

Computermodelle in den Sozialwissenschaften Überblick, Probleme, Aussichten

Klaus Manhart

Überarbeitete Fassung aus meiner Dissertation

„KI-Modelle in den Sozialwissenschaften“,
Oldenbourg-Verlag, München, 1995

www.klaus-manhart.de
mail@klaus-manhart.de

München, Juli 2007

1. Modellierungsansätze

In der Vergangenheit haben sich in den Sozialwissenschaften einige Modellbildungsansätze etabliert, die sich grob drei Klassen zuordnen lassen: System-Dynamics-Modelle, Mikrosimulationsmodelle und Mikro-/Makro- oder Mehrebenenmodelle. Sie werden überblicksartig beschrieben in Schnell (1990), Troitzsch (1990) und Möhring (1990). Beispiele für derartige Simulationen finden sich in Kreutz/Bacher (1991).

Der *System-Dynamics-Ansatz* geht auf Forrester zurück (vgl. z.B. Forrester 1971) und wurde für die Entwicklung von Stadt-, Regional- und Weltmodellen verwendet. Die Weltmodelle erregten insbesondere im Zusammenhang mit den Veröffentlichungen des „Club of Rome“ große Aufmerksamkeit auch außerhalb der Wissenschaft (Meadows et al. 1972). System-Dynamics-Ansätze lassen sich grob dadurch charakterisieren, dass sie ein System (die Stadt, die Region, die Welt) in eine möglichst kleine Menge von aggregierten Variablen (z.B. Bevölkerungszahl, Produktion) zerlegen, welche Merkmale des Gesamtsystems beschreiben. Der letzte Punkt ist entscheidend: Variablen im System-Dynamics-Ansatz charakterisieren nicht die einzelnen Elemente des Systems, sondern immer das System als Ganzes. Die Relationen, die zwischen den Variablen herrschen, werden durch Gleichungen, meist Differenzen- oder Differentialgleichungen, ausgedrückt.

Der Kern eines System-Dynamics-Modells besteht in der Verkettung dieser Gleichungen, welche die Struktur des Systems wiedergeben sollen. Der Ablauf eines solchen Modells gestaltet sich so, dass mit den eingegebenen Anfangswerten die Gleichungen berechnet werden. Auf der Basis der berechneten Werte wird ein neuer Zyklus gestartet, dessen Ergebnis Grundlage für die Berechnung des nächsten Zyklus ist usw. Der Modelloutput besteht aus Zeitreihen in tabellarischer oder grafischer Form. Als Modellbeschreibungssprache dient hierbei meist die oben erwähnte, ebenfalls von Forrester entwickelte Sprache DYNAMO. Bei diesen Programmen handelt es sich um quantitative, zeitdiskrete, deterministische, nichtlineare, dynamische Makromodelle, die zu Erklärung, Prognose und Entscheidungsunterstützung dienen können.

System-Dynamics-Modelle zeigen eine Reihe von eklatanten Mängeln. Kritisiert wurde insbesondere die extrem hohe Aggregation der Variablen (beim Weltmodell etwa: Bevölkerungszahl, Umweltverschmutzung etc.) und die mangelnde empirische Verankerung und Validierung. Eine ausführliche Kritik findet sich bei Harbordt (1974). Trotz neuerer, verbesserter System-Dynamics-Modelle wie z.B. GLOBUS und einer Abkehr vom Anspruch eines prognostischen Werkzeugs hin zum heuristischen Hilfsmittel wird ein wahrnehmbarer Einfluss dieser Modelle auf die Theoriebildung in den Sozialwissenschaften bestritten (Schnell 1990: 112-113). Eine neuere Einführung in das system-dynamische Konzept mit natur- und sozialwissenschaftlichen Anwendungen findet sich in Bossel (1992).

Die System-Dynamics-Modellierung ist ein typischer *Makroansatz*, bei dem das Verhalten des Systems durch das Zusammenwirken verschiedener (Makro-)Variablen beschrieben wird. Im Gegensatz dazu steht bei *Mikrosimulationsmodellen* das Verhalten von

individuellen Einheiten im Vordergrund. Mikrosimulationsmodelle sind stochastische, zeitdiskrete Computersimulationsmodelle auf Mikroebene, die der Prognose und Entscheidungsunterstützung dienen.

