

Zur Methode der agenten-basierten Simulation in der Politikwissenschaft am Beispiel von Meinungsdynamik und Parteienwettstreit

Jan Lorenz

Einführung

In agenten-basierten Computersimulationen kann man, wenn sie geeignet visualisiert sind, sehen, wie emergente Phänomene aus lokalen Interaktionen entstehen. Man kann mit Annahmen und Parametern spielen und damit neue Parteistrategien zum Gewinnen von Wahlen ausprobieren, die selbstorganisierte Parteibildung manipulieren oder Revolutionen an kritischen Schwellwerten auslösen. Sie bilden eine spielerische Brücke zwischen Theorie und Realität. In diesem Beitrag wird die Methode der agenten-basierten Computersimulation als allgemeine Methode zur Untersuchung formaler Modelle im Hinblick auf politikwissenschaftliche Fragestellungen vorgestellt und an ausgewählten Beispielen erläutert.

Ein Modell nennt man agenten-basiert, wenn jeder reale Agent des Systems auch in der formalen Beschreibung des Modells auftaucht. Den Agenten im Modell entsprechen die handelnden Individuen in der Wirklichkeit. „Agenten-basierte Simulation“ ist die Methode, solch ein formales Model in einem Computerprogramm zu implementieren und dann durch Versuche und Beobachtungen zu analysieren. In den meisten wissenschaftlichen Disziplinen der Natur- und Sozialwissenschaften gibt es inzwischen Methoden, die man als agenten-basierte Simulation bezeichnen kann.

Mit dem Begriff „agenten-basiert“ wird manchmal die Abgrenzung zu „aggregierten“ formalen Modellen gesucht. Ein typisches Beispiel ist die Abgrenzung gegen Modelle, die auf funktionalen Zusammenhängen zwischen makroökonomischen oder makrosoziologischen Größen beruhen, zum Beispiel der Art „Angebot und Nachfrage finden ein Gleichgewicht“ oder „die Scheidungsrate steigt mit zunehmender Erwerbsquote von Frauen“. Ziel solcher Modelle ist es, Gleichgewichtszustände zu charakterisieren, oder mittels Differential- oder Differenzengleichungen die Dynamik zu charakterisieren. Letzteres schließt oft ersteres mit ein und letzteres kann oft ein Mittel für ersteres sein (zum Beispiel durch Fixpunktiteration). Hergeleitet werden solche Modelle oft durch Verhal-

tensannahmen über einen oder sehr wenige „repräsentative Agenten“ (zum Beispiel über die Anreize, die Ehepartner haben, sich scheiden zu lassen). Ein Modell des repräsentativen Agenten ist ein einfacher (bzw. der pathologische) Spezialfall eines agenten-basierten Modells. Die Modellannahmen können auch auf Viel-Agenten-Modelle übertragen werden.

Man kann agenten-basierte Modelle von einem Modell in der Statistik als Grundlage eines Regressionsmodells abgrenzen. Das liegt nahe, da es in Studien, die mit schließender Statistik arbeiten, oft hauptsächlich darauf ankommt zu zeigen, dass es einen substantiellen und signifikanten Effekt von unabhängigen Variablen auf abhängige Variablen gibt, und nicht darauf, diese Abhängigkeit exakt und kausal zu beschreiben. Es wird eine möglichst passende Regression gewählt und anhand empirischer Daten quantifiziert, welche unabhängigen Variablen Einfluss haben und welche nicht. Eine das Individuum betreffende realistische Modellauswahl steht dabei häufig nicht im Vordergrund. Oft wird ein lineares Modell gewählt, was man zum Beispiel durch die Annahme rechtfertigt, dass sich das Modell in dem Bereich, der untersucht wird, annähernd linear verhält. Letztendlich quantifiziert man durch ein statistisches Modell aber meist auch ein Modell eines repräsentativen Agenten mit nicht erklärten und als zufällig aufgefassten Einflüssen. Das heißt, man kann auch ein statistisches Modell als ein agenten-basiertes auffassen. Die Fälle im Datensatz sind die Agenten und das Verhalten eines Agenten (die abhängige Variable) ergibt sich aus dem Einfluss der aktuellen unabhängigen Variablen und einem zusätzlichen zufälligen Einfluss (der statistische Fehler). Würden sich die unabhängigen Variablen ändern, würde sich auch die abhängige Variable ändern.

