

Simulation als Experiment in den Sozialwissenschaften

Wolfgang Balzer, Universität München (LMU)
balzer@lrz.uni-muenchen.de

Einleitung

Die Methode der Computersimulation ist auch in den Sozialwissenschaften angekommen. In den letzten 25 Jahren gab es mehrere beispielhafte Anwendungen von Simulationen in den Sozialwissenschaften, wie z.B. (Schelling, 1971), (Axelrod, 1984). Auch erste allgemeinere Ansätze wurden formuliert, wie z.B. (Gilbert und Troitzsch, 2005), (Balzer, Brendel, Hofmann, 2010). Neben den ethischen und ökonomischen Problemen, die die Sozialwissenschaften plagen, gibt es auch ein rein wissenschaftliches Problem, welches in anderen Disziplinen nicht so stark ausgeprägt ist. Dieses Problem lässt sich im Allgemeinen wie folgt formulieren. Die Daten für eine soziale Theorie lassen sich schwer sammeln und ordnen; es gibt einfach zu viele davon. Wie sollen wir sie in eine Ordnung bringen?

In diesem Beitrag möchten wir erstens dieses Problem wissenschaftlich klar formulieren, zweitens eine neue Methode vorstellen, mit der man das Problem angehen kann, und drittens den Anlaß für diesen Beitrag erwähnen. Das Philosophische Department der Universität von Athen ist eines der wenigen Departments, welches neben dem *Kerngeschäft* auch die Philosophie in Aristotelischer, griechischer Art betreibt. In diesem Department werden auch andere Disziplinen philosophisch durchdacht, unter anderen: die Sozialwissenschaften. Professor Anapolitanos, dem dieser Band gewidmet ist, hat gebührenden Anteil an dieser Entwicklung.

Wir benutzen hier den Rahmen der strukturalistischen Wissenschaftstheorie (Balzer, Moulines, Sneed, 1987), (Diederich, Ibarra, Mormann, 1989, 1994), auch wenn unsere Überlegungen informal beschrieben sind.

1 Theorien und Theorien-Netze

Die mengentheoretischen Details der einschlägigen Definitionen lassen sich in der wissenschaftlichen Literatur an vielen Stellen finden, z.B. in (Balzer, Moulines, Sneed, 1987), (Balzer, 1985) und (Balzer, Lauth, Zoubek, 1994). Eine *empirische Theorie* T besteht aus dem *Kern* K von T , dem *Approximationsapparat* A und aus der *Menge* I der *intendierten Systeme* (oder

intendierten Anwendungen) für T . Der Kern K besteht – unter anderem – aus einer Klasse M von Modellen und einer Menge L von Querverbindungen (in Englisch: *links*).

Jedes Modell x von M hat die Form

$$x = \langle D_1, \dots, D_m, A_1, \dots, A_l, R_1, \dots, R_n \rangle,$$

wobei D_1, \dots, D_m die *Basismengen von x* , A_1, \dots, A_l die *Hilfsbasismengen*, und R_1, \dots, R_n die *Relationen von x* sind. Jede Relation R_i hat einen speziellen *Typ*, so dass R_i mengentheoretisch aus Elementen der Basis- und Hilfsbasismengen konstruiert werden kann.

Drei Arten von Relationen werden unterschieden, nämlich *Konstante*, *Funktionen* und *echte Relationen* (welche weder Konstante noch Funktionen sind). In einem Modell gibt es daher fünf Arten von Mengen, die wir im Allgemeinen als *Komponenten* des Modells bezeichnen. Jedes Modell muss mindestens eine Basismenge und eine Relation enthalten. In empirischen Theorien finden wir in einem Modell normalerweise alle fünf Arten: Basismengen, Hilfsbasismengen, Konstante, Funktionen und Relationen.

In einer Theorie sind die Komponenten eines Modells durch mengentheoretisch beschriebene Sätze zusammengebunden. Zwei Arten von solchen Sätzen werden unterschieden: *Hypothesen* und *Daten*. Eine Hypothese enthält normalerweise mindestens zwei Relationen, Funktionen, oder Konstanten. Ein Datum dagegen lässt sich durch eine einzige Bezeichnung für eine Relation (oder Funktion, oder Konstante) und durch einige spezielle „Konstanten“ beschreiben, welche wie normale Namen für Objekte (d.h. Elemente aus Basismengen) benutzt werden.

Ein intendiertes System y für ein Theorie „ist“ erstens eine Substruktur der Struktur des Modells x : $y \sqsubseteq x$ und hat zweitens eine spezielle Eigenschaft, welche sich *nicht* formal beschreiben lässt. Ein intendiertes System „ist“ ein wirkliches (reales, „materielles“) System, welches durch eine Gruppe von WissenschaftlerInnen mit einem speziellen Begriffsapparat wahrgenommen wird. Die Gruppe hat diesen Begriffsapparat internalisiert und sie hat die Intention (Absicht, Einstellung), dieses System zu untersuchen. Ein intendiertes System lässt sich ohne große Mühe in eine Menge von Daten transformieren. In dieser Weise können wir ein intendiertes System als eine *endliche* Menge von Daten betrachten.

