Augen zeigen. Die Interpretation ist, dass auch subtile Signale für Beobachtung (Bilder von Augen) ausreichen, um Menschen zu sozialem Verhalten zu motivierten. Während es Hinweise gibt, dass selbst subtile Signale für Beobachtung zu Kooperation führen (wie z. B. nur zwei Punkte anstatt Augen), zeigt eine Metaanalyse über Experimente mit unterschiedlichen Verhaltensweisen, z. B. Unehrlichkeit, Diebstahl, Wahlverhalten oder Altruismus, dass der Einfluss solcher Überwachungshinweise von der Handlung und dem sozialen Kontext abhängt [14].

Andere Mechanismen, die zu Kooperation führen können sind z. B. (i) wiederholte Interaktionen, bei denen Spieler kooperieren, weil sie mit dem gleichen Partner immer wieder interagieren, (ii) räumliche Struktur, bei der Spieler in kooperativen Nachbarschaften Vorteile gegenüber Spielern in nicht-kooperativen Nachbarschaften haben, (iii) der Wettbewerb zwischen verschiedenen Gruppen, (iv) die Bestrafung von Nicht-Kooperatoren bzw. die Belohnung von Kooperatoren oder (v) die Kooperation unter Verwandten, die dazu führt dass bestimmte Gene in zukünftigen Generationen stärker repräsentiert sind.

1 Kooperation in Gemeinschaftsgütern

Das einfachste Modell für die Kooperation in einer Gruppe ist das lineare Gemeinschaftsgüterspiel. Betrachten wir eine Gruppe von N Spielern, bei der jeder Spieler anonym c oder 0 in ein gemeinsames Konto einzahlt. Dieses Konto wird mit einem Faktor von $r > 1$ multipliziert und das Resultat – das Gemeinschaftsgut – wird gleichmäßig auf alle N Spieler der Gruppe verteilt. Wenn j Spieler in der Gruppe kooperieren und einen Beitrag von c leisten, beläuft sich der Gesamtbeitrag auf $j \cdot c$, was zu einer Auszahlung von $j \cdot c \cdot {}^{r}\!/\!{}_{N}$ für jeden Spieler führt. Die Kooperatoren bekommen daher insgesamt eine Nettoauszahlung von

$$\pi_C(j) = c\frac{j}{N}r - c\ ,$$

während die Nicht-Kooperatoren, die keinen Beitrag leisten,

$$\pi_D(j) = c\frac{j}{N}r$$

bekommen. Da wir $c > 0$ annehmen, gilt $\pi_C(j) < \pi_D(j)$, egal wie groß die Anzahl von Kooperatoren j ist. Trotzdem ist der Gewinn in einer Gruppe von Kooperatoren höher als in einer Gruppe von Nicht-Kooperatoren, $\pi_C(N) > \pi_D(0)$. Dies ist der Kern des sozialen Dilemmas: für jeden Einzelnen scheint es sich nicht zu lohnen, kooperativ zu sein, da damit individuelle Kosten verbunden sind. Aber für die Gruppe wäre es viel besser, wenn jeder etwas beitragen würde.

In der klassischen Spieltheorie würde man nun versuchen, in diesem Spiel sinnvolle Lösungen zu finden. Eine Spielerin kann nicht wissen, wie die anderen Spielerinnen spielen. Wie kann sie in Anbetracht dieser Unsicherheit eine rational sinnvolle Strategie wählen? Eine Möglichkeit ist es, dass eine Spielerin über die Handlungen ihrer Mitspielerinnen Vermutungen anstellt. Auf Grundlage dieser Vermutungen würde eine Spielerin dann eine optimale Strategie auswählen. Ein sog. Nash-Gleichgewicht ist dann eine Situation, in der diese Vermutungen konsistent sind, also eine Situation in der keine der so denkenden Spielerinnen einen Anreiz hat, von dieser Strategie abzuweichen. Das Nash-Gleichgewicht ist ein wichtiges Lösungskonzept, da in einer solchen Situation keine Spielerin ihren Gewinn dadurch verbessern kann, dass sie unilateral von der Lösung abweicht. So eine Lösung kann als stabil betrachtet werden. Im Gemeinschaftsgüterspiel ist die Situation, in der keine der N Spielerinnen einen Beitrag leistet, genau so ein Nash-Gleichgewicht: Jede einzelne Spielerin würde durch ihre Beiträge ihren Gewinn reduzieren.

