

Ben Jann und Debra Hevenstone

In der empirischen Sozialforschung befasst man sich mit gesellschaftlichen Phänomenen. Es geht darum, wie soziale Akteure durch ihren gesellschaftlichen Kontext beeinflusst werden und wie die Gesellschaft durch das interdependente, individuelle Handeln ihrer Mitglieder geformt wird. Einerseits wirken also gesellschaftliche Strukturen und Institutionen auf die Deutungen und Handlungsweisen der Gesellschaftsmitglieder, andererseits ergeben sich gesellschaftliche Tatbestände letztlich immer aus dem Zusammenspiel der Handlungen von Individuen. Ein einfaches Beispiel ist etwa eine Reform der Regulierung von Kinderbetreuungsmöglichkeiten, die sich auf das Fertilitätsverhalten der Gesellschaftsmitglieder auswirkt, was Folgen für die demographische Entwicklung der Gesellschaft hat und unter Umständen den Kreis durch weiteren Reformbedarf von Kinderbetreuungsmöglichkeiten schließt. Insgesamt erscheinen Gesellschaften somit als komplexe, dynamische Systeme, in denen die Merkmale und Akteure unterschiedlicher konzeptioneller Ebenen in Wechselbeziehung zueinander stehen, was die Erklärung und Vorhersage gesellschaftlicher Prozesse und Entwicklungen vor große Herausforderungen stellt.

Ein hilfreiches Werkzeug, um sich dieser Herausforderungen anzunehmen, ist die Methode der Simulation. Unter einer *Simulation* wird eine modellhafte Imitation eines realen Systems verstanden, die dazu dient, das Verständnis der komplexen Systemprozesse zu verbessern, zu untersuchen, wie sich das dynamische System über die Zeit verändert, sowie zukünftige Zustände des Systems vorherzusagen. Für die empirische Forschung sind Simulationen von Bedeutung, da sie einerseits dazu dienen, Hypothesen über empirische Regularitäten herzuleiten oder deren Plausibilität zu prüfen. Andererseits lassen sich mit Simulationen ausgehend von empirischen Daten und Erkenntnissen über Wirkungsmechanismen Prognosen und Szenarien zukünftiger Entwicklungen erstellen.

14.1 System Dynamics

Abstrakte, dynamische Systeme können beispielsweise anhand von mathematischen Gleichungen modelliert werden (sog. Differenzialgleichungen), die die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Systemvariablen beschreiben. Eine erste Gleichung könnte etwa beschreiben, wie sich das reproduktive Verhalten ändert, wenn zusätzliche Krippenplätze geschaffen werden. Eine zweite Gleichung könnte fassen, wie das Angebot an Krippenplätzen von der Fertilitätsrate abhängt. Das Ziel ist dann zu ermitteln, wie sich das Betreuungsangebot und die Fertilitätsrate ausgehend von einer anfänglichen Veränderung der Anzahl Krippenplätze über die Zeit entwickeln.

Eine Art von Simulation, die direkt bei solchen Differenzialgleichungssystemen ansetzt, wird mit dem Begriff *System Dynamics* bezeichnet (Forester 1971). Bei System Dynamics wird die Gesellschaft oder ein anderes System durch deterministische, jedoch zirkuläre und ineinander verzahnte Beziehungen zwischen Systemvariablen modelliert. Durch die Zirkularität der Beziehungen entstehen Feedbackschlaufen, die ein solches System analytisch unlösbar machen. Die Systemprozesse können jedoch durch numerische Methoden untersucht werden – das heißt, indem die Variablenwerte ausgehend von einem Anfangszustand gemäß den durch die Differenzialgleichungen unterstellten Zusammenhängen sequenziell fortgeschrieben werden. Das prominenteste Beispiel von System Dynamics ist die Studie zu den „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome (Meadows 1972), die in den 1970er-Jahren große Wellen schlug. Anhand einer Simulation der Interaktion zwischen Wachstum und Umweltressourcen sagte die Studie der Zivilisation den baldigen Kollaps vorher, sofern keine einschneidenden Maßnahmen bezüglich Bevölkerungswachstum und Konsum bzw. Umweltverschmutzung getroffen werden. Wichtige Variablen des in der Studie modellierten Weltsystems sind die

1. Produktion von Nahrungsmitteln als Funktion von verfügbarem Land und Düngemitteln,
2. die industrielle Produktion (z. B. von Düngemitteln),
3. die Bevölkerungsgröße und ihr Wachstum aufgrund der durch den verfügbaren Bestand an Nahrungsmitteln beeinflussten Geburten- und Sterberaten,
4. die durch die Produktion verursachte Umweltverschmutzung, sowie
5. die Ausbeutung nicht-erneuerbarer Ressourcen.