Im strukturalistischen Ansatz lässt sich eine Theorie nicht mit einer Mengen von Sätzen identifizieren. Aber *die empirische Behauptung* einer Theorie lässt sich durch einen komplexen Satz ausdrücken, welcher besagt, dass die Menge der intendierten Systeme in den Kern der Theorie eingebettet werden kann. Mengentheoretisch *ist* die Menge der intendierten Systeme ein Element einer Menge, die sich aus dem Kern explizit definieren lässt. Relativ zu einem einzigen, intendierten System können wir diese Einbettungsrelation in folgender Weise ausdrücken: das intendierte System ist eine Teilstruktur eines Modells der Theorie. Für empirische Theorien muss

dieser logische Begriff der Einbettung verallgemeinert werden. Die Daten, die aus einem intendierten System stammen, können inkonsistent sein. Ein Einbettung wird dann nur möglich, wenn jeweils ein einziges Modell durch eine Menge von *potentiellen Modellen* ersetzt wird. In dieser Weise wird das intendierte System nicht in ein echtes Modell, sondern „nur“ in ein potentielles Modell eingebettet, welches einem echten Modell ähnlich ist. Anders gesagt, werden die Daten aus einem intendierten System in eine Umgebung eines echten Modells eingebettet. Für die Daten wird ein potentielles Modell gesucht, welches in der Umgebung eines echten Modells liegt. Die Daten werden in dieser Form nur *approximativ* in ein Modell eingebettet. Bei diesem allgemeineren Begriff werden statistische Methoden benutzt, die oft komplex aber gut bekannt sind.

Zwischen verschiedenen Theorien gibt es Querverbindungen (links). Eine Querverbindung wird normalerweise durch Paare von (potentiellen) Modellen beschrieben, die aus den zugehörigen Theorien stammen. Für eine gegebene Theorie können verschiedene Querverbindungen zu anderen Theorien existieren. In dieser Weise kommen wir zu *Theoriennetzen* und Netzen von Modellen.

Unter den Modellen gibt es spezielle Modelle, die wir *Messmodelle* nennen. Wenn bei einem Paar von Modellen aus einer Querverbindung die erste Komponente nicht nur ein Modell, sondern auch ein Messmodell ist, wird eine solche Querverbindung als eine *bestimmende* Querverbindung (determining link) bezeichnet. Eine bestimmende Querverbindung hat die Funktion, Daten aus einer intendierten Anwendung einer Theorie T_1 zu einer anderen Theorie T_2 zu transportieren. Diese spezielle Funktion hat vielfältige Anwendungen in den wissenschaftlichen Netzen, z.B. in Bayesianischen Netzen.

2 Theorien in den Sozialwissenschaften

Theorien aus den Sozialwissenschaften unterscheiden sich von Theorien anderer Disziplinen in mehreren Aspekten. Erstens enthält ein Modell in den Sozialwissenschaften normalerweise eine Basismenge, deren Elemente natürliche Personen (oder Mengen von solchen) sind. Neben den natürlichen Personen können in einem Modell auch juristische Personen auftreten – dies ist aber nicht zwingend erforderlich.

Zweitens gehören in einem Modell zu einer natürlichen Person normalerweise Überzeugungen, Intentions, Wünsche und Emotionen. Diese komplexen Entitäten werden in vielen Modellen einfach unterdrückt. Ohne diese Komponenten wird ein solches Modell sehr idealisiert dargestellt. Viele Aspekte und Eigenschaften, die in der Realität zu finden sind und auch bei Untersuchungen relevant sein können, werden in solchen Hypothesen

einer Theorie nicht zur Sprache gebracht.

Die wichtigen Relationen eines Modells betreffen drittens normalerweise Beziehungen zwischen natürlichen Personen. Oft werden diese Beziehungen durch Wörter ausgedrückt, die auch in den natürlichen Sprachen verwendet werden. Zum Beispiel werden in Netzmodellen Verben, wie z.B. *mögen*, als Grundrelationen verwendet, oder Substantive wie *Status* und *Prestige* (Burt, 1982).

Viertens werden die intendierten Systeme in den Sozialwissenschaften gröber oder qualitativer dargestellt als intendierte Systeme aus den Naturwissenschaften. Der Hauptgrund für diesen Unterschied kommt von der Komplexität der Objekte in den Modellen. Ein Objekt der Form „natürliche Person“ lässt sich natürlich in kleinerer Teile zerlegen und analysieren, wie dies auch in den Naturwissenschaften geschieht. Aber die „Einzelteile“ einer Person stammen aus vielen verschiedenen Dimensionen und Disziplinen. In den Naturwissenschaften ist dies einfacher. Dort lassen sich die Bestandteile eines Objekts in wenigen Dimensionen darstellen. Zum Beispiel lassen sich in der Astronomie die großen Objekte mit wenigen Grundbeziehungen (z.B. „Kräften“) in Raum und Zeit beschreiben.

Fünftens führt das wahrscheinlichkeitstheoretische Weltbild in den Sozialwissenschaften zu größeren Problemen als in der Naturwissenschaft. In der „klassischen“ Periode der Naturwissenschaften liessen sich die Hypothesen deterministisch darstellen. Von einer Ursache liess sich eindeutig zu einer Wirkung schliessen. Heute ist der Zufall schon in der Quantenmechanik vorhanden (z.B. β -Zerfall). Die Untersuchungen, in denen der Zufall eine Rolle spielt, werden heute durch statistische Methoden in klarer Weise beschrieben, sie sind aber oft nicht einfach zu verstehen. Bei statistischen Anwendungen führt dies in den Sozialwissenschaften zu zusätzlichen Problemen. Dort greifen oft in einer Anwendung viele Dimensionen ineinander, so dass Ursachen und Wirkungen schwer zu bestimmen sind. Zum Beispiel kommt man mit Regressionsanalyse oft den Ursachen nicht auf die Spur.