Manche Autoren grenzen sich mit der Benutzung von agenten-basierten Modellen gegen „theoretische“ (bzw. „gleichungsbasierte“) Modelle ab. Eine Sichtweise ist dabei manchmal, dass man durch die Benutzung eines agenten-basierten Modells darauf verzichte, Differential-Gleichungen aufzustellen und nach Gleichgewichten zu suchen, sondern stattdessen die „echte“ Dynamik der einzelnen Individuen direkt im Computer programmiere. Damit könne man Modelle realistischer analysieren, auch ohne die Suche nach Gleichgewichten. Diese Abgrenzung ist künstlich. Auch einem Computer-Programm liegt ein genau spezifiziertes formales Modell zugrunde, das letztlich mit exakten Berechnungsvorschriften arbeitet. Dementsprechend gibt es keinen Unterschied in der formalen Strenge der Modelle, sondern höchsten zwei Seiten derselben Medaille: Für ein als Computerprogramm spezifiziertes agenten-basiertes Modell kann man aggregierte Modelle ableiten, zum Beispiel mit Differential- oder Differenzengleichung für Mittelwerte oder Verteilungen gewisser Variablen.

Diese Gleichungen kann man dann analytisch oder nur numerisch berechnen. Dadurch lassen sich die in agenten-basierten Simulationen auftretenden Emergenzphänomene oft besser erklären und veranschaulichen. Aus einem Gleichungssystem wiederum lässt sich, wie schon erwähnt, oft ein Algorithmus für die Dynamik eines Systems mit vielen Agenten konzipieren. Solch ein Algorithmus kann als Beispiel dienen, um zu veranschaulichen, dass aggregierte Variablen des Viel-Agenten-Systems tatsächlich die gesamte Dynamik im Sinne eines repräsentativen Agenten beschreiben können.

Der Begriff „Modell“ in „agent-basiertes Modell“ ist also nicht fundamental anders als beim aggregierten, statistischen oder theoretischen Modell. Letztlich sind alles Modelle, also Abstraktionen der Realität. Die Grundlage aller genannten Ansätze ist, dass ein Modell genau formal beschrieben wird. Den genannten Modelltypen liegt kein unterschiedliches Verständnis von „Modell“ zugrunde, sondern es sind unterschiedliche Methoden, Modelle zu untersuchen: Empirisch mit Mitteln der Statistik und theoretisch mit Mitteln der Mathematik, dynamischer Systeme oder der Spieltheorie. Die agenten-basierte Simulation ist eine relativ neue Methode zur „spielerischen“ theoretischen Exploration von formalen Modellen. Obwohl die Methode einen spielerischen Charakter hat, kann sie systematisch angewandt werden. Bei der systematischen Anwendung kann es aber auch schnell passieren, dass theoretische oder „halb“-theoretische Methoden dann doch besser geeignet sind, die Essenz des beobachteten Phänomens zu beschreiben.

Meiner Ansicht nach entsteht der größte Erkenntnisgewinn oft gerade beim Übergang von einer Methode zur anderen. Die Forschungsmethode hat immer Auswirkungen auf die Auswahl des Gegenstandes, den sie untersucht. Die Methode der agenten-basierten Simulation eignet sich besonders,

- wenn ein formales Modell explorativ untersucht werden soll, um zum Beispiel im nächsten Schritt geeignete Modellvereinfachungen oder theoretische Erklärungen zu finden, wenn es um viele heterogene Agenten geht und ein repräsentativer Agent oder eine dichte-basierte Beschreibung von unendlich vielen Agenten nicht ausreicht, um das Phänomen zu charakterisieren,
- wenn es nicht nur um funktionale Zusammenhänge von Variablen geht (wie in statistischen Modellen), sondern auch um die Entwicklung von Variablen im Zeitverlauf durch Interaktion,
- wenn es darum geht, ein emergentes Phänomen auf der Makroebene aus der Interaktion der Agenten heraus zu erklären,

- eventuell sogar um Vorhersage-Modelle für die Wirklichkeit zu erstellen, wenn das Modell geeignet ist, mit realen Daten gefüttert zu werden, schnell genug berechnet werden kann und in der Praxis brauchbare Vorhersagen liefert.