Diese Analyse erfordert jedoch relativ komplexe Argumente und ist dadurch nicht auf die Biologie zu übertragen. Selbst bei Menschen ist es fraglich, ob solche Überlegungen angestellt werden. Trotzdem sind viele Verhaltensweisen beim Menschen im spieltheoretischen Sinne optimal, wobei man nicht unbedingt annehmen kann, dass z. B. Fußballspieler bewusst spieltheoretische Berechnungen durchführen. Auch in der Biologie gibt es viele Beispiele dafür, in denen Tiere Verhaltensweisen zeigen, die spieltheoretisch optimal sind. In diesem Kontext wurde in den 1970er Jahren die evolutionäre Spieltheorie entwickelt. Dabei wird angenommen, dass sich Strategien von Generation zu Generation vererben und dass sich Strategien mit hohen Gewinnen dabei ausbreiten. In so einem Modell für evolutionäre Dynamik kann man also die Gewinne in eine Fitness übersetzen, die bestimmt, wie schnell sich Strategien ausbreiten. Hierzu betrachten wir den relativen Anteil oder die Häufigkeit x von Kooperatoren in einer sehr großen Population. Wenn wir nun eine Gruppe von N Individuen für eine Interaktion auswählen, dann ist die Anzahl der Kooperatoren in dieser Gruppe binomial verteilt mit dem Mittelwert xN, auf den wir uns der Einfachheit halber konzentrieren. Damit erhalten wir nun die erwarteten Gewinne $\pi_C(x)$ und $\pi_D(x)$, die nun vom relativen Anteil der Kooperatoren in der Population abhängen. Die beliebteste Wahl für evolutionäre Dynamik in der Spieltheorie ist die deterministische

Replikatordynamik [15], welche die Änderung der Häufigkeit durch eine gewöhnliche (aber normalerweise nichtlineare) Differentialgleichung beschreibt

$$\dot{x} = x(\pi_C(x) - \overline{\pi(x)}) = x(1-x)(\pi_C(x) - \pi_D(x)) \, .$$

Hier beschreibt $\dot{x}$ die zeitliche Ableitung der Häufigkeit x und $\overline{\pi(x)}$ den mittleren Gewinn in der Population: Wenn eine Strategie erfolgreicher ist (also einen höheren Gewinn erzielt) als die mittlere Strategie, dann breitet sie sich aus. Wenn sie weniger erfolgreich ist, dann nimmt ihre Häufigkeit ab. Wie in der Gleichung oben gezeigt, kann man die rechte Seite der Gleichung als Differenz der beiden Gewinne darstellen, was in unserem Fall die Interpretation etwas vereinfacht. Wir finden $\pi_C(x) - \pi_D(x) = -c$; somit wächst der Anteil der Defektoren logistisch, d. h. ausgehend von wenigen Spielern nimmt der Anteil der Defektoren anfangs exponentiell zu, um schließlich immer langsamer zu wachsen und sich 1 anzunähern. Der einzige evolutionär stabile Zustand des Systems, $x = 0$, ist dann das Nash-Gleichgewicht der klassischen Spieltheorie, wie man durch lineare Stabilitätsanalyse verifizieren kann.

Alternativ kann man evolutionäre Dynamik auf der Basis von stochastischen Prozessen modellieren, bei dem ein (neutraler) Zufallsprozess die Grundlage bildet [16,17]. Überlagert wird dieser Zufallsprozess von Fitnessunterschieden, die dann die Wahrscheinlichkeit bestimmen, dass sich eine Mutation durchsetzt. In unserem Fall würden wir finden, dass die Wahrscheinlichkeit ϕ_C für die Durchsetzung einer Mutation, die bei einem Individuum zu Kooperation führt, $\phi_C < 1/N$ ist, wenn die Population ursprünglich aus $N = 1$ Nicht-Kooperatoren besteht. Auf der anderen Seite wäre die Wahrscheinlichkeit ϕ_D, dass sich eine Mutation für Nicht-Kooperation in einer Population durchsetzt, in der alle kooperieren, größer als neutral, $\phi_D > 1/N$.

