

HANS-GÜNTER BARTH

Simulation — ein Instrument von Raumforschung und Raumplanung

In vielen Bereichen der Raumforschung und Raumplanung werden heute Simulationsverfahren angewendet. Dabei gibt es in der Literatur eine Reihe voneinander abweichender Begriffsbestimmungen, die jedoch inhaltlich darin übereinstimmen, „daß die Simulation es mit dem Erforschen und der Verwendung von Modellen, also Abbildern der Wirklichkeit, zu tun hat“¹.

Damit können Simulationen auch als Experimente mit Modellen beschrieben werden, wobei dazu meistens, aufgrund der Komplexität der Modelle, der Computer herangezogen wird².

1 Klatt, S.: Simulationsverfahren als Instrument der empirischen Regionalforschung. In: Methoden der empirischen Regionalfor-

schung. — Hannover 1973. = Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Bd. 87. S. 183.

2 Vgl. dazu u. a. Harbort, S.: Computersimulation in den Sozialwissenschaften. — Hamburg 1974; Krüger, S.: Simulation, Grundlagen, Techniken, Anwendungen. — Berlin, New York 1975.

Modellbildung in Raumforschung und Raumplanung

Die planmäßige Steuerung der Raumnutzung, insbesondere der räumlich-ökonomischen und der räumlich-demographischen Entwicklungsprozesse, steht heute mehr und mehr im Mittelpunkt raumordnungspolitischer Diskussion.

Da in „konkreten Räumen die Isolierung einzelner Ursachen zur Erforschung von Zusammenhängen nicht möglich ist“³, kommt der Modellbildung in Raumforschung und Raumplanung erhebliche Bedeutung zu. So wird oft zur Verbesserung planerischer Entscheidungsgrundlagen ein verstärkter Einsatz von Modellen vorgeschlagen.

Angesichts bekannter Schwierigkeiten bei der Entwicklung und dem Einsatz von Optimierungsmodellen⁴ wurde vor allem in den USA ein neuer Typ des Modellbegriffes entwickelt, der ein wesentlich geringere Ansprüche stellendes Instrument zur Entscheidungshilfe darstellen kann.

Mit den Simulationsmodellen soll „den Entscheidungsträgern ein brauchbares Instrument in die Hand gegeben werden, welches ihnen die Identifikation von wünschenswerten Maßnahmen ... ermöglicht, indem es ihnen jeweils verhältnismäßig schnell und deutlich die Konsequenzen ... von Entwicklungsmaßnahmen im zeitlichen und räumlichen Verlauf vor Augen führt“⁵.

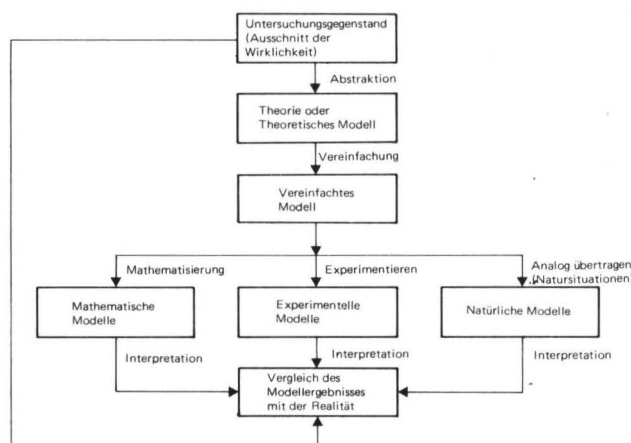
Theorien und Modelle der Raumforschung, als wissenschaftliche Systeme, versuchen Struktur und Verhalten realer räumlicher Systeme abzubilden und zu erklären. Die hohe Komplexität des realen Systems, wie auch das Streben nach möglichst universalen Aussagen, hat häufig zu einem relativ hohen Aggregations- bzw. Abstraktionsgrad geführt. Der Konstruktion theoretischer Systeme liegt meist die Methode der isolierenden Abstraktion zugrunde, so daß deren Ergebnis auch nur ein mehr oder weniger vereinfachtes Abbild des realen Systems (der Realität) darstellt.

Inwieweit die Mathematik dabei zur Analyse der Systeme herangezogen werden kann, hängt vor allem davon ab, ob die Strukturen von zu analysierenden Systemen den mathematischen Strukturen entsprechen.