6-Schritt Ablauf der Simulation agenten-basierter Modelle

Grundlage der Methode Computersimulation ist ein agenten-basiertes Modell. Man muss also erst das Modell exakt formuliert haben. Dann kommt die Implementation. In der Realität verläuft die Modellentwicklung, also die Definition des Modells, und die Modellanalyse, bzw. der Abgleich mit empirischen Daten oft parallel oder im Wechselspiel, eventuell sogar noch im Wechselspiel mit der Erhebung empirischer Daten, zum Beispiel durch Experimente.

Im Rahmen eines Modellentwicklungsprozesses kann man die Forschungsmethode „Simulation agenten-basierter Modelle“ in sechs typische Schritte aufteilen:

(1) *Agenten und Parameter.* Definieren der Agenten und ihrer dynamischen Variablen und statischen Parameter zur Beschreibung ihres Zustands. Beispiele für dynamische Variablen von Agenten in politikwissenschaftlichen Modellen sind: Die politische Position eines Akteurs, die Partei, für die sich ein Wähler entscheidet, oder die Unzufriedenheit eines Menschen in seinem politischen System. Beispiele für statische Parameter sind Variablen eines Agenten, die sich nicht ändern, aber für die Dynamik relevant sind. Das können demographische oder charakterliche Merkmale sein, wie das Alter, die Vertrauenswürdigkeit, ein spezieller Status oder ein Verhaltenstyp.

(2) *Verhaltensregeln.* Definieren von Regeln, nach denen sich der Zustand der Agenten ändert. Dabei spielen typischerweise die Werte von anderen Agenten eine Rolle. Die Regeln für die Veränderung werden in den Sozialwissenschaften oft aus klassischen Nutzenfunktionen abgeleitet. Sie können aber auch sozialpsychologischen Theorien entstammen. Oft spielt auch der Zufall eine Rolle: entweder direkt in der Art oder der Ausprägung von Veränderung oder bei der Auswahl von Informationen und Reizen, die ein Agent von anderen erhält. Eine Verhaltensregel kann zum Beispiel beschreiben, wie ein Agent zur Auswahl der Partei kommt, die er wählt, wie er seine Meinung ändert und unter welchen Bedingungen er entscheidet, gegen das politische System zu rebellieren.

(3) *Anfangskonstellation.* Festlegen von Anfangskonstellationen. Oft wird eine Anzahl von Agenten festgelegt, danach werden die Werte der statischen

Parameter und die Anfangswerte der dynamischen Parameter festgelegt – manchmal „von Hand“, manchmal aus empirischen Daten, aber oft zufällig aus zu spezifizierenden Verteilungen. Zum Beispiel werden die politischen Positionen der Wähler als zufällig gezogene Zahlen aus einer Normalverteilung gewählt. Dann werden für einige Parteien zufällige Anfangspositionen gewählt, damit es dann mit dem „Stimmenfang“ losgehen kann.

(4) *Simulationsablauf*. Implementieren eines Simulationsablaufs als Computerprogramm. Dabei macht man sich auch Gedanken darüber, wie die anfallenden Daten abgespeichert und visualisiert werden können. Besonders wünschenswert sind Visualisierungen, die sowohl die Dynamik einzelner Agenten nachvollziehbar machen, als auch emergente Phänomene auf der Makroebene. Die Grundlage der Visualisierung in der Programmierumgebung NetLogo¹ sind zum Beispiel eine Menge kleiner Dreiecke, die sich in einer zweidimensionalen Ebene bewegen, die aus einem Raster von „patches“ besteht.