Sechstens ist der Begriff der Messung in den Sozialwissenschaften schwieriger zu handhaben als in den Naturwissenschaften. Die Messung eines geometrischen Abstandes in der Physik ist einfach im Vergleich zu der Bestimmung („Messung“) der Dissonanz von kognitiven Elementen von Personen (Festinger, 1957). In den Naturwissenschaften lassen sich oft Experimente durchführen, mit denen bestimmte Messungen erzwungen werden. Solche Experimente sind bei einem sozialen System kaum möglich. In der Mechanik wird ein Teilchen auf die schiefe Ebene gelegt; das Teilchen wird dann rollen. Ein Experiment zur Bestimmung einer Dissonanz dagegen erfordert viel Aufwand, ohne dass dies zu einer klaren Größe führt, die gemessen wird.

In den „experimentellen“ Anwendungen in den Sozialwissenschaften spielen siebte Umfragen eine Hauptrolle. Diese „Messmethoden“ haben aber ein Problem, welches bis jetzt werden geklärt noch ausführlich dis-

kutiert wird. Dieses Messproblem entsteht, wenn in einer Anwendung in einer Hypothese ein Grundbegriff verwendet wird, welcher in einer Umfrage durch andere Umschreibungen dargestellt wird. An dieser Stelle kommt eine Ableitung nicht weiter, siehe z.B. (Balzer, 2009, 3.6).

All dies führt in Anwendungen zu praktischen Problemen. Bei Umfragen oder ähnlichen Methoden braucht man eine große Menge von Daten, um statistisch relevante Aussagen zu bekommen. Dies geht aber oft einfach aus praktischen Gründen nicht: es gibt keine Mittel oder das gerade aktive Moralsystem verhindert eine Anwendung. Um eine Hypothese statistisch mit den Daten aus einer intendierten Anwendungen zur Passung zu bringen, müssten viele Daten erhoben werden, was aber aus praktischen Gründen nicht möglich ist. Daher macht es Sinn, mehr Arbeit in die Hypothesen und Modelle zu investieren. Statt den Schwerpunkt der Arbeit auf die Daten zu legen, werden viele Hypothesen „durchdacht“ und miteinander verglichen. In dieser Weise werden die wenigen, zur Verfügung stehenden Daten mit vielen verschiedenen Modellen verglichen. Und wenn dies sinnvoll ist, wird eine neue Methode der Einbettung der Daten in Modelle verwendet, die wir nun beschreiben.

3 Modelle, Messmodelle, Querverbindungen

Spezielle Modelle (für eine Theorie), die wir hier *Messmodelle* nennen, werden zu dem einzigen Zweck konstruiert, eine spezielle Komponente (oder ein Teil dieser Komponente) aus einem Modell genauer zu bestimmen oder zu messen. Auf die vielen, verschiedenen Messmethoden brauchen wir hier nicht genauer einzugehen (Krantz et al., 1971), (Balzer, 1985).

Im allgemeinen sind für uns hier folgende Punkte wichtig. Erstens hat ein Messmodell denselben Typ wie ein Modell. Der Typ eines Messmodells lässt sich daher immer einer bestimmten Theorie zuordnen, die im speziellen Fall einfach eine Meßtheorie sein kann. Unabhängig davon, kann ein Messmodell auch in einer *Querverbindung* zu einer anderen Theorie stehen. Ausgehend von einem Messmodell nennen wir eine solche Querverbindung eine *bestimmende Querverbindung (determining link)*. Wenn eine bestimmende Querverbindung besteht, kann das Messmodell aus dieser Querverbindung für eine Messung für ein Modell einer anderen Theorie eingesetzt werden. Von einem Messmodell kann es auch mehrere bestimmende Querverbindungen zu verschiedenen Theorien geben.

Zweitens lassen sich zwei mengentheoretisch disjunkte „Teile“ aus einem Messmodell abgrenzen. Den ersten Teil nennen wir die *Berechnungsbasis* und den zweiten das *Endresultat* des Messmodells.

Drittens – und zentral – ist das Endresultat in einem Messmodell *eindeutig bestimmt* durch die Berechnungsbasis und die Hypothesen, die das

Messmodell charakterisieren. Wenn Eindeutigkeit nicht vorliegt, lässt sich bei Theorien, die Zahlen wesentlich benutzen, die Eindeutigkeit oft durch Bildung von Äquivalenzklassen erreichen. In einfachen Fällen lassen sich die Teile eines Messmodells wie folgt abgrenzen. In einem ersten Fall ist das Endresultat identisch mit einer Komponente des Modells und die Berechnungsbasis mit einer Unterstruktur des Modells, die diese Komponente nicht enthält. Das Endresultat wird durch die Hypothesen der Theorie, in der das Messmodell beheimatet ist und durch die restlichen Komponenten des Modells eindeutig bestimmt. In einem zweiten Fall gibt es eine Komponente aus dem Messmodell, welche die Form einer Funktion hat, und das Endresultat die Form eines Funktionswertes dieser Funktion. Die Berechnungsbasis enthält Teile dieser Funktion und kann auch andere Teile von anderen Komponenten enthalten.

Viertens wird bei fast allen Theorien – jedenfalls bei allen empirischen Theorien – die Idealform der Eindeutigkeit nur in zwei Stufen erreicht. Zunächst wird geprüft, ob das Endresultat durch die (oder eine) Berechnungsbasis überhaupt entstehen kann. Im zweiten Schritt ausgehend von der Berechnungsbasis wird ein Spielraum von verschiedenen, möglichen Endresultaten untersucht. Die ideale Eindeutigkeitsbedingung liegt nur vor, wenn es bei einem Messmodell ein einziges, logisch mögliches Endresultat geben kann. In den empirischen Theorien ist diese ideale Form fast nie zu finden. In diesen Theorien werden statistischen Abschätzungen gemacht, die allerdings oft völlig präzise formuliert werden können. So lässt sich, ausgehend von der Berechnungsbasis eine Menge von möglichen Endresultaten eingrenzen. Oft wird auch die Berechnungsbasis in dieser Weise variiert.