Allgemein betrachtet, sollen mit Modellen mindestens drei Ziele erreicht werden:

1. Modelle sollen eine bestimmte Struktur oder ein bestimmtes Verhalten eines Systems repräsentieren.
2. Modelle sollen Strukturen und/oder Verhalten in einer ganz bestimmten Art und Weise idealtypisch widerspiegeln.
3. Mit Modellen soll auch etwas bewußt gestaltet werden können.

Wegen der Komplexität der Realität der Raumnutzung ist Modellbildung in Raumforschung und Raumplanung not-



Modellkonstruktion

wendig. So ist es beispielsweise das Ziel der Raumforschung, mit Modellen bestehende Abhängigkeiten und Zusammenhänge im Raum aufzufinden und zu erklären sowie typische räumliche Erscheinungsformen zu untersuchen.

So wird auch bei der Konstruktion von Simulationsmodellen zwar von Tatbeständen der Wirklichkeit ausgegangen; durch eine ganze Reihe von vereinfachenden generellen Feststellungen wird jedoch wieder davon abstrahiert, wobei durch ein schrittweises Erhöhen der Komplexität des Modelles eine allmähliche Wiederannäherung an die Wirklichkeit erreicht werden kann.

In dem Schaubild Modellkonstruktion ist der o.g. Modellbildungsprozeß allgemein schematisch dargestellt. Zunächst wird ein Untersuchungsausschnitt aus der Wirklichkeit herausgegriffen (zum Beispiel die räumliche Verteilung von Arbeitsplätzen in Abhängigkeit von Distanz und Attraktivität). Die Realität wird dabei zunächst so generalisiert, daß sie begrifflich erfaßt und in einem sehr vereinfachten Modell dargestellt werden kann — zum Beispiel Operationalisierung der Einflußvariablen Distanz (etwa Transportkosten) und Attraktivität (etwa Standortbedingungen der Standorte).

Der zweite Schritt der Abstraktion führt, je nach Untersuchungsgegenstand und Datenproblematik, zur Konstruktion von mathematischen⁶, experimentellen⁷ oder natürlichen⁸ Modellen. Die Gültigkeit dieser Modellaussagen wird im Vergleich mit der Realität zu prüfen sein.

6 Dazu zählen zum Beispiel: die Gravitations- und Potentialmodelle, vgl. u. a. *Lille, E.*: Das Reisegesetz. — Berlin 1891 oder *Stewart, J. Q.*: The development of social physics. In: *American Journal of Physics*. Bd. 5 (1950); oder die Distanzrelationen von *Isard, W.*: Location and space economy. A general theory relating to industrial location, market areas, land use, trade and urban structure. — New York 1956.

7 Darunter würde zum Beispiel *A. Webers* Vergleich der Hebelkraft mit der industriellen Standortverteilung fallen, vgl. *Weber, A.*: Über den Standort der Industrien. — Tübingen 1909.

8 Etwa *Garisons* Eisberg-Analogie im Hinblick auf das Stadtwachstum, die *Chorley, R. J.*: Geography and analogue theory. In: *Annals of the Association of American Geographers*. Bd. 54 (1964) S. 136, dazu beispielhaft nennt.

3 *Bahlburg, M.*: Modelle zur Raumforschung. In: Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung. — Hannover 1970. Sp. 1999.

4 Komplexität der räumlichen Systeme, Definition eindeutiger Zielfunktionen, fragwürdige Gleichgewichtsannahmen.

5 *Schindowski, D.*: Computer-Simulation der Stadtentwicklung. In: Theorie und Praxis der planerischen Entscheidung. — Dortmund 1972. = Arpud 72, 2. S. 117.

Begriff und Zielsetzung sogenannter Simulationsmodelle

Im Mittelpunkt von Simulationsverfahren stehen Modelle, das heißt Abbildungen realer Systeme mit besonders interessierenden Eigenschaften. Wegen der meist mit Simulationsverfahren verbundenen besonders praxisorientierten Zielsetzungen werden die dabei verwendeten Modelle deshalb der Realität soweit wie möglich nachgebildet. Die damit verbundene Komplexität bringt es mit sich, daß zum „Durchspielen“ von in der Realität nicht beobachtbaren Abläufen häufig Rechenmaschinen (EDV) verwendet werden (Maschinenexperiment). Im Gegensatz dazu stehen Simulationsverfahren, bei denen in den Ablauf des Experiments Personen eingreifen⁹.