Ausgehend von unterschiedlichen Annahmen insbesondere über den Bestand an natürlichen Ressourcen wurden verschiedene Szenarien zur Vorhersage der Entwicklung des Systems berechnet. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass ohne einschneidende Maßnahmen im Verlauf des 21. Jahrhunderts die Grenzen des Wachstums von Bevölkerung und industrieller Produktion erreicht werden und es danach aufgrund übermäßiger Umweltverschmutzung und der Erschöpfung natürlicher Ressourcen

zu einem Systemzusammenbruch mit starkem Rückgang von Bevölkerung und Produktion kommen wird.

14.2 Mikrosimulation

An System Dynamics kann kritisiert werden, dass es sich um einen Ansatz handelt, bei dem Beziehungen zwischen Variablen auf der Makroebene (z. B. Bevölkerungsgröße, Geburtenrate, Ausmaß an industrieller Produktion) modelliert werden, ohne jedoch genauer auf die hinter diesen Beziehungen stehenden Mikroprozesse (z. B. das Handeln von Personen und Unternehmen) einzugehen. Ein solcher Ansatz ist begrenzt, da eine realistische Beschreibung von Zusammenhängen auf der Makroebene sehr schnell kompliziert werden kann und viele Annahmen benötigt werden. Anstatt sich auf Zusammenhänge zwischen Makrovariablen zu konzentrieren, die mit Hilfe von Annahmen in Form von Differenzialgleichungen festgelegt werden müssen, kann man jedoch auch versuchen, ein System aufgrund individueller Handlungen auf der Mikroebene zu modellieren. Eine Art von Simulation, die dieser Logik folgt, ist die so genannte *Mikrosimulation* (Caldwell 1997).

Mikrosimulationen werden zumeist für demographische Projektionen verwendet. Als Ausgangspunkt dienen dabei empirische Informationen zu Bevölkerungsstand und -struktur sowie die altersabhängigen Fertilitäts-, Sterbe- und ggf. Migrationswahrscheinlichkeiten. Je nach Anwendung werden zudem weitere empirische Informationen einbezogen, z. B. zum Heirats- und Scheidungsverhalten oder der Abhängigkeit der Fertilität von Bildung und Einkommen. In einem ersten Schritt wird eine virtuelle Population von Individuen erzeugt, welche die empirisch festgestellte Bevölkerungsstruktur widerspiegelt. Die Individuen werden dann einer schrittweisen Alterung unterzogen, das heißt, das Alter der Individuen wird zum Beispiel auf Monats- oder Jahresbasis fortgeschrieben. In jedem Alterungsschritt können dabei entsprechend empirisch gemessener oder theoretisch festgelegter altersspezifischer Wahrscheinlichkeiten Ereignisse wie Geburten, Eheschließungen oder Todesfälle auftreten. Durch diese Ereignisse verändert sich die Population, die dann wiederum den Ausgangspunkt für den nächsten Alterungsschritt bildet. Über kürzere Zeiträume lassen sich so relativ zuverlässige Vorhersagen über die Entwicklung der Bevölkerungsgröße und -struktur treffen. Bei längeren Zeiträumen werden die Vorhersagen zunehmend ungenau, da in der Regel nicht davon ausgegangen werden kann, dass die altersspezifischen Ereigniswahrscheinlichkeiten konstant bleiben. Üblicherweise werden deshalb verschiedene Prognoseszenarien mit unterschiedlichen Annahmen über die Entwicklung von Ereigniswahrscheinlichkeiten (zum Beispiel der altersspezifischen Fertilität) erstellt.

14.3 Agentenbasierte Modellierung

Während System Dynamics und klassische Mikrosimulationen ihren Fokus hauptsächlich auf möglichst realistischen Vorhersagen zukünftiger Gesellschaftszustände haben, geht es bei der heute in den Sozialwissenschaften bedeutendsten Spielart von Simulation, der *agentenbasierten Modellierung* (kurz ABM für *Agent Based Model*), stärker um eine grundlegende theoretische Analyse von gesellschaftlichen Prozessen. Wie bei der klassischen Mikrosimulation handelt es sich bei der agentenbasierten Modellierung um einen Ansatz mit individuellen Akteuren, die Akteure stehen hier jedoch in dynamischer Interaktion zueinander. Das heißt, die agentenbasierte Modellierung ist eine „bottom-up“ Strategie zur Simulation der Interaktionen von autonomen, heterogenen und unter Umständen lernfähigen Agenten. Die Interaktionen der Agenten generieren dabei eine Makroumgebung, die sich kontinuierlich verändert und auf die künftigen Handlungen der Agenten zurückwirkt (Gilbert 2008, Macy/Willer 2002).