In diesen einfachen Modellen für evolutionäre Dynamik würde man daher keine Kooperation erwarten. Um die Evolution von Kooperation zu beschreiben, müssen wir das Modell erweitern und bspw. Populationsstruktur, wiederholte Interaktionen, Reputation, Bestrafung, oder Verwandtschaft einführen [1]. Alternativ können wir aber auch Spiele betrachten, bei denen es vorteilhaft ist, wenn nur ein Teil der Spielerpopulation kooperiert. Streng genommen ändert man dabei die Definition von Kooperation die oben implizit eingeführt wurde: Dort wurde Kooperation als die Handlung eingeführt, in einem Gemeinschaftsgüterspiel einen Beitrag zu leisten, egal wie viele Spieler kooperieren. Wenn wir nun annehmen, dass es von Vorteil ist, wenn sich nur ein Teil der Spieler so verhält, dann weichen wir von dieser Definition ab. Weiterhin gibt es jedoch in unserem Fall ein soziales Dilemma, da jeder Spieler von den Beiträgen der anderen profitiert, aber auch versucht ist, die eigenen Beiträge zu minimieren.

2 Das Freiwilligen-Dilemma

Ein Beispiel für ein solches Spiel ist das Freiwilligen-Dilemma [18–19]. Hier ist die Kooperation eines einzelnen Individuums ausreichend (also der Beitrag von Kosten $c > 0$), um einen Gewinn b für alle Spieler zu erzeugen. Das kann z. B. das Rufen von Hilfe an einer Unfallstelle sein. Alle Spieler profitieren hier gleichmäßig von so einer Handlung, auch wenn nur einer (oder, in einem etwas komplizierteren Fall, wenige) Spieler dafür kooperieren müssen. Die Gewinne in einer Gruppe der Größe N sind nun

$$\pi_C(j) = b - c \quad \text{und} \quad \pi_D(j) = \begin{cases} 0 & \text{falls } j = 0 \\ b & \text{falls } j > 0 \end{cases}$$

In einer großen Population müssen wir nun die Wahrscheinlichkeit berechnen, dass ein Nicht-Kooperator Teil einer Gruppe ist, in der mindestens einer der Spieler kooperiert. Die Wahrscheinlichkeit, dass keiner der Spieler kooperiert ist $(1 - x)^N$. Mindestens einer von ihnen kooperiert also mit Wahrscheinlichkeit $1 - (1 - x)^N$. Dies führt zu den erwarteten Gewinnen

$$\pi_C(x) = b - c \quad \text{und} \quad \pi_D(x) = b(1-(1-x)^N)$$

Falls nun x sehr klein ist, finden wir $\pi_D(x) \approx Nbx \approx 0$ und somit $\pi_C(x) > \pi_D(x)$; wenn der Anteil der Kooperatoren sehr klein ist, haben diese einen Vorteil. Auf der anderen Seite haben wir für eine Population in der fast alle Spieler kooperieren, $x \approx 1$, $\pi_D(x) \approx b$ und damit $\pi_C(x) < \pi_D(x)$; wenn der Anteil der Kooperatoren sehr groß ist, haben diese einen Nachteil. Dies führt zu einer Situation in der eine Population stabil ist, in der der Anteil der Kooperatoren x^* die Gleichung $b - c = b(1 - (1 - x^*)^N)$ erfüllt, d. h. $x^* = 1 - (c/b)^{1/N}$. Wenn die Kosten steigen, sinkt in diesem Zustand auch der Anteil der Kooperatoren. Steigt dagegen der Nutzen der Kooperation, gibt es mehr Kooperatoren. In dieser stabilen Situation kann keine abweichende Strategie in das System eindringen. Etwas komplizierter wird die Situation dann, wenn mehr als ein Kooperator notwendig ist. In diesem Fall ist es in einer sehr großen Population mit sehr wenigen Kooperatoren ein Nachteil zu kooperieren, da man im Normalfall nur einen einzigen Kooperator in der Interaktionsgruppe findet. Damit wird nun auch der Punkt $x = 0$ stabil, eine weitere Lösung an der Kooperatoren und Nicht-Kooperatoren koexistieren ist aber weiterhin stabil.