Diese Modelle bestehen aus einer sehr großen Zahl von individuellen Elementen (z.B. Personen, Haushalte), deren Merkmale durch eine Menge von Variablen beschrieben werden (z.B. Kinderzahl, Alter, Einkommen) und Vorschriften, wie sich diese verändern sollen. Simuliert werden die Veränderungen der Merkmale der Elemente über die Zeit. Der Computer arbeitet Element für Element ab und modifiziert die Merkmale entsprechend den Vorschriften. Sind alle Elemente bearbeitet, ist ein Modellauf abgeschlossen und der nächste Lauf beginnt. Der Modelloutput besteht aus Statistiken für die interessierenden Variablen (z.B. Änderungen im Altersaufbau einer Bevölkerung), die wie bei einer realen Stichprobe berechnet werden. Anders als bei System-Dynamics-Ansätzen wird hier also immer auf der Ebene der Systemelemente simuliert und anschließend werden statistische Maßzahlen berechnet. Solche Mikrosimulationsmodelle wurden z.B. zur Nachbildung von Meinungsbildungsprozessen oder zur Beurteilung möglicher Folgen von Gesetzesvorhaben verwendet.

Eine Verbindung zwischen Makro- und Mikromodellen stellen die sog. *Mehrebenen-* oder *Mikro-Makromodelle* dar. Mit diesen Modellen wird versucht, Effekte auf der Makroebene durch Vorgänge auf der Mikroebene zu erklären. In der aktuellen Literatur werden diese Modelle als sehr mächtig angesehen. Möhring (1990) bezeichnet diesen Ansatz aus zwei Gründen als den viel versprechendsten für die Sozialwissenschaften. Erstens enthalten Mehrebenenmodelle die obigen Modelltypen als Spezialfälle und verknüpfen sie miteinander. Zweitens unterstützt dieser Modelltyp die Erforschung zentraler Fragestellungen in den Sozialwissenschaften, wie etwa die Untersuchung kollektiver Phänomene, die durch viele Individuen ausgelöst wurden. Schnell (1990) bezeichnet die (Mikro-)Simulation individueller Akteure zur Erklärung von Makrophänomenen als zumindest derzeit einzig fruchtbaren Ansatz.

Mikro-Makrophänomene seien an einem kurzen Beispiel erläutert. Bainbridge (1987) stellt zwölf einfache Simulationsprogramme vor, welche klassische soziologische Fragestellungen und Kontroversen behandeln. Eines dieser Programme, RACE, das sich auf die Arbeiten von Boudon und Schelling (1978) bezieht, modelliert die nicht intendierten Konsequenzen individuellen Handelns am Beispiel von ethnischer Segregation. Auf der unteren Mikroebene wird eine Menge von maximal 64 Individuen dargestellt, wobei jedes Individuum entweder zur blauen oder zur grünen Rasse gehört. Die Individuen werden auf die Felder eines Schachbrettes zufällig verteilt, welche Häuser einer Stadt symbolisieren. Jedes Individuum hat die Eigenschaft „Zufriedenheit“ oder „Unzufriedenheit“, wobei sich diese Eigenschaft aus der Zusammensetzung der Nachbarschaft und der eingestellten Entscheidungsregel ergibt. Eine solche Entscheidungsregel lautet z.B. „Ich bin nur zufrieden, wenn die Mehrheit meiner Nachbarn gleichrassig ist“. Ein grünrassiges Individuum mit sechs grünen und zwei blauen Nachbarn wird danach zufrieden sein, ein blaurassiges wird in der gleichen Nachbarschaft

unzufrieden sein. Unzufriedene Individuen versuchen in leerstehende Felder umzuziehen, aber nur, wenn dadurch der Zustand Zufriedenheit hergestellt werden kann. In jedem Simulationsschritt erfolgen nun solche Umzüge. Unter bestimmten Bedingungen entstehen nach einigen solchen Schritten aus der ungeordneten, zufälligen Verteilung der Rassenmitglieder zusammenhängende Rassencluster, d.h. es kommt zu ethnischer Segregation.