(5) *Makrovariablen*. Definieren von aussagekräftigen Makrovariablen, um ein emergentes Phänomen zu beschreiben. Beispiele für Makrovariablen sind der Anteil der rebellierenden Menschen an der Gesamtbevölkerung oder die Stimmenanteile der Parteien nach einer Wahl.

(6) *Massensimulationen*. Aufsetzen von „Massensimulationen“, um den Einfluss von statischen Parametern auf Makrovariablen systematisch zu untersuchen. Man kann zum Beispiel jeweils 100 Simulationen mit verschiedenen Anfangskonstellationen bzgl. der statischen Parameter laufen lassen und dadurch die Verteilung einer Makrovariablen empirisch für die verschiedenen Konstellationen feststellen.

Im Verlauf dieses Beitrags werde ich sechs Modelle und agenten-basierte Simulationen nach dem beschriebenen 6-Schritt-Ablauf vorstellen: Die ersten beiden Modelle sind nicht sozialwissenschaftlich, sondern kommen aus der Teilchen-Physik (Magnetisierung), und der Verhaltensbiologie (Schwarmverhalten). Die letzten vier Beispiele kommen aus den Sozialwissenschaften und behandeln politikwissenschaftliche Themen: zwei Modelle beschreiben die Suche von Parteien nach Wählern und Unterstützern, die anderen beiden die Suche von Bürgern nach der Bestimmung ihrer politischen Meinung im Bezug zu den Meinungen von anderen. Die zwei nicht-sozialwissenschaftlichen Beispiele werden vorgestellt, um einerseits die Allgemeinheit des Ablaufs zu demonstrieren und um andererseits Analogien zu den sozialwissenschaftlichen Modellen aufzuzeigen. Die vier politikwissenschaftlichen Modelle zum Parteienwettbewerb und zur Meinungsdynamik wurden ausgewählt, weil es in allen

¹ <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/NetLogo>.

Modellen um Dynamik im politischen Raum geht und man sie deshalb gut miteinander vergleichen kann. Im Anschluss an die Darstellung der Modelle wird eine kurze Übersicht über andere agenten-basierte Modelle aus der Politikwissenschaft gegeben.

In den Beispielen wird Wert auf die Schilderung des Ablaufs gelegt und nicht auf die Begründung für einzelne Modellentscheidungen. Beim Verständnis der Schilderung von Studien mit agenten-basierten Simulationen stößt man oft auf die Schwierigkeit, dass die Beschreibung des Algorithmus vermischt ist mit Begründungen für einzelne Modellierungsentscheidungen. Eine weitere Problematik ist, dass Teile eines Algorithmus häufig in einer bildlichen Sprache beschrieben werden, damit der Leser schneller die Idee verstehen kann. Der Nachteil daran ist, dass man diese Schilderungen leicht mit Begründungen für die Modellauswahl verwechseln kann.² Der Leser hat also das genaue Verständnis des Ablaufs, die bildhafte Erläuterung und Begründungen für die Modellannahmen gleichzeitig sowohl auseinander zu halten aber auch in ihrer Gesamtheit zu verstehen.

Bei den Beispielen in diesem Beitrag verzichte ich darauf, Begründungen für die verschiedenen Modelle in die Schilderung des Ablaufs einzubauen. Ich versuche, den genauen Ablauf möglichst klar und in aller Kürze wiederzugeben. Das führt dazu, dass keine ganz exakte Rekonstruktion des Algorithmus aus meinen Schilderungen möglich ist. Ich versuche eine bildliche Sprache, die allerdings möglichst nah an einer formal korrekten Beschreibung liegt. Für die formal exakte Beschreibung muss man allerdings die einzelnen Studien direkt lesen.³

² Beispiel zur HUNTER-Strategie in Laver (2005) (siehe Beispiel 4): Wenn geschildert wird, dass eine formal definierte Such-Strategie Wähler „jagt“, dann ist das nicht zu verwechseln mit einer inhaltlichen Aussage über das Verhalten von echten Parteien. Der Vergleich drängt sich zwar wahrscheinlich auf und ist oft auch so gemeint, aber „jagen“ ist keine inhaltliche Modellannahme. Es macht keinen Sinn, das Modell des Autors über den Bedeutungsumfang des Begriffs „jagen“ zu kritisieren, sondern nur über die wirklich definierten formalen Abläufe. Eine Kritik am Begriff „jagen“ ist aber durchaus berechtigt, als Kritik an der Benennung, wenn sie irreführend ist.