3 Kooperation in Spielen mit kollektiven Risiken

Eine besonders interessante Erweiterung sind kollektive Risikospiele, bei denen die Kooperation einer kritischen Anzahl von Spielern notwendig ist, um einen kollektiven Verlust zu vermeiden. Ein solches Spiel wurden im Zusammenhang mit gefährlichem, rapidem Klimawandel vorgeschlagen und empirisch untersucht [20], später aber auch theoretisch im Rahmen der evolutionären Spieltheorie [21]. Wir konzentrieren uns hier auf eine erheblich vereinfachte Version dieser Spiele, in der soziale Interaktion auf eine einzige Handlung reduziert wird [22] – man abstrahiert somit von den sozialen Interaktionen und „Verhandlungen", die in den empirischen Versionen dieses Spiels stattfinden. Das kollektive Risiko führt zu Situationen, die nicht länger soziale Dilemmas im klassischen Sinne sind, sondern Koordinationsspiele, bei denen die Spieler sich zwischen verschiedenen möglichen Lösungen entscheiden müssen [23]. Das soziale Dilemma reduziert sich dann auf die Frage, ob ein sozial bevorzugtes Gleichgewicht stabil ist oder ob sich ein Gleichgewicht mit einem asozialen Charakter entwickelt. Wir nehmen an, dass jeder von N Spielern einen beliebigen Beitrag zwischen 0 und 1 zahlen kann. Die Summe der Beiträge bestimmt dann das Risiko, dass die Spieler den nicht gezahlten Beitrag verlieren und einen Gewinn von 0 bekommen. Insbesondere interessiert uns, wie die Kurve p, mit der sich das Risiko verringert, die Beiträge der Spieler beeinflusst. Da nun beliebige Beiträge zugelassen sind, ist der Strategieraum kontinuierlich. Um trotzdem eine einfache Analyse zu ermöglichen, stellen wir die Frage ob eine Population, in der alle Spieler den gleichen Beitrag leisten, evolutionär stabil ist oder von Spielern mit höheren (oder niedrigeren) Beiträgen übernommen werden kann. Der Gewinn einer Spielerin in einer Gruppe, die den Beitrag $c^\star$ leistet, während alle anderen c leisten, ist

$$\pi(c^\star, c) = (1-c^\star)\left(1-p\left[\frac{c^\star+(N-1)c}{N}\right]\right),$$

wobei wir das Argument y von $p[y]$ so normiert haben, dass es stets zwischen 0 und 1 liegt. Qualitativ sieht man hier, dass für sehr große Interaktionsgruppen, N >> 1, die Spielerin ihren Gewinn nur über die nicht bezahlten Beiträge $1 - c^\star$ beeinflusst, aber nicht über die Risikokurve, für die wir $p\left[\frac{c^\star+(N-1)c}{N}\right] \approx p[c]$ finden. Nur wenn der Einfluss des Einzelspielers auf diese Kurve groß bleibt, also wenn die (negative) Steigung der Kurve ausreichend groß ist, kann diese Kurve für den Gewinn eine Rolle spielen. Für den Fall von unendlich großen Interaktionsgruppen, $N \to \infty$, ist dies nur noch möglich, wenn die Risikokurve eine Stufenfunktion ist, d. h. unendlich schnell abfällt.

Formal kann man diese Situation untersuchen, in dem man die Änderung des Gewinns $\pi(c^\star, c)$ mit dem eigenen Beitrag $c^\star$ in einer Situation analysiert, in der alle gleich viel beitragen,

$$\begin{aligned}\left[\frac{\partial}{\partial c^\star}\pi(c^\star, c)\right]_{c^\star=c} &= \left[-1+p\left[\frac{c^\star+(N-1)c}{N}\right]-(1-c^\star)\frac{\partial}{\partial c^\star}p\left[\frac{c^\star+(N-1)c}{N}\right]\right]_{c^\star=c}\\ &= p[c]-1-(1-c)\frac{1}{N}\frac{\partial}{\partial c}p[c]\,.\end{aligned}$$

So lange diese Größe positiv ist, ist es von Vorteil, wenn eine Spielerin ihren Beitrag erhöht. Das Risiko muss also hinreichend schnell kleiner werden,

$$-\frac{\partial}{\partial c}p[c] > \frac{1-p}{1-c}N\,. \quad (1)$$

Für große Gruppen, $N >> 1$, wird es immer schwerer, diese Ungleichung zu erfüllen – die Kurve muss also sehr schnell abfallen. Lösungen mit größeren Beiträgen erfordern auch schneller abfallende Risiken, da die rechte Seite der Ungleichung mit c ansteigt. In Abb. 4.1 sind einige Kurven abgebildet, bei denen verschiedene Beiträge stabilisiert werden. Ein Vergleich mit Verhaltensexperimenten zeigt jedoch, dass diese Vorhersagen nur qualitativ passend sind, aber nicht die genauen Beiträge vorhersagen können [24].