Dieses einfache Modell illustriert in sehr elementarer Form die nicht beabsichtigten Konsequenzen sozialen Handelns und die Tatsache, dass ein soziales System mehr ist als die Summe der Individuen. Es ist zugleich ein einfaches Beispiel für ein Mehrebenenmodell: auf der Mikroebene werden Individuen mit bestimmten Merkmalen (Rassenzugehörigkeit, Entscheidungsregel) abgebildet. Auf der Makroebene wird das System als Ganzes in ein einziges Objekt transferiert mit den relevanten Objekteigenschaften „ungeordnete Struktur“ oder „in bestimmte Rassen segregiert“. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass Makrophänomene (Rassensegregation) durch Verhalten auf Mikroebene (Rasse, Entscheidungsregel) erklärt werden können. Die später behandelten D-H-L-Modelle sind ebenfalls Beispiele für Mikro-Makromodelle.

2. Probleme konventioneller Modellierung

Das eben vorgestellte „Modellierungsparadigma“ sowie die allgemeine Modellierungsrichtung in der sozialwissenschaftlichen Literatur ist quantitativ orientiert. Harbordt (1974) beschränkt sich weitgehend auf quantitative Modelle, für Mayntz (1967: 23) sind *alle* Simulationsmodelle quantitativ. In quantitativen Modellen ist der Bildbereich ein numerisch ausgerichteter Kalkül und/oder eine numerisch orientierte Programmiersprache.

Eine derartige Modellierung zwingt zur vollständigen Abbildung des Urbilds in numerische Konzepte. Wir verwenden für Computerprogramme dieses numerischen Typs im folgenden auch den Ausdruck „konventionelle (Computer-) Modelle“. Viele Autoren engen Modellierung weiter auf Systeme von Gleichungen und sogar Differentialgleichungen ein. Beispielsweise definiert Dörner (1984: 345) Simulationsmodelle ausschließlich als Gleichungssysteme: „Ein Simulationsmodell basiert auf einer formalen Systembeschreibung und damit letzten Endes auf einem System von Gleichungen, meist wohl auf einem System von Differentialgleichungen“. Analog behandelt Troitzsch (1990) in seinem Buch „Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften“ ausschließlich Modelle, die auf Differentialgleichungen beruhen.

Die quantitative Orientierung und Modellierung in strengen, numerisch ausgerichteten Kalkülen dürfte zwei grundlegende Ursachen haben. Ein erster Grund dürfte in dem vorherrschenden physikalistischen Wissenschaftsideal liegen, das mit dem Standardtheorienkonzept verknüpft ist. Mit der „Ideal-Wissenschaft“ Physik als Richtschnur für die Theorienkonzepte der Logischen Empiristen und Kritischen Rationalisten lautete der implizit und explizit gegebene Ratschlag an die Sozialwissen-

schaftler, wie die Physiker nach quantitativen Begriffen und Zusammenhängen zu suchen. Die Angabe genauer, quantitativer Funktionsregeln für Zusammenhänge führt im Sinn von Popper dazu, dass eine entsprechende Theorie leichter falsifizierbar und damit empirisch gehaltvoller wird.

Ein zweiter Grund dürfte in der tiefen, auch historisch bedingten Verwurzelung konventioneller Computersimulation in numerisch orientierten Modellierungswerkzeugen liegen. Der Computer wurde und wird in den Sozialwissenschaften als Maschine gesehen, die Zahlen verarbeitet. Alternativen zur Sichtweise des Computers als Zahlen- und Arithmetik-Maschine sind nicht bekannt oder werden als nicht relevant erachtet. Unglücklicherweise sind mit dem physikalistischen Wissenschaftsideal und der restriktiv-einseitigen Benutzung des Computers einige wesentliche Nachteile verbunden, die Nutzen und Einsatzmöglichkeiten sozialwissenschaftlicher Computermodelle empfindlich mindern.

Erstens setzen quantitative Modelle metrische Begriffe voraus, die in den Sozialwissenschaften selten gegeben sind. Für die Verwendung in solchen Modellen müssen nicht-metrische Begriffe, wie z.B. klassifikatorische Terme, in kontinuierliche metrische Variablen überführt werden. In Einzelfällen kann dies gelingen (vgl. z.B. die Transformation von ordinalen Präferenzen in kardinale Nutzenfunktionen), viele derartige Versuche scheinen aber zumindest fragwürdig.

Zweitens setzen quantitative Modelle die genaue numerische Angabe von Zusammenhängen voraus. In den Sozialwissenschaften kann aber die exakte quantitative Form einer Funktion oft nicht bestimmt werden. Vielmehr liegen Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten oft nur qualitativ vor. Qualitative Schemata von Gesetzmäßigkeiten, wie sie typischerweise in den Sozialwissenschaften auftreten, sind z.B. die folgenden Wenn-dann-Aussagen (vgl. z.B. Ziegler 1972: 219):

wenn x dann y,
wenn x dann nicht y,
je größer x desto größer y,
wenn x größer als 0 dann ist y kleiner als z,
wenn x und y zunehmen, dann nimmt auch z zu.