Fünftens wird die Eindeutigkeit oft nur durch theoretische Umwege erreicht. Die Berechnungsbasis des Messmodells wird aus einer Berechnungsbasis eines anderen Modells einer anderen Theorie abgeleitet. Oft werden dazu mehrere Theorien verwendet (Schurz, 2013), (Heinrich, 1998). Die Berechnung eines Endresultats erfolgt in solchen Fällen durch *Meßketten* (Balzer, 1985, Kap. IV). Das Endresultat wird quasi induktiv aus einer Sequenz von Berechnungsbasen konstruiert, wobei diese Basen aus baumartig angeordneten Messmodellen stammen. Ein Ast aus einem solchen „Baum“ ist eine Meßkette. In einem ersten Messmodell einer Meßkette wird das zugehörige Endresultat an das „nächste“ Messmodell der Kette übergeben. Dieses Resultat und eventuell andere, die von anderen Meßketten kommen, bilden einen Teil der Berechnungsbasis des „nächsten“ Messmodells. In dieser Weise wird schließlich der gesuchte Meßwert im Endknoten des Baumes, im höchst gelegenen Messmodell berechnet. Normalerweise werden in einem Anfangsmodell einer Meßkette Einheiten benutzt. Eine solche Einheit gehört zu einer Größe (einer Funktion),¹ die in der Berechnungs-

¹In der Physik z.B. gehört die Längeneinheit *Meter* zur Abstandsfunktion.

basis des Messmodells zu finden ist.

Sechstens schließlich kommen wir auf einen Punkt, der nicht durch formale Methoden allein beschrieben werden kann. Kurz gesagt, geht es um die Frage, wie abhängig die Anwendung eines Messmodells und die Eindeutigkeit des Endresultats von den Aktivitäten der Personen sind – abgesehen natürlich von den „direkten“ Beobachtungen, die durch die Personen in diesen Anwendungen gemacht werden. Diese Aktivitäten – außer den Beobachtungen – nennen wir *Interventionen*. In einer Anwendung können die Experimentatoren bei einem Messmodell mehr oder weniger intervenieren. In der Naturwissenschaft gibt es Experimente, in denen die Intervention in bestimmten Anwendungsbereichen klein gehalten werden können. Zum Beispiel stellt sich die Abweichung eines Lichtstrahls im Michelson-Morley Experiment ein, ob Menschen diese Abweichung beobachten oder nicht. Andererseits gibt es auch in der Physik Experimente, in denen Interventionen möglich sind. Ob in der Quantenmechanik ein Stern-Gerlach Versuch ohne Beobachter genauso verläuft wie mit Beobachter, wird oft diskutiert. In den Sozialwissenschaften gilt dieser Punkt in viel stärkerer Weise. Insbesondere findet in der Soziologie bei einem Messmodell eine Intervention statt, wenn das Messmodell auf eine ganze Gesellschaft angewandt wird, in der auch die WissenschaftlerInnen leben.

Mit den Messmodelle lässt sich eine Brücke zwischen den Hypothesen und den Daten für eine Theorie bauen. Die Hypothesen sollten möglichst gut zu den Daten passen und umgekehrt. Passung entsteht, wenn sich die Hypothesen durch die Daten bestätigen lassen. Hier kommt ein zentraler Punkt ins Spiel. Einerseits gibt es eine Menge von schon vorhandenen, „irgendwie“ produzierten oder erhobenen Daten für ein gegebenes System. Andererseits gibt es eine Menge von *möglichen Daten*, die in dem System gemessen werden *könnten*. Zum Beispiel gibt es in einem Gravitationsmodell eine unendliche Menge von möglichen Orten eines Teilchens. Es werden aber nur endliche viele – normalerweise wenige – Orte untersucht, an denen sich das Teilchen zu bestimmten Zeiten befindet. Bei neueren Theorien werden die Daten oft nicht direkt beobachtet, sondern durch Meßketten von anderen Daten von anderen Theorien abgeleitet. Bei dieser Figur erweitert sich die Menge der möglichen Daten.

Bevor es die Methode der Computersimulation gab, wurde eine Theorie in zwei Richtungen weiterentwickelt. Erstens wurden für gegebene Hypothesen weitere, „neue“ Daten gefunden oder produziert. Zweitens werden für gegebene Daten andere Hypothesen verwendet, um den Bereich passender zu beschreiben. Dies führt zu einer historischen Dynamik, bei der zuerst Zeit für die Beobachtung und Produktion von neuen, „passenden“ Daten aufgewendet wird und dann, wenn dies nichts mehr fruchtet, eine neue Menge von Hypothesen ins Spiel gebracht wird. Diese Dynamik oszilliert zwischen diesen beiden Polen hin und her.

In manchen Disziplinen sind die Hypothesen wichtiger, in anderen die

Daten. Ohne gute Argumente anzugeben, vermuten wir, dass eine Disziplin sich mehr für Hypothesen interessiert, wenn ihre Modelle komplex sind. Zum Beispiel ist die Kinematik in der Ordnung der Komplexität einfacher gebaut als die Quantenmechanik. Wie dies über Disziplingrenzen hinaus aussieht ist kaum diskutiert worden.

Je mehr Daten nötig sind, um passende Hypothesen zu finden, desto schwieriger wird es, Hypothesen zu bestätigen. Das Finden von Daten braucht Kapital, so dass genauer abgewogen wird, ob es sich noch lohnt, neue Daten zu ermitteln. Ökonomisch gesehen geht der Grenznutzen gegen Null, wenn sich durch ein einziges Datum die Passung einer Hypothese nicht mehr ändert. Anders gesagt, lässt sich für jeden intendierten Bereich eine Menge von gefundenen Daten abgrenzen von einer nur vage bestimmten Menge *aller möglichen Daten* für den realen Bereich. Je komplexer die Hypothesen einer Theorie werden, desto schwieriger wird es, neue, echte Daten zu bekommen.