Agentenbasierte Modelle schließen eine wichtige Lücke in der sozialwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, was sich an James S. Colemans „Badewanne“ (*Coleman's „boat“*) erläutern lässt. Coleman unterscheidet die *Makroebene* der Gesellschaft und die *Mikroebene* der Individuen innerhalb der Gesellschaft. Anhand von Webers Studie zur protestantischen Ethik und dem Geist des Kapitalismus führt Coleman (1990: 6–9) aus, wie sich der Makro-Zusammenhang zwischen der religiösen Doktrin und der ökonomischen Organisation einer Gesellschaft über den Rückgriff auf die Mikroebene erklären lässt. Demnach generiere erstens die protestantische religiöse Doktrin gewisse Werthaltungen bei den Gesellschaftsmitgliedern wie Antitraditionalismus und Verpflichtung gegenüber der Berufung (Makro-Mikro-Beziehung). Zweitens führen diese Werthaltungen zu gewissen ökonomischen Verhaltensweisen wie Fleiß, Gewinnstreben und innerweltlicher Askese (Mikro-Mikro-Beziehung). Drittens ergibt sich aus dem Zusammenspiel dieser ökonomischen Verhaltensweisen eine kapitalistische Organisation der Gesellschaft (Mikro-Makro-Beziehung).

Der Vorteil einer solchen Argumentationskette via der Mikroebene ist, dass der Mechanismus, nach dem protestantische religiöse Doktrin zu Kapitalismus führen soll, explizit gemacht wird, was verschiedene Ansatzpunkte für eine aussagekräftige empirische Prüfung des Zusammenhangs liefert. Kontexteffekte (Makro-Mikro-Beziehungen) und Handlungstheorien (Mikro-Mikro-Beziehungen) werden traditionellerweise mit statistischen Methoden anhand von Beobachtungs- und Befragungsdaten analysiert. Weiterhin kommen experimentelle Methoden (Labor- sowie auch Feldexperimente) zum Einsatz, aufgrund derer sich valide Aussagen über die Kausalstruktur gefundener Zusammenhänge treffen lassen. In traditionellen Ansätzen weitgehend unberücksichtigt bleibt hingegen häufig das letzte Glied der Argumentationskette, der Mikro-Makro-Link. Dies liegt einerseits daran, dass oft zumindest implizit davon ausgegangen wird, die Mikro-Makro-Beziehung lasse sich durch eine einfache Aggregationsregel beschreiben. Andererseits erweisen sich klassische Methoden für

die Analyse von Mikro-Makro-Beziehungen oft als ungeeignet, da sie keine Möglichkeit vorsehen, die Dynamik der Aggregation abzubilden (wobei geeignet gestaltete Experimente hier eine Ausnahme bilden können).

Beim Übergang von individuellem Handeln auf der Mikroebene zu einem gesellschaftlichen Phänomen auf der Makroebene handelt es sich in den meisten Fällen nicht um eine lineare, unidirektionale Beziehung. Vielmehr spielt sich ein dynamischer Prozess ab, bei dem sich die Akteure in ihrem Handeln gegenseitig beeinflussen. Das heißt, durch ihr Handeln verändern die Akteure laufend ihre lokale Umwelt, was sich auf das Handeln weiterer Akteure und auf die eigenen zukünftigen Handlungen auswirkt. Es entstehen so Kettenreaktionen, Feedback-Schleifen und Kaskadeneffekte, die eine Vorhersage der Veränderungen auf der Makroebene erschweren. Man spricht in diesem Zusammenhang von *emergenten* Phänomenen, also eigenständigen Makrophänomenen, die keine direkte Entsprechung in den Eigenschaften der Mikroelemente haben.