³ Allerdings leisten manche Studien eine formal exakte Darstellung des Ablaufs in ihrem Text nicht vollständig. Das muss aber meiner Ansicht nach immer Ziel einer Simulationsstudie sein, auch wenn es schwierig ist, einen didaktisch für eine breite Zielgruppe angenehm aufzunehmenden Text inklusive vollständiger Modellspezifikation gut zu strukturieren. Zur endgültigen Klarstellung, was genau implementiert ist, ist es zusätzlich unerlässlich, den Code der Implementation selbst mit der Studie zu veröffentlichen (in welcher Programmierungsumgebung auch immer, siehe dazu auch Barnes (2010)).

Agenten-basierte Simulation in Teilchen-Physik und Verhaltensbiologie

In diesem Abschnitt werden zwei naturwissenschaftliche Beispiele vorgestellt. Die Magnetisierung bzw. Entmagnetisierung eines Metalls bei unterschiedlichen Temperaturen als Teilchen-basiertes Modell und ein Individuum-basiertes Modell eines Fischeschwarms. Als Überleitung zu den politikwissenschaftlichen Modellen gehe ich auf typische Unterschiede ein, wenn sozialwissenschaftliche anstatt naturwissenschaftlicher Systeme modelliert werden.

Beispiel 1: Magnetisierung

Warum geht die magnetische Eigenschaft eines Metalls oberhalb einer kritischen Temperatur plötzlich verloren? (nach stochastischem Ising-Modell, skizziert nach Liggett (1985))

(1) *Agenten und Parameter.* Gehen wir davon aus, dass die Atome (Agenten) eines Festkörpers in einem starren Gitter angeordnet sind. Jedes Atom bleibt an seinem Platz und hat somit also eine gleich bleibende Nachbarschaft von Atomen. Jedes Atom muss stets in einem von zwei Zuständen sein. Nennen wir die Zustände „Up“-Spin und „Down“-Spin. Der Festkörper ist magnetisch, wenn alle Spins gleich sind. Der Spin ist die dynamische Variable der Agenten. Als statischer Parameter sei die Temperatur relevant.

(2) *Verhaltensregeln.* Die Regel für die Änderung des Zustands ist: Ein Atom ändert seinen Spin per Zufall, aber die Wahrscheinlichkeit, in den Up-Zustand zu gehen, steigt mit dem Anteil der Atome im Up-Zustand in der Nachbarschaft. (Analog für den Down-Zustand.) Der statische Parameter Temperatur beeinflusst die Zufälligkeit der Änderungen: Bei niedrigen Temperaturen spielt der Zufall eine sehr unbedeutende Rolle. Sind also die meisten Nachbarn „Down“, dann geht das Atom sehr sicher in den Down-Zustand. Bei hohen Temperaturen, ist die Zufälligkeit höher. Sind die meisten Nachbarn „Down“, gibt es also eine nicht zu vernachlässigende Wahrscheinlichkeit trotzdem zum Up-Zustand zu wechseln.

(3) *Anfangskonstellation.* Stellen wir uns vor, dass der Anfangs-Spin von jedem Atom durch einen Münzwurf bestimmt wird.

(4) *Simulationsablauf.* Beginnend mit der Anfangskonstellation wird ein Atom zufällig ausgewählt und wechselt seinen Spin mit der durch die Nachbarschaft und die Temperatur gegebenen Wahrscheinlichkeiten. Dieser Vorgang wird wiederholt.