Zusammenfassend können wir sagen, dass die Wissenschaft in der Zeit, in der es noch keine Simulationsstudien gab, das Ziel hatte, einen realen Bereich durch Daten und Hypothesen passend abzubilden.

4 Konstante

Die Konstanten, die in Modellen verwendet werden, haben in den Anwendungen jeder Disziplin ein anderes Gewicht. In der Naturwissenschaft, wo die Darstellung eines Modells fast immer auch Zahlen und Mengen von Zahlen enthält, sind die „Naturkonstanten“ in den Mittelpunkt gerückt. Der Grund ist einfach zu verstehen. Eine solche Konstante bleibt in vielen realen, intendierten Systemen in verschiedenen Theorien gleich. Sie bindet mehrere Relationen und Funktionen in allen Modellen zusammen, indem sie verschiedene Relationen in einer Gleichung von Zahlen quantitativ zusammenführt. Neben diesen Naturkonstanten spielen drei weitere Arten von Konstanten in der Wissenschaft eine Rolle.

Erstens sind Einheiten wichtig. Eine bestimmte Einheit (wie Meter) wird dazu benutzt, um die dazugehörige Größe (Funktion) zu messen. Z.B. wird ein bestimmter Funktionswert der Größe gemessen. In Theorien, in denen historisch zum ersten Mal quantitative Größen benutzt werden, werden solche Größen durch fundamentale Meßmethoden bestimmt. Zum Beispiel werden in der klassischen Kinematik der Längenabstand von zwei Orten und der Zeitabstand von zwei Zeitpunkten auf zwei Meßverfahren zurückgeführt. Dazu wird ein Längenabstand in mehrere (Längen-)Einheiten zerlegt (z.B. mit einem Metermaß) und dann die Zahl der so wahrgenommenen Einheiten gezählt. Ähnlich lässt sich mit einem Zeitabstand verfahren.

Im Netz der Theorien werden diese Einheiten in den „ganz unten lie-

genden“ Theorien als Konstante eingeführt. Wissenschaftstheoretisch wird für einen bestimmten Funktionswert das Argument ausgezeichnet, von dem der Wert stammt. Dieses Argument ist ein Element aus einer Grundmenge eines Modells; dieses Element bekommt einen herausgehobenen Namen. Z.B. war das Einheitsobjekt für *Meter* ein Stück Metall, welches in Paris aufbewahrt wurde (und wird). Der Funktionswert dieses Objekts bekommt dann die Zahl Eins.

In den meisten Theorien werden solche Einheiten nur in theoretischer Weise benutzt. Wenn ein Wert einer Größe gebraucht wird, der in der Theorie nicht in einer Modellkomponente erscheint, wird dieser durch eine Querverbindung von einer anderen Theorie importiert. Die benutzte Größe wird so nur im Hintergrund eingesetzt, sie wird nicht zur gerade verwendeten Theorie dazugerechnet. Im allgemeinen werden Einheiten in Meßketten von tieferliegenden zu allgemeineren Theorien transportiert.

In wissenschaftstheoretischen Rekonstruktionen werden Einheiten oft implizit gehalten oder gar nicht erwähnt. Dies liegt daran, dass die Größe einer Einheit als Zahl dargestellt wird und damit strukturell für eine bestimmte Theorie nicht wichtig ist. Die Hypothesen für ein Modell ändern sich nicht, wenn für eine Einheit eine andere Zahl benutzt wird. Die Struktur eines Modells bleibt in diesem Fall invariant. Dies gilt aber nur relativ zu einer einzigen Theorie.

Eine bestimmte Einheit wird konventionell durch eine Wissenschaftlerkommission festgelegt, wobei darauf geachtet wird, dass die „Größe“ der Einheit mit den anderen Einheiten harmonisch zusammenpasst. Zum Beispiel wird darauf geachtet, dass bei einer ersten Größe nicht 10^6 Einheiten zur Definition der einzigen Einheit einer zweiten Größe gebraucht wird.

Eine zweite Art von Konstanten treten in Anwendungen auf, in denen eine Hypothese bestätigt und mit Daten in Verbindung gebracht wird. In einfachsten Fällen gibt es in einem Modell eine numerische Funktion f , die mit Daten derselben Art: $f(a_1), \dots, f(a_n)$ verglichen werden kann. Oft wird folgende Ungleichung $|f(a) - 1/n \sum_{i \leq n} f(a_i)| < \varepsilon$ benutzt. $f(a)$ ist ein theoretischer Wert aus dem Modell und $1/n \sum_{i \leq n} f(a_i)$ der Mittelwert für eine Menge von echten Daten. Diese Ungleichung besagt, dass der theoretische Wert sich von dem Mittelwert höchstens um ε unterscheidet.

Wenn die Anzahl der Daten mit der Anzahl der Objekte dieses Modells identisch gesetzt wird, lässt sich sogar bestimmen, wie wahrscheinlich es ist, dass der theoretische Wert in der Umgebung des Mittelwerts liegt. In solchen Fällen kann man diese Zahl ε explizit definieren. In einer empirischen Theorie ist aber die Anzahl der Grundelemente in den Modellen normalerweise nicht festgelegt. In den meisten Fällen wird ε nicht genau bestimmt, sondern teilweise konventionell festgelegt. Die Zahl ε wird wie eine Konstante behandelt.