Um die Komplexität des Übergangs von der Mikro- zur Makroebene zu illustrieren, beschreibt Reynolds (1987; vgl. auch Macy/Willer 2002) das Beispiel eines Vogelschwarms. Die einzelnen Vögel verhalten sich in ihrem Flug gemäß einiger höchst einfacher Regeln (Wahrung eines Mindestabstands zu den anderen Vögeln, Übernahme der Geschwindigkeit und Flugrichtung der umliegenden Vögel, Vermeidung peripherer Positionen) und doch ergibt sich aus diesen simplen und gut vorhersagbaren individuellen Verhaltensregeln ein höchst dynamisches, auf globaler Ebene äußerst schwierig zu modellierendes Flugmuster des ganzen Schwarms. Während eine direkte Vorhersage des Schwarmverhaltens fast unmöglich ist, lassen sich durch Simulation einer Gruppe individueller Vögel mit den genannten Verhaltensregeln jedoch höchst realistische Resultate erzielen. Dabei werden ausgehend von einer Ausgangskonfiguration die Fluggeschwindigkeiten und Flugrichtungen der einzelnen Vögel schrittweise aufeinander angepasst. Die komplexe Dynamik entsteht dadurch, dass die Vögel durch ihre individuellen Verhaltensänderungen laufend ihre gegenseitigen lokalen Umgebungen beeinflussen, so dass sich Kettenreaktionen ergeben.

Auch wenn ein Vogelschwarm nur bedingt mit einer menschlichen Gesellschaft verglichen werden kann, so funktioniert letztere doch häufig nach ähnlichen grundlegenden Prinzipien. Das heißt, aufgrund relativ einfacher Verhaltensmuster der einzelnen Menschen können sich höchst komplexe Phänomene auf gesellschaftlicher Ebene ergeben. Ein wichtiges Ziel der Sozialwissenschaften ist es zu versuchen, solche Phänomene zu verstehen, und das Zusammenspiel von Mikro- und Makroebenen in einer dynamischen und nicht-deterministischen, probabilistischen Umwelt zu entschlüsseln. Simulationen, insbesondere in Form von agentenbasierten Modellierungen, sind ein geeignetes Werkzeug zur Erreichung dieses Ziels. Sie werden eingesetzt, um eine Vielzahl makrostruktureller Phänomene zu studieren, wie etwa die Entstehung von Normen und sozialer Ordnung, die Evolution von Kooperation, die Entwicklung von Preisen, die Evolution von Gemeindegrenzen oder die Entstehung und Auflösung von Verkehrsstaus, um nur einige Beispiele zu nennen.

Agentenbasierte Simulationsmodelle werden grundsätzlich zu drei verschiedenen Zwecken eingesetzt. Erstens können ABM verwendet werden, um theoretische Erklärungen für gesellschaftliche Phänomene zu suchen (Epstein 2007). Es wird dabei geprüft, ob ein bestimmter Mechanismus in der Lage ist, ein empirisch beobachtetes Phänomen wie zum Beispiel soziale Kooperation oder Segregation zu erzeugen. Ein positives Ergebnis – wenn sich also das empirische Phänomen durch die einfachen Annahmen des Simulationsmodells generieren lässt – beweist allerdings nicht, dass die angenommenen Wirkungsmechanismen tatsächlich für das in der Realität beobachtete Phänomen verantwortlich sind. Die Simulation zeigt lediglich auf, was potenzielle Erklärungen sein könnten. In diesem Sinne ist agentenbasierte Modellierung ein Mittel zur sozialwissenschaftlichen Theoriebildung.

Ein zweiter wichtiger Anwendungsbereich liegt in der Durchführung von Simulationsexperimenten (*in silico experiments*), also in der Generierung hypothetischer Szenarien durch gezielte Variation verschiedener Elemente des Simulationsmodells (Cederman 1996). Eine solche Anwendung erfolgt in der Regel erst auf einer zweiten Stufe der Modellentwicklung, nachdem gezeigt wurde, dass sich mit den Annahmen, die dem Modell zugrunde liegen, realistische Makrophänomene erzeugen lassen. An diesem Punkt der Modellentwicklung, wird eine hypothetische Veränderung in das Modell eingeführt, um seine Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse zu beobachten. Dies kann beispielsweise ein Weg sein, um die Wirkung vorgeschlagener politischer Interventionen abzuschätzen und – immer im Rahmen der getroffenen Modellannahmen – optimale Lösungen für bestimmte Probleme zu finden.