(5) *Makrovariablen.* Als Makro-Variable wird die Magnetisierung definiert. Sie ist maximal, wenn alle Atome im gleichen Zustand sind und minimal wenn es genau gleich viele Up- und Down-Atome gibt.

(6) *Massensimulationen.* Für verschiedene Temperaturwerte werden mehrere Simulationsläufe berechnet bis sich im Zeitverlauf der Wert der Magnetisierung stabilisiert hat. Über mehrere Simulationsabläufe kann man die durchschnittliche Magnetisierung bestimmen, sowie eine Verteilung des stabilisierten Wertes der Magnetisierung bei gleicher Temperatur.

Ergebnisse. Bei niedriger Temperatur stellt sich eine hohe Magnetisierung ein, weil sich schnell ein Spin durchsetzt. Liegt die Temperatur oberhalb einer kritischen Temperatur, ist der zufällige Einfluss so stark, dass sich keine Magnetisierung einstellt. Ist die Temperatur nahe dem kritischen Wert, können kleine Fluktuationen große Veränderungen auslösen: Ein magnetisierter Körper kann für längere Zeit aus dem Gleichgewicht geraten und sich zum Beispiel danach im anderen Spin stabilisieren. Mit dem Modell kann erklärt werden, dass viele Metalle ihre magnetischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen plötzlich verlieren. Die Magnetisierung ist somit ein emergentes Phänomen der dynamischen Regeln.

Anmerkungen. Die kritische Temperatur lässt sich auch ohne Simulation bestimmen, zum Beispiel durch eine Molekularfeldnäherung. Die agentenbasierte Simulation wird aber auch häufig in der Physik (unter dem Namen „Monte-Carlo Methode“) verwendet um zu überprüfen, ob die Ergebnisse theoretischer Ableitung auch „in echt“ eintreffen, da die theoretischen Herleitungen oft vereinfachende Annahmen benutzen. Den spontanen Übergang von Magnetisierung zu Entmagnetisierung an der kritischen Temperatur bezeichnet man als Phasenübergang. Der Körper geht von der nichtmagnetischen Phase in die magnetische über. Liggett (1985) beschreibt eine Klasse ähnlicher Modelle von interagierende Teilchen die zwischen zwei Zuständen nach unterschiedlichen Regeln hin und her wechseln. Eine Klasse dieser Modelle heißt „voter models“. Der Name zeigt schon auf, dass sich Analogien zu sozialen und politischen Systemen aufdrängen: die Emergenz der Magnetisierung erinnert an eine Gesellschaft von Menschen (anstatt Atomen), die sich nach Turbulenzen in einem Gleichgewichtszustand von Einmütigkeit befindet, ohne dass es zu einer zentral gesteuerten Entscheidung gekommen ist. Der Phasenübergang zu einem dauerhaft nicht magnetischen (ungeordneten) Zustand durch Überschreiten der kritischen Temperatur findet seine Analogie im spontanen Entstehen von Unruhen. Nach einer „Unruhe“ durch kurzfristige Anhebung der Temperatur ist es zum

Beispiel möglich, dass sich das System nach dem Absinken der Temperatur im genau anderen Zustand (zum Beispiel „Up“ anstatt „Down“) magnetisiert.

Beispiel 2: Schwarmverhalten

Wieso bewegt sich ein Schwarm wie ein einzelner Organismus, obwohl kein Leittier zu erkennen ist? Wie kann die Entstehung von verschiedenen Schwarmtypen erklärt werden? (skizziert nach Reynolds (1987) und Couzin et al. (2002))

(1) *Agenten und Parameter.* Die Fische (Agenten) in einem Schwarm befinden sich im Wasser in einem Raum mit drei Dimensionen, in denen sie sich bewegen können. Ihr Zustand wird durch einen Positionsvektor und einen Richtungsvektor (mit Einheitslänge) bestimmt. Statische Parameter sind die Radien von drei Zonen um jeden einzelnen Fisch: eine kleine Abstoßungszone, eine größere Angleichungszone und eine noch größere Anziehungszone.