Im allgemeinen werden Umgebungen von Modellen und potentiellen Modellen für eine Theorie nur strukturell benutzt, um eine empirische Be-

hauptung für die Theorie zu formulieren – und eventuell zu bestätigen. In der strukturalistischen Literatur findet man die Formulierung, dass *es eine Umgebung gibt*, in der ein Modell (oder eine komplexere Entität) liegt. Auf der Anwendungsebene muss aber dieser Existenzquantor durch eine bestimmte Zahl, eine Konstante, ausgedrückt werden. Wir finden somit eine weitere Art von Konstanten, die in empirischen Theorien wichtig sind.

Über eine dritte Art von Konstanten wird noch seltener geredet. Eine solche Konstante drückt die Anzahl von Objekten aus, die in einer Grundmenge eines Modells liegen. Meistens wird bei der Formulierung der Struktur eines Modells nur gesagt, dass eine Grundmenge in einem Modell endlich oder unendlich ist.

Bei einer endlichen Grundmenge kann man oft eine „reduzierte“ Wahrscheinlichkeit benutzen, wenn die Wahrscheinlichkeit durch eine relative Häufigkeit ausgedrückt werden kann. Dazu muss einerseits die Anzahl der Elemente der Grundmenge feststehen, andererseits muss die Wahrscheinlichkeit für ein Elementarereignis bekannt sein. Z.B. wird oft angenommen, dass die Elementarereignisse gleichverteilt sind. In nicht-deterministischen Anwendungen wird eine Grundmenge aus einem Modell dazu benutzt, um einen Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbf{p})$ aufzubauen, mit dem die Wahrscheinlichkeiten untersucht werden.

Bei einer unendlichen Grundmenge wird die Wahrscheinlichkeit über diese Menge durch eine Dichte ausgedrückt. In einem solchen Fall wird oft die Grundmenge durch ein reelles Intervall abgebildet; das Intervall hat eine untere und eine obere Grenze. Solche Grenzen funktionieren in einem Modell wie Konstante. In einem Modell wird die Intervallgrenze nicht verändert; die Grundelemente liegen in diesem Intervall.

Für uns sind diese Konstanten insbesondere deshalb interessant, weil sie sich einerseits kaum genauer bestimmen lassen und weil sie sich andererseits nur in dynamischen Prozessen zwischen Modellen verändern. Zum Beispiel wird eine Naturkonstante in einem zeitlich veränderbaren Netz untersucht, wobei die Bestätigungsgrade von verschiedenen Behauptungen verglichen werden.

In historischen Episoden werden solche Untersuchungen meist nicht von einer Konstanten initiiert. Normalerweise wird eine Hypothese verändert, indem eine Komponente, z.B. eine Funktion, etwas anders beschrieben wird. Zum Beispiel wurden verschiedene Varianten der klassischen Gravitationstheorie vorgeschlagen, bei denen in einer Gleichung ein anderer Koeffizient benutzt wurde. Ein solcher Koeffizient funktioniert in einem Modell aber in derselben Weise wie eine Konstante.

Warum sollen wir also nicht auch Konstante als Auslöser für wissenschaftliche Veränderungen untersuchen? Die Konstanten, die über die Modelle von verschiedenen Disziplinen verstreut sind, bilden ein *Muster*, welches aber bis jetzt in der Wissenschaftstheorie kaum systematisch untersucht wurde. In einzelnen Disziplinen ist dies anders. Zum Beispiel ist in der

Physik die Dimensionsanalyse fester Bestandteil der physikalischen Ausbildung. So sind wir zum Schluß bei der wissenschaftlichen Simulation angekommen.

5 Simulation als ein Experiment in den Sozialwissenschaften

Wir gehen von drei Bestandteilen aus: einer Theorie, einem Modell und einem intendierten System der Theorie, mit denen ein soziales System untersucht wird. Im Unterschied zu einer wissenschaftlichen Anwendung ohne Computersimulation ist es bei einer Simulation *nicht* das Ziel, die Daten und das Modell zur Passung zu bringen. Dies geht aus folgenden – teilweise schon erwähnten – Gründen nicht. Die Gruppe von Wissenschaftlern, die das reale System untersucht, von dem die Daten stammen, wissen, dass diese Daten – und oft auch die Hypothesen des Modells – nicht ausreichen, um das reale System in interessanter Weise abzubilden. Zum Beispiel fehlen bei einer soziologischen Untersuchung von Armeen die Daten aus der jüngsten Vergangenheit (nicht zu reden von dem heutigen Zustand). In anderen sozialen Beispielen, sind die Modelle sehr abstrakt und intentional vage formuliert (Luhman, 1997), so dass es wenig Sinn macht, echte Daten zu erheben oder sonst wie zu produzieren. Weiter gibt es bei sozialen Systemen das Problem, in die „innere Welt“ der Akteure einzudringen. Allein diese Arbeit kann sehr aufwändig werden, so dass normalerweise keine Mittel vorhanden sind, um diese Arbeit in die Tat umzusetzen. Auch normale Datenmengen können bei sozialen Systemen sehr groß werden.

Als dies bedeutet, dass die Anzahl der für eine Untersuchung nötigen Daten normalerweise zu klein ist. Die Gruppe der Wissenschaftler haben die Mittel nicht, um diese Daten zu bekommen. Oft gibt es in sozialen Anwendungen auch moralische Probleme, die z.B. in medizinischen oder in medialen Anwendungen virulent werden.

In dieser Ausgangslage lässt sich eine wissenschaftliche Simulation wie folgt beschreiben. Die Hypothesen des Modells werden computergerecht umformuliert. Wenn eine Theorie völlig statisch beschrieben ist, muss ein zusätzliches Programmmodul entwickelt werden, mit dem die Struktur des Modells als Prozess dargestellt und wahrgenommen werden kann. Eventuell kommt eine Reduktion in Frage, wenn die Theorie viele Hypothesen enthält. Dass die Daten schon typengerecht vorliegen, setzen wir voraus. Wir nehmen also an, dass die Theorie in ein Computerprogramm transformiert wurde.