Ein dritter Verwendungszweck liegt in der realistischen Modellierung von Phänomenen in Korrespondenz mit empirischen Daten. Empirische Informationen können einerseits zur Festlegung der Anfangsverteilungen von Merkmalen und Methoden der Agenten verwendet werden. Andererseits lassen sich empirische Daten zur Validierung von Modellergebnissen und in der Folge zur Kalibrierung der Modellparameter nutzen. Wenn die Dynamik von Mikro-Makro-Prozessen hingegen bereits sehr gut verstanden wird, kann sich die Anwendungslogik von agentenbasierten Modellen auch umdrehen. Simulationen lassen sich dann ähnlich wie herkömmliche statistische Verfahren nutzen, um die Beiträge verschiedener Mechanismen zur Erzeugung beobachteter empirischer Phänomene zu bestimmen. Ein Beispiel für eine solche Anwendung ist im Bereich der Analyse dynamischer Netzwerke zu finden (Baur, Kapitel 99 in diesem Band), wo allgemeine Simulationssoftware zur Abbildung typischer Netzwerkprozesse existiert (Snijders et al. 2010). Die Werte der Parameter der Simulation, die etwas über die relative Bedeutung verschiedener Mechanismen aussagen, werden dabei schrittweise so lange angepasst, bis die Simulationsergebnisse möglichst gut mit den Beobachtungsdaten übereinstimmen. Die am weitesten fortgeschrittenen Beispiele für die Integration von Daten und Simulation findet man indes in Modellierungen wie „Urbansim“ (Waddell 2002, 2011), die multiple Mikro-Makro-Szenarien zu einer Simulation vereinen (z. B. Raumplanung und Verkehr) und eine ganze Reihe von Ergebnisvariablen projizieren und mit empirischen Daten

abgleichen (bei „Urbansim“ sind das etwa städtebaulich relevante Indikatoren wie Ansiedlungsmuster oder Verkehrsströme von Pendlern).

14.4 Funktionsweise

Einige Hauptmerkmale von agentenbasierten Modellen sind wie folgt:

1. Ein ABM baut in der Regel auf einer einzigen, grundlegenden Ebene von unabhängigen Mikroagenten auf (wobei allerdings auch erweiterte Modelle mit zusätzlichen Agenten auf höheren Ebenen möglich sind), die per Zufall oder nach vorgegebenem Muster in einem virtuellen Raum platziert werden (im einfachsten Fall auf einem regelmäßigen Gitter; die Topologie des virtuellen Raumes – also die Konfiguration der Beziehungen der Agenten zueinander – kann sich jedoch auch erst aus dem Handeln der Agenten ergeben).
2. Die Mikroagenten haben Eigenschaften (Merkmale oder Variablen) und Methoden oder Strategien (Regeln, die ihr Verhalten bestimmen).
3. Die Eigenschaften der Agenten sind i. d. R. heterogen, das heißt, die Agenten unterscheiden sich in ihren Merkmalen voneinander. Gleichzeitig werden typischerweise relativ sparsame, von der Wirklichkeit abstrahierende Methoden bzw. Verhaltensregeln verwendet, um das Modell handhabbar zu halten.
4. Die Agenten werden in ihrem Verhalten durch den Kontext beeinflusst, wobei sie üblicherweise nur über begrenzte Information verfügen und sich so in einer Art „lokalen“ Umwelt bewegen. Diese lokalen Umwelten ergeben sich beispielsweise über soziale Netzwerke oder räumliche Nähe (bzw. allgemein aus der unter Punkt 1 angesprochenen Topologie des virtuellen Raums).
5. Die Methoden der Agenten oder allgemeiner die Prozesse, nach denen die Agenten miteinander interagieren, sind probabilistisch, enthalten also Zufallselemente, so dass es sich bei einem ABM um eine stochastische Form von Simulation handelt.
6. Manche agentenbasierte Modelle sind durch „adaptive“ Agenten gekennzeichnet. Das heißt, die Agenten können ihre Merkmale und/oder Methoden aufgrund erhaltener Rückmeldungen aus der lokalen Umwelt anpassen. Solche Anpassungen können entweder durch Lernen oder durch evolutionäre Prozesse stattfinden. Ein Spezialfall davon sind Simulationsmodelle, in denen die Verteilungen von Eigenschaften der Agenten mit Hilfe genetischer Algorithmen verändert werden.