(2) *Verhaltensregeln.* Jeder Fisch ist in der Lage, Position und Richtung von benachbarten Fischen wahrzunehmen und passt seinen eigenen Richtungsvektor aufgrund von Informationen über die Fische in seine Nähe an. Sind Fische in seiner Abstoßungszone, möchte der Fisch sich von ihnen entfernen (keine Zusammenstöße!). Sind keine Fische in seiner Abstoßungszone, möchte er seine Richtung mit Fischen in der darum herum liegenden Angleichungszone angleichen. Auf Fische in der weiteren Anziehungszone möchte er sich zu bewegen. Aus den Informationen über die Fische in diesen zwei Zonen kann der Fisch zwei mögliche neue Wunschrichtungen bestimmen, eine zum Angleichen und eine zum Annähern ans Zentrum der Gruppe. Daraus wiederum berechnet er eine Richtung, die er gerne einschlagen will. Die Spezifikation der genauen Regeln übersteigt den Umfang eines kleinen Beispiels.

(3) *Anfangskonstellation.* Man kann nun die Anfangskonstellation eines Fischschwarms erzeugen, indem man eine beliebige Anzahl Fische mit zufälligen Positionen und zufälligen Richtungen erstellt (zum Beispiel gleichverteilt in einer Kugel um den Ursprung). Wird die Größe der Abstoßungszone als Einheitsgröße festgelegt, bleiben als freie statische Parameter die Größen der Angleichungszone und die Größe der Anziehungszone.

(4) *Simulationsablauf.* In der Computersimulation muss man nun immer abwechselnd für alle Fische neue Positionen aus den alten Positionen und den Richtungsvektoren berechnen und die Richtungsvektoren aufgrund der Verhaltensregeln anpassen.

(5) *Makrovariablen.* Man kann die Makrovariablen „Gruppengleichrichtung“ und „Gruppendrehmoment“ definieren und zu jedem Zeitpunkt für den Schwarm berechnen.

(6) *Massensimulationen.* Für die Größen der Angleichungs- und Anziehungszonen wird ein zwei-dimensionales Raster gebildet. Für jeden Punkt in diesem Raster wird eine genügend große Anzahl von Simulationsläufen berechnet, jeweils bis sich die Werte für Gruppengleichrichtung und Gruppendrehmoment stabilisieren.

Ergebnisse. Bei einer kleinen Angleichungszone und einer kleinen Anziehungszone entsteht kein zusammenhängender Schwarm. Bei einer größeren Anziehungszone, aber kleinerer Angleichungszone entsteht ein zusammenhängender Schwarm im Sinne eines Bienenschwarms, in dem die Fische niemals alle in die gleiche Richtung schwimmen. Ist die Angleichungszone groß genug, entsteht ein Schwarm, der sich bis auf kleinere Fluktuationen gleichmäßig in eine Richtung bewegt. Für eine mittelgroße Angleichungszone und eine genügend große Anziehungszone gibt es eine interessante Phase, in der sich die Fische in einem Torus bewegen. Das heißt, sie schwimmen alle hintereinander her in einem Ring. Dieses Verhalten kann auch in der Realität beobachtet werden.

Anmerkungen. Es ist vorstellbar, dass sich die Größen der Radien der Zonen bei den Fischen durch aktuelle Umwelteinflüsse wie zum Beispiel Gefahr verändern. Dadurch kann der Fischschwarm eventuell schnell ein für die Mehrzahl der Fische günstiges Verhalten adaptieren, ohne dass es eines Bestimmer-Fisches bedarf. Die kollektive Bewegung ist ein emergentes Phänomen von recht einfachen Regeln, die nur lokale Informationen benutzen. Dieses faszinierende Phänomen hat die Idee inspiriert, dass auch Systeme mit vielen Menschen von der „Schwarmintelligenz“ profitieren können. Ähnliche Modelle werden auch in der Simulation von menschlichen Fußgängerströmen benutzt.