Bei einer Simulation müssen wir drei Bestandteile unterscheiden. Erstens gibt es den Computerablauf, zweitens gibt es Wiederholungen „deselben“ Computerablaufs und drittens „eine Simulation“ eines Systems, welche aus verschiedenen Wiederholungen mit verschiedenen Inputs be-

steht.

An dieser Stelle kommt bei Simulationen ein neuer Aspekt ins Spiel, nämlich die Erzeugung von atomaren Sätzen, die in einem Ablauf der Form nach als zusätzliche *Quasidaten* benutzt werden können. In dieser Weise lassen sich die wenigen, echten Daten, die für ein bestimmtes System vorliegen, ergänzen und „vervollständigen“. Am Anfang eines Simulationsprogramms, werden typengerechte Quasidaten erzeugt. Dazu werden verschiedene Konstanten benutzt, die im Programm vorhanden sein müssen. Aus diesen Konstanten und verschiedenen Programmteilen werden – je nach Programm – ziemlich viele neue Quasidaten generiert, die der Form nach in den ursprünglichen Hypothesen zweckgerecht verwendet werden können. Wenn zum Beispiel in einer Hypothese eine Funktion eines gewissen Typs benutzt wird, kann man einige Funktionswerte erzeugen, indem im ersten Schritt die Anzahl der möglichen Argumente berechnet wird – diese Anzahl muss als eine Konstante vorhanden sein. Im zweiten Schritt wird normalerweise eine bestimmte Anzahl von Funktionswerten zufällig erzeugt. In dieser Weise lässt sich der statistische Bestätigungsmechanismus effektiver benutzen. Aus einer Menge von echten Daten und einer Menge von Quasidaten wird nach vielfältigen Methoden untersucht, ob die Hypothesen zu den angereicherten Daten passen oder nicht und ob das Programm das jeweilige reale System angemessen darstellt oder nicht. Mit anderen Worten, lassen sich durch Computersimulation quasi neue „Welten“ untersuchen; Systeme, die teilweise echte Daten und Phänomene und teilweise menschengemachte Anteile: *künstliche Systeme*, enthalten.

In einem Ablauf steht das Programm bereit und die Daten sind geladen. Im Ablauf werden die Hypothesen bearbeitet. Wenn es sich um ein Modell mit Zeitkomponente handelt, lässt sich meistens die Zeit als Hauptkomponente im Programm erkennen. In einem statischen Modell muss ein Prozess programmiert werden, welcher Schritt für Schritt alle Bereiche des Modells bearbeitet. Da bis jetzt die normalen Computer deterministisch funktionieren, auch wenn „Zufallsgeneratoren“ (z.B. in Prolog mit dem Befehl *random*) benutzt werden, gibt es ein eindeutig bestimmtes Resultat, welches am Ende des Programms irgendwie ausgegeben wird.

In diesem Sinn funktioniert ein solches Programm wie ein Messmodell. Aus der Berechnungsbasis wird durch das Programm das Endresultat erzeugt. Die Berechnungsbasis enthält erstens alle eingegebenen Daten, zweitens verschiedene programmtechnische Steuerungselemente, die jedenfalls in erster Näherung nichts mit den Hypothesen der Simulation zu tun haben, und drittens eventuell Zufallselemente, wie dem sogenannte „Seed“ – eine per Hand oder durch die Programmiersprache jeweils automatisch festgelegte Zahl – die einen deterministischen Zufallsgenerator aktiviert. In der einfachsten Form können wir die Endresultate als Vorhersagen interpretieren, die am Anfang des Programms und im Modell explizit nicht vorhanden waren. Dieses Verfahren wird noch erweitert, indem Quasidaten verwendet

werden.

Wiederholungen bei demselben Input führen zu verschiedenen Resultaten, *wenn* der Zufallsgenerator und bei jeder Wiederholung jeweils ein anderer Seed benutzt wird. In dieser Weise werden die verschiedenen Resultate statistisch ausgewertet, indem z.B. Mittelwerte typengerecht aus bestimmten Resultaten gebildet werden. Aus diesen lässt sich ein „typisches Modell“ konstruieren, welches wichtige Aspekte des realen Systems aufweist, welches aber durch einen einzigen Computerablauf normalerweise *nicht* erzeugt werden kann.

So weit unterscheidet sich eine Simulation von einer „normalen“ wissenschaftlichen Anwendung hauptsächlich durch die Eigenschaft des Determinismus. Es gibt aber einen, weiteren, neuen Aspekt, der bis jetzt in sozialen Simulationen kaum benutzt und beachtet wurde. Dieser Aspekt betrifft die Konstanten und ihre Muster, die wir in Abschnitt 4 diskutierten. In einem Computerprogramm für eine Simulation werden normalerweise all diese Konstanten gebraucht. Erstens werden „Naturkonstanten“ in den Programmierregeln benutzt, wenn die Hypothesen des Modells durch die Regeln ausgedrückt werden, in denen Konstante auftreten. Dies gilt auch für Modelle aus der Sozialwissenschaft. Zum Beispiel werden in psychologischen Modellen Zahlen benutzt, die ausdrücken, wieviele Handlungsalternativen für eine Person zur Verfügung stehen. Zweitens können Einheiten in jedem Modell vorkommen, auch in Modellen für soziale Systeme. Drittens werden Konstante für Approximation auch in einem Programm explizit benutzt. Sie werden durch „den Programmierer“ für einen bestimmten Computerablauf eingegeben (Balzer, Brendel, Hofmann, 2012). Genauso wichtig sind, viertens, bei der Simulation die Konstanten, welche die Anzahl von Objekten für eine bestimmte Objektart ausdrücken, die im Programm benutzt wird. Zum Beispiel wird in einem Computerablauf vorher festgelegt, dass 20 (oder 10 Millionen) Personen und 5 (oder 93) Güterarten benutzt werden. In einem anderen Ablauf werden dann andere Zahlen verwendet.