Wegen der wachsenden Bedeutung des Einsatzes der EDV bei Simulationsverfahren beziehen sich unsere Erörterungen vor allem auf Probleme und Arten von Modellen, bei deren Lösung die EDV mit eingesetzt wird. So formuliert auch Harris im Zusammenhang über Erörterungen zu Problemen der Stadtumlandplanung, daß „the current vehicle for conditional prediction regarding metropolitan growth and development in this broad context is a computerized mathematical model“¹⁰.

Der Begriff von Simulationsmodellen wird in der Literatur unterschiedlich interpretiert. So wird einerseits pauschal festgestellt, daß mit Hilfe der Simulation praktisch verwertbare Modelle konstruiert werden können. Andererseits wird die Simulation auch als wissenschaftliches Experiment mit Hilfe eines mathematisch-logischen Modells verstanden. Auf eine große Zahl von Simulationsmodellen trifft dabei eine Definition zu, die die Simulation mit der Abbildung der Realität in Beziehung bringt. Danach ist Simulation „die modellmäßige Abbildung der komplexen ... Wirklichkeit im zeitlichen Ablauf auf dem Computer“¹¹.

Der Mangel bisheriger mathematisch-formalisierter Modelle liegt vor allem in ihrem nicht hinreichenden Realitätsbezug. Das ist insbesondere auf die Begrenzungen zurückzuführen, die mit analytischen Lösungstechniken verbunden sind.

Der Einsatz der EDV bei Simulationsmodellen ermöglicht die Formulierung wirklichkeitsnäherer Hypothesen. Die Formulierung dieser Modelle richtet sich deshalb nicht mehr an der zu verwendenden analytischen Lösungstechnik aus. Die Modelle können vielmehr dem zu untersuchenden System adäquater konstruiert und realen Abläufen besser angepaßt werden¹².

Mit Simulationsmodellen können Optimierungsprobleme gelöst und Fragen der Prognose behandelt werden, sie kön-

nen zur Erklärung von Systemen oder auch „nur“ zur Beschreibung eines bestimmten Systemverhalten herangezogen werden. Dabei können die Modellbedingungen so lange verändert werden, bis die Modellergebnisse oder auch die Modellstrukturen den realen Systemen hinreichend genau entsprechen. Insoweit wird bei Simulationsverfahren auch von einem Experiment mit Modellen gesprochen.

Damit wird deutlich, daß die mit der Simulation verbundene Zielsetzung vielschichtig sein kann. Sie muß deshalb im Einzelfall noch konkretisiert werden. So hat sich auch, je nachdem welches Ziel mit der Modellbildung verfolgt wird, welche Ansprüche und welchen Umfang die Modellkonstruktion umfaßt, eine Reihe vergleichbarer Modelle herausgebildet.

Arten von Simulationsmodellen und methodische Probleme

Dazu sind in der Literatur mehrere Klassifikationsversuche unternommen worden¹³. Diese teilweise unterschiedliche Art und Weise der Klassifikation von Modellen führt jedoch in den meisten Fällen zu sehr gleichartigen Ergebnissen. Aus diesem Grunde wird im folgenden eine Reihe von häufig wiederkehrenden Ordnungskriterien diskutiert¹⁴.

Deskriptive und analytische Modelle

Mit diesen beiden Modellbegriffen wird oft die Antinomie zwischen induktiven und deduktiven Methoden verbunden.

Deskriptive Modelle sind meist darauf gerichtet, mehr oder weniger exakte funktionale Beziehungen zwischen beobachteten Größen zu ermitteln. Analytische Modelle werden dagegen aus einer Analyse von Ursache und Wirkung abgeleitet. Im Gegensatz zu den erstgenannten Modellen, die aufgrund von Beobachtungen abgeleitet werden, liegt den analytischen Modellen ein theoretisches Konzept oder gar eine Theorie zugrunde.

Beide Modellarten haben je nach dem betrachteten Untersuchungsobjekt ihre besondere Bedeutung. Sie ergänzen sich gegenseitig und werden bei der Bildung und Fortentwicklung regionalwissenschaftlicher Theorien sowie bei der Lösung planerischer Probleme oft gleichzeitig eingesetzt¹⁵.