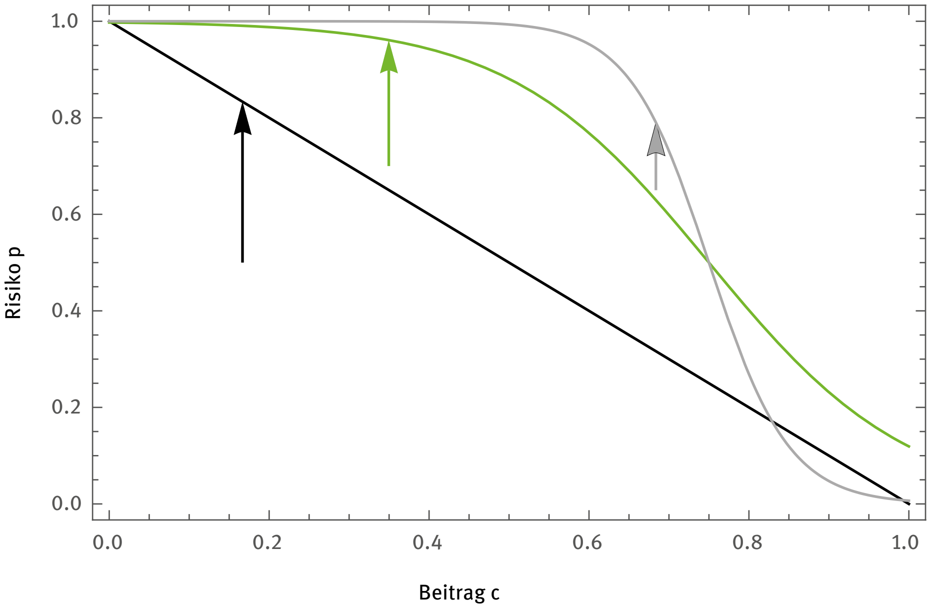

Abb. 4.1 Risikokurven und evolutionär stabile Beiträge. Für drei verschiedene Risikokurven sind hier die evolutionär stabilen Beiträge (Pfeile) berechnet. Für die lineare Kurve (schwarz) kann die Position des schwarzen Pfeils berechnet werden, der Beitrag liegt hier bei $\frac{1}{N+1}$ (in unserem Beispiel mit $N = 5$ also bei $\frac{1}{6}$). Bei den anderen Kurven muss man Gleichung (1) numerisch lösen. Je schneller das Risiko abfällt, desto besser lassen sich höhere Beiträge stabilisieren.

4 Interpretation und Nutzen von Modellen aus der evolutionären Spieltheorie

Evolutionäre Stabilität und Stabilität im spieltheoretischen Sinne hängen eng miteinander zusammen: Jede Strategie, die evolutionär stabil ist, ist auch ein Nash-Gleichgewicht. Aber der Nutzen dieser Modelle reduziert sich nicht auf die Identifikation von solchen Gleichgewichten.

Die evolutionäre Spieltheorie lässt sich als Modell für soziales Lernen interpretieren, sie führt damit zu solchen Lösungen, die keine detaillierte Analyse des Systems durch die Spieler mehr benötigen. Mikroben halten sich z. B. oftmals an die Vorhersagen dieser Theorie, ohne dass man ihnen eine Intelligenz zuschreiben möchte. Die Anwendung von Modellen der evolutionären Spieltheorie auf menschliches Verhalten wird in Teilen sehr kritisch diskutiert, da es bessere und detaillierte Modelle für menschliches Lernen in der Psychologie gibt [25]. Eine detaillierte Analyse von spieltheoretischen Experimenten zeigt auch, dass die grundlegenden Annahmen für die Modelle der evolutionären Spieltheorie in Verhaltensexperimenten mit Menschen oftmals nicht gelten [26,27]. Für detaillierte Vorhersagen von menschlichem Lernverhalten sind diese Modelle daher nur sehr bedingt geeignet. Auch in biologischen Systemen geht es oftmals nicht um eine präzise quantitative Vorhersage, sondern um die Identifikation von Parameterbereichen, für die qualitative Änderungen erwartet werden können.