Den Ablauf einer agentenbasierten Simulation kann man sich etwa wie folgt vorstellen: In einem ersten Schritt wird das System initialisiert, das heißt, die Agenten werden nach bestimmten Verteilungen generiert und im virtuellen Raum platziert. Danach wird die Simulation in Gang gesetzt. Über eine bestimmte Anzahl Runden (die sich üblicherweise danach richtet, wie lange es dauert, bis die Simulation einen

gewissen Gleichgewichtszustand erreicht) wird das Modell mit seinen Agenten, Regeln und Eigenschaften fortgeschrieben, wobei den Agenten in jeder Runde die Möglichkeit gegeben wird, sequenziell in einer vorgegebenen oder zufälligen Reihenfolge Handlungen zu vollziehen oder ihre Merkmale und Methoden anzupassen (je nach Simulation können zudem Agenten dazu kommen oder wegfallen). Der Zustand des Systems wird in jeder Runde (oder zu bestimmten Abständen) erfasst, was Daten produziert, die später analysiert werden können. Sofern es sich um eine stochastische Simulation handelt, ist es sinnvoll, einen solchen Simulationslauf mit gleichen Anfangsbedingungen mehrmals zu wiederholen. Weiterhin werden häufig mehrere Simulationsläufe mit variierenden Anfangsbedingungen durchgeführt, um die Abhängigkeit der Simulationsergebnisse von den Anfangsbedingungen zu untersuchen.

Agentenbasierte Modelle sind somit weder strikt deduktiv noch rein induktiv. Ein deduktives Vorgehen beginnt mit einem Satz expliziter Annahmen und leitet dann mit Hilfe logischer Argumentation Schlussfolgerungen aus diesen Annahmen ab. Bei einem induktiven Verfahren trifft man hingegen generalisierende Aussagen aufgrund von empirischen Beobachtungen. Ähnlich wie die deduktive Logik fußt ein ABM auf einem Satz grundlegender Annahmen. Diese Annahmen betreffen die Verhaltens- und Interaktionsregeln sowie die Verteilungen der Merkmale der Agenten. Die durch die Simulation generierten Daten werden jedoch ähnlich wie Daten von einem wissenschaftlichen Experiment oder einer Bevölkerungsbefragung induktiv analysiert. Das heißt, mit Hilfe induktiver, statistischer Methoden werden aus den durch die Simulation erzeugten Daten verallgemeinernde Rückschlüsse über die aus den Annahmen folgenden Phänomene gezogen.

14.5 Beispiele

Agentenbasierte Modelle werden in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt wie zum Beispiel der Stadtplanung, der Biologie, der Epidemiologie oder den Ingenieurwissenschaften. Anwendungen beziehen sich etwa auf die Untersuchung von Zersiedelungsprozessen und Verkehrsströmen, die Diffusion von Tuberkulose-Ansteckungen oder die optimale Gestaltung von Energieversorgungsnetzen. In den Sozialwissenschaften finden sich ABMs bislang vor allem in der Soziologie, Ökonomie und Politikwissenschaft, wobei vielfältige Themen wie etwa die Dynamik von Meinungsbildung, die Diffusion von Innovationen, das Sexual- und Heiratsverhalten, politische Wettbewerbsprozesse, Preisbildungsmechanismen oder Finanzmarktdynamiken untersucht wurden. Wir beschränken uns hier auf die Präsentation von drei klassischen Beispielen.

Eine der bekanntesten sozialwissenschaftlichen Anwendungen ist Schellings (1971) Modell der Segregation. Dieses einfache Modell, das man gut auch ohne Computer auf einem Schachbrett durchspielen kann, zeigte, dass auch dann eine stark segregierte Gesellschaft entstehen kann, wenn die Gesellschaftsmitglieder nur mode-

rate Integrationstendenzen haben. Das Modell funktioniert wie folgt (Schelling 1971): Man nehme ein Schachbrett und eine Handvoll kupferfarbener 5-Cent- und goldfarbener 10-Cent-Münzen. Die 5-Cent- und 10-Cent-Münzen repräsentieren zwei unterschiedliche soziale Gruppen, zum Beispiel zwei Ethnien. Die Münzen werden nun per Zufall auf dem Schachbrett verteilt (wobei pro Feld nur eine Münze erlaubt ist und einige Felder frei bleiben sollen). Der Reihe nach (z. B. nach Zufall oder festgelegtem Muster) wird dann für jede Münze bestimmt, ob sie „zufrieden“ ist mit ihrer unmittelbaren Nachbarschaft (die acht umliegenden Felder). Eine Münze ist beispielsweise zufrieden, wenn mehr als ein Drittel der maximal acht Nachbarn die gleiche Farbe haben wie sie selbst (z. B. mindestens drei von acht Nachbarn oder mindestens zwei von fünf Nachbarn). Wird dieser Wert unterschritten, ist die Münze unzufrieden und zieht zum nächstgelegenen Feld mit einer zufriedenstellenden Nachbarschaft um. Dieser Prozess wird so lange wiederholt, bis keine Münze mehr umziehen möchte (oder bis das System ein dynamisches Gleichgewicht annimmt). Auch bei relativ moderaten Präferenzen (z. B. mehr als ein Drittel der Eigengruppe in der Nachbarschaft) zeigt sich, dass in den meisten Fällen nach Abschluss der Simulation ein Ergebnis vorliegt, bei dem die 5-Cent- und 10-Cent-Münzen räumlich stark segregiert sind. Das heißt, es bilden sich Klumpen von 5-Cent- und 10-Cent-Münzen, so dass der Anteil der Eigengruppe in der Nachbarschaft für die meisten Münzen deutlich höher liegt, als man aufgrund der moderaten Präferenz erwarten würde. Der Grund für die starke Segregation im Schelling-Modell liegt an den Kettenreaktionen, die durch die Umzüge der einzelnen Münzen ausgelöst werden. Zieht eine Münze nämlich in ein anderes Feld, so verändern sich die Umgebungen der alten und neuen Nachbarn, die dadurch u. U. selbst unzufrieden werden und ebenfalls umziehen, was sich wiederum auf deren Nachbarn auswirkt, usw.