13 Vgl. dazu u. a. Harris, B., op. cit. S. 366; Nowak, J., op. cit., S. 366; Harbordt, S., op. cit., S. 22 f.

14 Im Rahmen dieser Darstellungen kann jedoch auf Probleme, die mit dem Aufwand (oder gar Kosten-Ertragsverhältnis) der Aufstellung solcher Modelle verbunden sind, nicht näher eingegangen werden. Ähnliches gilt auch für die Probleme im Zusammenhang mit der sog. „gaming simulation“ oder sog. „heuristischen Methoden“. Auch kann auf solche Modelle, die im wesentlichen mit der Nachbildung des Zufalls arbeiten, nicht weiter eingegangen werden. Eine ausführliche Darstellung dieser Modellklassifikation findet sich bei Barth, H.-G.: Das Basic-Nonbasic-Konzept als Erklärungsmodell von Siedlungsstruktur — dargestellt am Beispiel der Region Landau. Diss. — Hannover 1976.

15 Analytische Modelle stellen im Rahmen von Simulationsverfahren für empirische Tests eine geeignetere Grundlage dar (logisch begründeterer Forschungs- und Planungsansatz).

9 Dies ist ebenfalls ein Anwendungsbereich von Simulationsverfahren etwa bei Unternehmensspielen oder Planspielen.

10 Harris, B.: Quantitative models of urban development: their role in metropolitan policy-making. In: Issues in urban economics. Hrsg.: H. S. Perloff, L. Wingo. — Baltimore 1968. S. 263.

11 Nowak, J.: Simulation und Stadtentwicklungsplanung. — Stuttgart 1973. S. 14.

12 Damit können nun auch wesentlich komplexere Modelle entwickelt werden. Mathematische Gleichungen brauchen dabei nicht mehr einem speziellen Funktionstyp zu entsprechen, wie etwa dem linearer Funktionen.

Partialmodelle und Totalmodelle

Wird ein Ausschnitt aus einem Gesamtbereich herausgegriffen und wird dieser Ausschnitt einer systematischen Modellanalyse unterzogen, dann wird das entsprechende Modell als partielles Modell bezeichnet. Dabei wird in der Regel davon ausgegangen, daß sogenannte ausschnittsfremde Variable auf das Modellergebnis keinen oder keinen genau zu fixierenden Einfluß haben. Bei Totalmodellen ist der Gesamtbereich, zum Beispiel „die Region“ oder „die Stadt“, selbst Gegenstand der Untersuchung. Hier wird der Gesamtzusammenhang eines Systems untersucht, bei dem alle Teile (Ausschnitte) voneinander abhängen und in gegenseitiger Wechselbeziehung stehen.

Das Problem von Totalmodellen liegt vor allem in ihrer Komplexität. Da sehr viele Variable und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Teilen des Gesamtsystems berücksichtigt werden müssen, stellt dies Anforderungen an Theorie- und Modellkonstruktion, die diese in der Regel nicht erfüllen können. Deshalb sind Partialmodelle in Raumforschung und Raumplanung vorherrschend¹⁶.

Makromodelle und Mikromodelle

Diese aus der Volkswirtschaft entlehnten Begriffe können auch auf Simulationsmodelle in der Regionalwissenschaft angewendet werden. Während Mikrorelationen die Zusammenhänge zwischen Mikrovariablen (Elemente eines Systems) darstellen, erfassen Makrorelationen die Beziehungen zwischen Makrovariablen (aggregierte Elemente eines Systems).

Simulationsmodelle sind häufig Mikromodelle. Im Gegensatz zum allgemeinen Sprachgebrauch der Volkswirtschaftslehre kennzeichnen der Mikro- bzw. der Makrobegriff nicht den betreffenden Untersuchungsgegenstand. Vielmehr ist hiermit eine bestimmte Vorgehensweise bei der Modellkonstruktion und beim Modellablauf verbunden.

Der Unterschied von Mikromodellen zu Makromodellen besteht darin, daß bei den letzteren nicht ein Modellprozeß konstruiert wird, den die Elemente einzeln und in großer Zahl durchlaufen, sondern als Beziehung zwischen sich verändernden aggregierten Größen auf der Ebene des Systems. Bei den Mikromodellen dagegen stellt sich das Modellergebnis als Summe von sogenannten Mikroprozessen dar.

Das Problem bei der Konstruktion von Makromodellen liegt in der Entwicklung geeigneter Aggregationsregeln. Andererseits ist für die Anwendung sogenannter Mikromodelle oft keine ausreichende Datengrundlage vorhanden.