Kollektive Risiken werden vor allem im Kontext von Klimawandel diskutiert. Eine große Rolle spielt dabei die Art des Risikos für Verluste: Manche Autoren sprechen von „gefährlichem Klimawandel“, bei dem ab einem gewissen CO_2 Ausstoß das Klimasystem irreversibel verändert werden würde [20]. Dieses Szenario kann mit einer Risikokurve modelliert werden, bei der das Risiko ab einem kritischen notwendigen Beitrag massiv abnimmt. Verhaltensexperimente zeigen, dass solche Risikokurven zu ganz anderen Beiträgen führen als kontinuierlich abfallende Risikokurven [24]. Auch eine mathematische Analyse führt in diesen beiden Situationen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen für evolutionär stabile Strategien [22]. Andere Autoren schlagen als mögliche Lösung für dieses kollektive Risiko die Einführung von lokalen Strukturen vor, die Beiträge erzwingen können [28]. Oftmals wird jedoch das Problem des Klimawandels als einfaches Gemeinschaftsgüterspiel interpretiert, wobei das Fehlen von kritischen Schwellenwerten dazu führt, dass es weniger mögliche stabile Lösungen gibt, auf die sich die Spieler einigen könnten. Andere Ergebnisse erzielt man, wenn man Spiele mit mehreren Runden betrachtet, bei der mit jedem Beitrag das Risiko reduziert wird, bei denen aber auch in jeder Runde das Risiko für einen Verlust besteht [29]. In diesen Szenarien kann es sinnvoll sein, gleich am Anfang des Spiels möglichst hohe Beiträge zu leisten, um zukünftige Risiken möglichst effizient zu reduzieren. Dieses Beispiel zeigt, dass es wichtig sein kann, über die Art von Risiken und ihre Kommunikation nachzudenken: Wenn wir Klimawandel als singuläres einschneidendes Ereignis in der Zukunft darstellen, dass man aber heute schon angehen muss führt das zu ganz anderen Verhaltensstrategien als eine Situation, in der frühe Beiträge schon in naher Zukunft ein klein wenig helfen können, Risiken zu reduzieren.

Die grundsätzliche Struktur von Lösungen solcher Spiele lässt sich mit Modellen sehr einfach analysieren. Welchen Effekt haben Änderungen der Risikokurven? Welchen Einfluss erwarten wir, wenn sich die Anzahl der Spieler verändert? Wie viele Lösungen existieren, die stabil sind? Welchen Effekt haben die Änderungen von Parametern? Gibt es qualitativ unterschiedliche Dynamiken, zwischen denen man mit einer Parameterverschiebung wählen kann? All diese Fragen lassen sich in Modellen analysieren und die Antworten können empirisch getestet werden. Insbesondere kann diese Art von Modellen uns zeigen, welche Annahmen einen großen Effekt haben und welche vielleicht unkritisch sind.

Eine Analogie gibt es in der Physik: Für das genaue Verständnis der Welt ist die Modellierung eines einzelnen Wasserstoffatoms von sehr eingeschränktem Interesse. Aber ohne diese theoretischen Ansätze hätte sich die moderne Physik im letzten Jahrhundert nicht erfolgreich entwickeln können. Ähnlich schwer fällt es, über soziale Konfliktsituationen nachzudenken, wenn man nicht einfache Modelle wie das lineare Gemeinschaftsgut oder das Gefangenendilemma als ersten Anhaltspunkt hat und diese im Detail analysiert und verstanden hat.

Danksagung

Ich danke Prof. Dr. Reiner Lauterbach herzlich für detaillierte kritische Kommentare zu diesem Manuskript.