Weiter wurden agentenbasierte Modelle u. a. verwendet, um die Evolution ganzer Ökonomien zu erklären. Sehr bekannt ist beispielsweise Epstein/Axtells (1996) Sugarscape-Simulation, einem ursprünglich einfachen Modell des Wettstreits von Agenten um knappe Ressourcen (Zucker). Die Sugarscape-Simulation wurde in der Folge schrittweise ausgebaut, um eine Vielzahl von Phänomenen wie Tausch, kriegerische Auseinandersetzungen, Handel oder die Übertragung von Krankheiten zu untersuchen. Die heute wahrscheinlich häufigsten Anwendungen von agentenbasierten Modellen in der Ökonomie beziehen sich auf Preisbildungsmechanismen und Finanzmärkte.

Viel Aufmerksamkeit erhalten hat ferner die spieltheoretische Untersuchung von Axelrod (1984) zum Erfolg verschiedener Strategien in einem iterierten Gefangenendilemma. Ein Gefangenendilemma beschreibt eine Entscheidungssituation, in der zwei Akteure entweder kooperieren oder defektieren können. Für beide Akteure ist es individuell rational zu defektieren, durch gegenseitige Kooperation könnte jedoch ein besseres Ergebnis erreicht werden. Ein iteriertes Gefangenendilemma ist ein Gefangenendilemma, das zwischen den gleichen Akteuren wiederholt gespielt wird. In Computerturnieren ließ Axelrod verschiedene Strategien gegeneinander an-

treten, die sich von Runde zu Runde in Abhängigkeit ihres Erfolgs vermehren konnten. Als erfolgreichste Strategie stellte sich die berühmte Tit-for-Tat-Strategie heraus – eine freundliche und kooperative Strategie, die immer mit Kooperation beginnt und kooperatives Verhalten mit eigener Kooperation belohnt, die sich jedoch nicht ausnutzen lässt, da sie unkooperatives Verhalten immer mit Defektion bestraft. Die Simulationen von Axelrod zeigten, dass Kooperation in einem iterierten Gefangenendilemma möglich ist, und haben ein breites Forschungsprogramm zur Evolution von Kooperation hervorgerufen.

14.6 Fazit

Wie man an den aufgeführten Beispielen erkennen kann, handelt es sich bei der Simulation – insbesondere in Form der agentenbasierten Modellierung – um eine Methode mit viel Potenzial in diversen Forschungsbereichen. Eine große Herausforderung für Simulationsmethoden liegt allerdings in der Sicherstellung der Zugänglichkeit und Replizierbarkeit der Ergebnisse. Simulationen benötigen i. d. R. einen spezifischen Computercode und können häufig nicht mit einem einfachen, standardisierten Werkzeug umgesetzt werden. Einerseits besteht dadurch die Gefahr, dass sich Programmierfehler einschleichen, die die Resultate verfälschen. Andererseits wird für Simulationsprojekte hochspezialisiertes Personal benötigt, das sich nicht nur im entsprechenden inhaltlichen Fachbereich auskennt, sondern auch hohe computer-technische Fähigkeiten mitbringt. Neuere Entwicklungen weisen darauf hin, dass die Probleme der Standardisierung und Replizierbarkeit zumindest teilweise überwunden werden können, da es zwischen den Simulationsmodellen durchaus viele Gemeinsamkeiten gibt, die sich geeignet verallgemeinern und in Form von vorgefertigter Software bereitstellen lassen.