Für die Teilchen in der Physik und die Fische im Schwarm werden stochastische oder deterministische Verhaltensregeln angenommen, das heißt Teilchen und Fische reagieren automatisch auf die aktuellen Umweltreize (vor allem auf die ihrer Nachbarn). Kann man so auch in den Sozialwissenschaften modellieren, wo doch Menschen über einen freien Willen oder intelligente und rationale Problemlösungsmethoden verfügen? Ich denke, es spricht nichts dagegen. Sofern wir annehmen, dass Menschen in Entscheidungssituation auch tatsächlich irgendetwas entscheiden oder etwas tun, können wir versuchen es zu modellieren. Die Entscheidungstheorie (siehe Myerson (1991), Kapitel 1) beruht auf der Annahme der freien Wahlmöglichkeit aus einer Menge möglicher Alternativen, aus denen Agenten durch Maximierung des erwarteten Nutzen auswählen. Die-

ses Prinzip lässt sich bei der Definition von Verhaltensregeln in den Ablauf der Forschungsmethode aufnehmen. Der rationale und intelligente Agent wie in der Spieltheorie definiert (Myerson (1991), S. 2–4), hat also auch seinen Platz in agenten-basierten Modellen.

Das Erkenntnisinteresse der spieltheoretischen Analyse ist oft das Charakterisieren von Gleichgewichtslösungen. Im Gegensatz dazu hat man bei agenten-basierten Modellen oft ein Interesse, die Dynamik der Interaktionen vor dem Erreichen eines Gleichgewichtszustands zu beobachten und zu verstehen. Viele Autoren, die agenten-basierte Simulationen verwenden, betonen allerdings, dass Menschen nur eingeschränkt rational handeln, und gründen das implementierte Interaktionsverhalten auf einfachen Verhaltensheuristiken. Dafür gibt es im Wesentlichen drei gute Gründe:

- Das individuelle deterministische Optimierungsproblem eines Agenten zur Maximierung seines Nutzens ist mathematisch so komplex und die Lösung so aufwendig, dass es nicht mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen (Zeit, Geld, Rechenpower) gelöst werden kann. Stattdessen werden erfahrungsgeleitete Suchheuristiken verwendet, die die Suche nach dem Maximum bei einem „zufriedenstellenden“ Ergebnis beenden.
- Die individuelle Einschätzung des Zustands der Welt ist so stark von fehlenden Informationen und Unsicherheit geprägt, dass der rationale Ansatz zur Problemlösung sehr komplex und zeitaufwendig ist: Die Einschätzung von sehr vielen Wahrscheinlichkeitsverteilungen ist nötig.⁴
- Bei den Agenten in der modellierten Situation handelt es sich gar nicht um intelligente rationale Problemlöser sondern vielmehr um Organismen, die einem Reiz-Reaktionsschema folgen. Es gibt also gar keine Nutzenfunktion zu zukünftigen Ergebnissen, sondern genetisch oder kulturell programmierte Verhaltensregeln aufgrund aktueller Reize, zum Beispiel durch Emotionen.

Die Politikwissenschaft kann von Modellen der Physik und der Verhaltensbiologie lernen, dass interessante Phänomene auf der Makroebene ihre Ursache in lokalen Interaktionen von einfachen Regeln haben können. Für plötzliche Aufstände oder Schwarmverhalten braucht es nicht unbedingt eine zentrale Steue-

⁴ Myersons Prozedur (Myerson (1991), S. 13-14) zeigt auf, dass man zur Ermittlung von Nutzenfunktionen und subjektiven Wahrscheinlichkeiten nur endliche viele Fragen im Sinne von „Willst du lieber A, wenn es so ist, oder B wenn es anders ist?“ an einen Agenten benötigt. Das gilt zumindest, wenn es nur endlich viele Zustände der Welt und endlich viele Alternativen gibt. Aber auch endlich viele Fragen können zu viele sein.

Jahrbuch für Handlungs- und Entscheidungstheorie

Band 7: Experiment und Simulation

Bräuninger, Th.; Bächtiger, A.; Shikano, S. (Hrsg.)

2012, X, 185 S. 13 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-531-19605-3