In diesen schematischen qualitativen Aussagen werden zwar Zusammenhänge angegeben, aber nicht in Form der Nennung einer genauen quantitativen Funktionsregel. Zahlen können in qualitativen Gesetzen vorkommen, der präzise Zusammenhang wird aber nicht spezifiziert. Ein konkretes Beispiel dafür, dass das grundlegende Gesetz nur in qualitativer Form angegeben werden kann, sind die unten vorgestellten Balancetheorien.

Wenn die fundamentalen Beziehungen zwischen den Variablen nicht genau formuliert werden können, sind die in der Physik üblichen Modelle mit Differentialgleichungen, Integralgleichungen oder Funktionalanalysis nicht anwendbar (Rapoport 1980: 27). Man

behilft sich in diesen Fällen deshalb oft damit, dass man qualitative Zusammenhänge künstlich quantifiziert und „präzisiert“. Die „Präzisierung“ vager Zusammenhänge durch numerische Funktionen ist bei konventionellen Modellen eine weit verbreitete „Methode“.

Als Beispiel sei auf die eben vorgestellten System-Dynamics-Modelle verwiesen. Diese Modellierungsmethode macht häufig von sog. Tabellenfunktionen Gebrauch. Tabellenfunktionen werden konstruiert, indem man die *qualitativen* Kenntnisse über die Beziehung von zum Beispiel zwei Variablen in eine grafische Darstellung in einem cartesischen Koordinatensystem grob umsetzt, Wertepaare aus der Grafikdarstellung abliest, diese in Tabellenform bringt und die Tabellenfunktion anstelle der expliziten Funktion als Ausdruck der Variablenbeziehung im Modell verwendet. Auf diese Weise wird eine Beziehung, die nur qualitativ vorliegt, „quantifiziert“ (vgl. Harbordt 1974: 130-131). Derartig gewonnene tabellarische Funktionen sind natürlich ziemlich subjektiv und spiegeln eine nicht vorhandene Präzision vor. Wir halten dieses Vorgehen für erheblich fragwürdig.¹

Eine Mathematisierung im Sinn der Angabe einer quantitativen Funktionsregel führt zwar, wie oben angedeutet, zu Präzisionen in dem Sinn, dass die Theorien leichter falsifizierbar und damit empirisch gehaltvoller werden. Allerdings wird dabei der Gehalt häufig so stark erhöht, dass die präzisierte Theorie sich tatsächlich kaum empirisch bewähren kann. Dies dürfte der Grund sein, warum viele Soziologen eine Mathematisierung im quantitativen Sinn ablehnen und Theorien relativ allgemein formulieren, um überhaupt empirisch erfolgreich anwendbar sein zu können (Westermann 1987: 21).

Ein Ausweg aus dem Dilemma, lediglich über qualitative Begriffe und Zusammenhangshypothesen zu verfügen und darauf basierende Modelle ohne künstliche „Präzisionen“ maschinell darstellen zu wollen, sind qualitative oder symbolische Computermodelle. Hierzu gehören zum Beispiel die Modelle von Gullahorn/Gullahorn (1963) oder Doran (1985). In symbolischen Modellen werden Begriffe und Zusammenhänge normalerweise in ihrer ursprünglichen Verwendung belassen. Beispielsweise können die erwähnten qualitativen Gesetzmäßigkeiten auch so in das Computermodell übernommen werden, ohne den genauen Zusammenhang weiter festzulegen.