Ferner gibt es verschiedene Einführungen und Referenzwerke, an denen man sich orientieren kann. Einen Einstieg bieten etwa Bruch/Atwell (2015), Gilbert (2008), Gilbert/Troitzsch (2005), Epstein (2007) oder Miller/Page (2007). Zur technischen Umsetzung von Simulationen stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung. Im Allgemeinen lassen sich Simulationen in beliebigen objektorientierten Programmiersprachen realisieren (z. B. Java, Python, MATLAB oder R). Zumindest für den Einstieg kann es jedoch sinnvoll sein, auf vorprogrammierte Simulationsumgebungen wie NetLogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>), Swarm (<http://savannah.nongnu.org/projects/swarm>), RePast (<http://repast.sourceforge.net/>) oder Manson (<http://www.cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>) zurückzugreifen.

Literatur

- Axelrod, Robert (1984): *The Evolution of Cooperation*. New York: Basic Books
- Bruch, Elizabeth/Atwell, Jon (2015): Agent-Based Models in Empirical Social Research. In: *Sociological Methods & Research* 44: 186–221
- Cederman, Lars Eric (1996): Rerunning History: Counterfactual Simulation in World Politics. In: Tetlock, Philip E./Belkin, Aaron (Hg.): *Counterfactual Thought Experiments in World Politics*. Princeton: Princeton University Press, 247–267
- Caldwell, Steven B. (1997): *Dynamic Microsimulation and the Corsim 3.0 Model*. Ithaca, NY: Strategic Forecasting
- Coleman, James S. (1990): *Foundations of Social Theory*. Cambridge, MA: Harvard University Press
- Epstein, Joshua M. (2007): *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton, N. J.: Princeton University Press
- Epstein, Joshua M./Axtell, Robert (1996): *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Washington, DC: Brookings Institution Press
- Forester, Jay W. (1971): *World Dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press
- Gilbert, Nigel (2008): *Agent-Based Models*. Thousand Oaks, CA: Sage
- Gilbert, Nigel/Troitzsch, Klaus G. (2005): *Simulation for the Social Scientist*. Second Edition. Berkshire: Open University Press
- Macy, Michael W./Willer, Robert (2002): From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. In: *Annual Review of Sociology* 28: 143–166
- Meadows, Dennis (1972): *Die Grenzen des Wachstums*. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt
- Miller, John H./Page, Scott E. (2007): *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton, N. J.: Princeton University Press
- Reynolds, Craig (1987): Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. In: *Computer Graphics* 21: 25–34
- Schelling, Thomas C. (1971): Dynamic Models of Segregation. In: *Journal of Mathematical Sociology* 1: 143–186
- Snijders, Tom A. B./Steglich, Christian E. G./van de Bunt, Gerhard G. (2010): Introduction to Actor-Based Models for Network Dynamics. In: *Social Networks* 32: 44–60
- Waddell, Paul (2002): UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning. In: *Journal of the American Planning Association* 68: 297–314
- Waddell, Paul (2011): Integrated Land Use and Transportation Planning and Modeling: Addressing Challenges in Research and Practice. *Transport Reviews* 31: 209–229

Debra Hevenstone ist Dozentin für Sozialarbeit an der Berner Fachhochschule. *Ausgewählte Publikationen:* Flexicurity, Happiness and Satisfaction, in: International Journal of Sociology 41, 3 (2011); National Context and Atypical Employment, in: International Sociology 25, 3 (2010); Employment Intermediaries: A Model of Firm Incentives, in: The Journal of Mathematical Sociology 33, 1 (2009). *Webseiten:* <https://www.soziale-arbeit.bfh.ch/>. *Kontaktadresse:* debra.hevenstone@bfh.ch.

Ben Jann ist Professor für Soziologie, insbesondere Sozialstrukturanalyse, an der Universität Bern. *Ausgewählte Publikationen:* Reputation Formation and the Evolution of Cooperation in Anonymous Online Markets, in: ASR 79, 1 (gemeinsam mit Andreas Diekmann, Wojtek Przepiorka und Stefan Wehrli, 2014); Asking Sensitive Questions Using the Crosswise Model. An Experimental Survey Measuring Plagiarism, in: Public Opinion Quarterly 71 (2012); Erwerbsarbeit, Einkommen und Geschlecht. Studien zum Schweizer Arbeitsmarkt. Wiesbaden: VS-Verlag (2008). *Webseiten:* <http://www.soz.unibe.ch/>. *Kontaktadresse:* ben.jann@unibe.ch.