Der neue Aspekt für Simulationsprogramme liegt bei dem Muster von Konstanten. Die Veränderungen von „realen“ Hypothesen, die wir oben beredet haben, brauchen Zeit. Jede Veränderung, die hervorgebracht wird, z.B. auch durch eine Konstante, muss mit Daten verglichen und durch die Daten bestätigt werden. In einer Simulation lassen sich die Resultate nicht nur mit Daten abgleichen, sondern sie lassen sich auch mit anderen Resultaten aus anderen Abläufen vergleichen, in denen andere Konstante benutzt werden. In dieser Weise wird der so beschriebene, historische Prozess auf die Simulationsebene gehoben, so dass bei Veränderung einer Konstanten, ziemlich schnell klar wird, ob dies positive oder negative (oder auch gar keine) Auswirkungen bei der Passung von echten Daten hat.

Dieses Verfahren lässt sich aber noch weiter verbessern. Durch Computerprogramme lassen sich diese Verfahren selber auch wieder automatisieren. Dazu braucht man nur ein Programmmodul, mit dem folgendes aus-

geführt werden kann. Erstens wird bei einem Muster von Konstanten eine bestimmte Ausprägung des Musters – eine Menge von Quasidaten – durch eine andere Ausprägung des Musters ersetzt. Anders gesagt werden Quasidaten durch andere Quasidaten ersetzt. Zweitens wird mit diesen neuen Konstanten ein weiterer Computerablauf aktiviert. Drittens werden die so entstandenen, vielen verschiedenen Resultate aus den Abläufen gespeichert. Viertens werden die Resultate graphisch so aufbereitet, dass die Wissenschaftler die Resultate „mit bloßem Auge“ vergleichen können. Wenn in einem bestimmten Ablauf die Resultate qualitativ sofort anders aussieht wie die Resultate aus dem vorherigen Ablauf, werden die Wissenschaftler genauer untersuchen, wie dieser Unterschied im Programmablauf zustande kommt. Mit anderen Worten lässt sich eine neue, wissenschaftliche Methode einsetzen: die Methode der *systematischen Ersetzung von Konstanten*.

Wieweit diese Methode schon in den Naturwissenschaften benutzt wird, können wir im Moment nicht sagen. Für uns ist diese Methode besonders für Anwendungen auf soziale Systeme interessant, weil dort, wie gesagt, echte Daten aus den oben beschriebenen Gründen nur spärlich vorhanden sind.

References

- Axelrod, R. 1984: *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, New York.
- Balzer, W. 1985: *Theorie und Messung*, Springer, Heidelberg etc.
- Balzer, W. 2009: *Die Wissenschaft und ihre Methoden*, Freiburg: Karl Alber. (2. Aufl.)
- Balzer, W., Brendel, K. R., Hofmann, S. 2010: A Simple Frame for Artificial Societies. In: (Ernst, Kuhn, 2010), *Proceedings of the 3rd World Congress on Social Simulation WCSS2010*, CD-ROM.
- Balzer, W., Brendel, K. R., Hofmann, S. 2012: How Can We Simulate a Society?, *Salzburger Geographische Arbeiten*, Band 48, 111 - 120. (ESSA Kongress 2012).
- Balzer, W., Lauth, B., Zoubek, G. 1993: A Model for Science Kinematics, *Studia Logica* 52, 519-48.
- Balzer, W., Moulines, C. U., Sneed, J. D. 1987: *An Architectonic for Science*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Balzer, W., Sneed, J. D., Moulines, C. U. (eds.) 2000: *Structuralist Knowledge Representation - Paradigmatic Examples*. Amsterdam: Rodopi.
- Burt, R. S. 1982: *Toward a Structural Theory of Action. Network Models of Social Structure, Perception, and Action*. New York: Academic Press.
- Diederich, W., Ibarra, A., Mormann, T. 1989: Bibliography of Structuralism. In: *Erkenntnis* 30, 387-407.

- Diederich, W., Ibarra, A., Mormann, T. 1994: Bibliography of Structuralism. In: *Erkenntnis* 41, 403-418.
- Ernst, A., Kuhn, S. (eds.) 2010: *Proceedings of the 3rd World Congress on Social Simulation WCSS2010* (CD-ROM). Kassel, Germany: Center for Environmental Systems Research, University of Kassel.
- Festinger, L. 1957: *A Theory of Cognitive Dissonance*, Evanston, Ill., Row, Peterson.
- Gilbert, N., Troitzsch, K. G. 2005: *Simulation for the Social Scientist* (2. Aufl.), Maidenhead: Open University Press.
- Heinrich, W. 1998: *Inexakte Messung und Datenkinematik*, Peter Lang, Frankfurt/Main.
- Krantz, D. H., Luce, R. D., Suppes, P., Tversky, A. 1971: *Foundations of Measurement*, Vol.1, New York - London.
- Luhmann N. 1997: *Die Gesellschaft der Gesellschaft*, Frankfurt/Main, Suhrkamp.
- Schelling, T. C. 1971: Dynamic Models of Segregation, *Journal of Mathematical Sociology* 1, 143-86.
- Schurz, G. 2013: Criteria of Theoreticity: Bridging Statements and Non-Statement View, *Erkenntnis* (online).
- Sneed, J.D. 1991: *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht: Reidel. (2. Aufl.).