Aus mathematischer Sicht behandeln diese nicht-quantitativen Modelle „abstrakte Relationen und 'Bündel' solcher Relationen, die Strukturen genannt werden. Modelle, bei denen Strukturen im Mittelpunkt stehen, nennen wir strukturelle Modelle. Quantitäten werden selbstverständlich aus solchen Modellen nicht ausgeschlossen, aber sie dienen gewöhnlich als Indices von Strukturen“ (Rapoport 1980: 28). Dieser Modelltyp stellt sein Urbild somit auf nicht-numerische Weise dar, bei dem der Bildbereich eine nicht-quantitativ ausgerichtete formale Sprache ist. Als Medium, in dem qualitative Modelle

¹ Diese kritischen Bemerkungen sollen nicht pauschal verstanden werden. In bestimmten Fällen mag die Modellierung sozialer Phänomene mit Differentialgleichungen oder allgemein Gleichungssystemen angebracht sein. Sinnvolle Beispiele finden sich in Rapoport (1980). Als *allgemeines* Modellierungsinstrumentarium ist die Beschränkung auf Gleichungssysteme aber zu eng und zu restriktiv.

repräsentiert sein können, genügen in der Regel naive Mengenlehre und Prädikatenlogik erster Stufe. Auf der maschinellen Ebene eignen sich symbolisch orientierte Computersprachen, die in der Lage sind, logische und mengensprachliche Konzepte darzustellen. Wir können diesen Ansatz in Anlehnung an Faulbaum (1986, 1991) auch als sehr „voraussetzungsarme“ oder „very soft“ Modellierung bezeichnen. Mit diesem Unternehmen der sanften Modellierung können zum einen nicht-quantitative, mathematische Strukturmodelle dem Computer zugeführt werden, zum andern müsste sich darin jede allgemeine, verbal formulierte Theorie rekonstruieren und „sanft präzisieren“ lassen.

Der qualitative Modelltyp wird in der Literatur kontrovers eingeschätzt. Während in manchen Texten qualitative Modelle nur am Rande erwähnt (z.B. Troitzsch 1990) oder gleich per definitionem ausgeschlossen werden (vgl. die Definition von Dörner), betonen andere wie Schnell (1990: 114) die große Bedeutung solcher Modelle für die Theoriebildung in den Sozialwissenschaften.

LITERATUR

- Bainbridge, W.S. (1987). *Sociology Laboratory. Computer Simulations for Learning Sociology*. Belmont: Wadsworth Publishing.
- Bossel, H. (1992). *Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme*. Braunschweig: Vieweg.
- Doran, J. (1985). The Computational Approach to Knowledge, Communication and Structure in Multi-Actor-Systems. In G.N.Gilbert/C.Heath (eds.), S.160-171.
- Dörner, D. (1984). Modellbildung und Simulation. In E.Roth (ed.), *Sozialwissenschaftliche Methoden*. München: Oldenbourg, S. 337-350.
- Faulbaum, F. (1986). *Very Soft Modeling*. ZUMA-Arbeitsbericht Nr. 86/04.
- Forrester, J.W. (1971). *World Dynamics*. Cambridge, Mass: Wright-Allen Press.
- Gullahorn, J.T./Gullahorn, J.E. (1963). A Computer Model of Elementary Social Behavior. *Behavioral Science*, 8, S.354-362 (deutsch in: R.Mayntz (ed.), *Formalisierte Modelle in der Soziologie*. Neuwied/Berlin: Luchterhand, S. 233-248).
- Harbordt, S. (1974). *Computersimulation in den Sozialwissenschaften* 2 Bände, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Kreutz, H./Bacher, J. (eds.) (1991). *Disziplin und Kreativität. Sozialwissenschaftliche Computersimulation: theoretische Experimente und praktische Anwendung*. Opladen: Leske + Budrich.
- Mayntz, R. (1967). Modellkonstruktion: Ansatz, Typen und Zweck. In R.Mayntz (ed.), *Formalisierte Modelle in der Soziologie*. Neuwied/Berlin: Luchterhand.
- Meadows, D./Meadows, D./Jahn, E./Milling, P. (1972). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt.
- Möhring, M. (1990). *Mimose. Eine funktionale Sprache zur Beschreibung und Simulation individuellen Verhaltens in interagierenden Populationen*. Dissertation, Universität Koblenz-Landau.
- Rapoport, A. (1980). *Mathematische Methoden in den Sozialwissenschaften*. Heidelberg: Physica.
- Schelling, T.C. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. New York: Norton.
- Schnell, R. (1990). Computersimulation und Theoriebildung in den Sozialwissenschaften. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 42, 1, S.109-128.
- Troitzsch, K. (1990). *Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Westermann, R. (1987). *Strukturalistische Theorienkonzeption und empirische Forschung in der Psychologie. Eine Fallstudie*. Berlin: Springer.
- Ziegler, R. (1972). *Theorie und Modell. Der Beitrag der Formalisierung zur soziologischen Theoriebildung*. München: Oldenbourg.