Literatur

[1] Nowak MA. Five rules for the Evolution of Cooperation. In: Science, 2006;314:1560–1563.
[2] Hardin G. The tragedy of the commons. In: Science, 1968;162:1243–1248.
[3] Gordon HS. The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery. In: The Journal of Political Economy, 1954;62:124–142.
[4] Macy MW, Flache A. Learning dynamics in social dilemmas. In: Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2002;99:7229–7236.
[5] Pennisi E. How Did Cooperative Behavior Evolve? In: Science, 2005;309:93.
[6] Sugden R. The economics of rights, co-operation and welfare. Oxford and New York: Blackwell; 1986.
[7] Boyd R, Richerson PJ. The Evolution of Reciprocity in Sizeable Groups. In: Journal of Theoretical Biology, 1988;132:337–356.
[8] Brandt H, Sigmund K. The logic of reprobation: Assessment and action rules for indirect reciprocation. In: Journal of Theoretical Biology, 2004;231:475–486.
[9] Ohtsuki H, Iwasa Y. How should we define goodness? – Reputation dynamics in indirect reciprocity. In: Journal of Theoretical Biology, 2004;231:107–20.
[10] Nowak MA, Sigmund K. Evolution of indirect reciprocity. In: Nature, 2005;437:1291–1298.

[11] Bateson M, Nettle D, Roberts G. Cues of being watched enhance cooperation in a real-world setting. In: Biology Letters, 2006;2:412–414.
[12] Haley KJ, Fessler DMT. Nobody's watching? Subtle cues affect generosity in an anonymous economic game. In: Evolution and Human Behavior, 2005;26:245–256.
[13] Bateson M, Callow L, Holmes JR, Redmond Roche ML, Nettle D. Do images of 'watching eyes' induce behaviour that is more pro-social or more normative? A field experiment on littering. In: PLoS One, 2013;8:e82055.
[14] Northover SB, Pedersen WC, Cohen AB, Andrews PW. Artificial surveillance cues do not increase generosity: two meta-analyses. In: Evolution and Human Behavior, 2017;38:144–153.
[15] Hofbauer J, Sigmund K. Evolutionary Games and Population Dynamics. Cambridge/UK: Cambridge University Press, 1998.
[16] Nowak MA, Sasaki A, Taylor C, Fudenberg D. Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations. In: Nature, 2004;428:646–650.
[17] Traulsen A, Hauert C. Stochastic evolutionary game dynamics. In: Schuster HG (ed.). Reviews of Nonlinear Dynamics and Complexity. vol. II. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. 25–61.
[18] Diekmann A. Volunteer's Dilemma. In: Journal of Conflict Resolution, 1985;29:605–610.
[19] Myatt DP, Wallace C. An evolutionary analysis of the volunteer's dilemma. In: Games and Economic Behavior, 2008;62:67–76.
[20] Milinski M, Sommerfeld RD, Krambeck HJ, Reed FA, Marotzke J. The collective-risk social dilemma and the prevention of simulated dangerous climate change. In: Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 2008;105(7):2291–2294.
[21] Abou Chakra M, Traulsen A. Evolutionary dynamics of strategic behavior in a collective-risk dilemma. In: PLoS Computational Biology, 2012;8:e1002652.
[22] Hagel K, Abou Chakra M, Bauer B, Traulsen A. Which risk scenarios can drive the emergence of costly cooperation? In: Scientific Reports, 2016;6:19269.
[23] Barrett S, Dannenberg A. Climate negotiations under scientific uncertainty. In: Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 2012;109(43):17372–17376.
[24] Hagel K, Milinksi M, Marotzke J. The level of climate-change mitigation depends on how humans assess the risk arising from missing the 2C target. In: Palgrave Communications. 2017;3:17027.
[25] Hagen E, Hammerstein P. Game theory and human evolution: A critique of some recent interpretations of experimental games. In: Theoretical Population Biology, 2006;69(3):339–348.
[26] Traulsen A, Semmann D, Sommerfeld RD, Krambeck HJ, Milinski M. Human strategy updating in evolutionary games. In: Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 2010;107:2962–2966.
[27] Grujic J, Gracia-Lázaro C, Milinski M, Semmann D, Traulsen A, Cuesta JA, et al. A comparative analysis of spatial Prisoner's Dilemma experiments: Conditional cooperation and payoff irrelevance. In: Scientific Reports, 2014;4:4615.
[28] Vasconcelos VV, Santos FC, Pacheco JM. A bottom-up institutional approach to cooperative governance of risky commons. In: Nature Climate Change, 2013;3:797–801.
[29] Abou Chakra M, Bumann S, Schenk H, Oschlies A, Traulsen A. Immediate action is the best strategy when facing uncertain climate change. In: Nature Communications, 2018;9:2566.