Statische Modelle und dynamische Modelle

Modelle werden als statisch bezeichnet, wenn sich ihre Variablen auf den gleichen Zeitpunkt oder die gleiche Zeitpe-

riode beziehen. In dynamischen Modellen ist dagegen die Zeitdimension ein wichtiges Element im Beziehungsgefüge der Modellvariablen und damit auch für das Ergebnis des Modellablaufes.

Die meisten Probleme von Raumforschung und Raumplanung sind zwar mehr von dynamischer als von statischer Art. Da aber die Lösung der Datenproblematik (für Variable und Parameter) sowie eine hinreichende Konstruktion der Zusammenhänge zwischen den Variablen¹⁷ bisher noch nicht befriedigend gelungen ist, werden vorwiegend statische Modelle¹⁸ angewendet. Bemerkenswert ist, daß diese ebenfalls im Rahmen einer dynamischen Analyse eingesetzt werden können, etwa durch Hintereinanderschalten mehrerer statischer Modelle in zeitlicher Reihenfolge¹⁹.

Interdependente und rekursive Modelle

Bei interdependenten Modellen gibt es zwischen den Variablen Wechselbeziehungen und Rückkopplungen. Solcher Art sind auch die meisten Probleme in Raumforschung und Raumplanung. Da aber die Konstruktion solcher Modelle äußerst schwierig und der mit ihrer Handhabung verbundene Rechenaufwand relativ hoch sind, weicht man in der Regel auf sogenannte rekursive Modelle aus.

Bei solchen Modellen werden die sogenannten endogenen Variablen nacheinander berechnet, während für die Rechenoperationen die exogenen, verzögerten oder zuvor endogen berechneten Variablen vorgegeben werden. Ein besonderer Vorteil dieser Modelle ist vor allem darin begründet, daß die zu errechnenden Parameter leichter ermittelt werden können²⁰.

Deterministische und stochastische Modelle

Folgt aus einer Variablenverknüpfung eines Modelles eine bestimmte andere, so ist das betreffende Modell deterministisch. Können jedoch über Variablenverknüpfungen nur wahrscheinlichkeitstheoretische Aussagen gemacht werden, so ist das betreffende Modell stochastisch. Obwohl viele Probleme in Raumforschung und Raumplanung mehr stochastischer als deterministischer Art sind, muß auch hier festgestellt werden, daß die meisten verwendeten Modelle mehr vom deterministischen Typ sind.

Angesichts vieler Unwägbarkeiten politischer, kultureller, technologischer Einflüsse und Veränderungen scheinen sto-

Bereiche eines Gesamtsystems in den Mittelpunkt politischen oder wissenschaftlichen Interesses gestellt. Vgl. dazu beispielsweise Forrester, J. W.: Urban dynamics. — Cambridge 1970.

17 Bedingt auch durch die unstetigen sozio-ökonomischen Entwicklungen kleiner Räume sowie der schwierigen Bestimmung der Zeitbezugspunkte sog. verzögerte Variablen.

18 Sie sind insbesondere dort als adäquate Analyseverfahren geeignet, wo es um die Untersuchung von Systemstrukturen geht.

19 Methode der komparativen Statik.

20 Rekursive Modelle kommen vor allem auch der sequentiellen Verarbeitung im Computer entgegen.

16 Dabei spielt das teilweise sehr unterschiedliche Erkenntnisinteresse eine wesentliche Rolle, denn oft werden nur schwerpunktartig

chastische Modelle zur Analyse regionalwissenschaftlicher bzw. raumplanerischer Probleme weniger geeignet zu sein²¹.

Quantitative und qualitative Modelle

Die Klassifikation der Modelle nach diesen beiden Kriterien bezieht sich lediglich auf die Eigenschaften der verwendeten Variablen. So handelt es sich dann um quantitative Modelle, wenn die verwendeten Variablen und Parameter überwiegend quantitative Größen repräsentieren.

In qualitativen Modellen wird dagegen versucht, den Untersuchungsgegenstand mittels qualitativer Größen zu erfassen. Die Variablen und Parameter werden in qualitativen Kategorien ausgedrückt. Das Ergebnis solcher Modelle besteht aus einer Summe qualitativer Informationen.

Während qualitative Modelle mehr im Bereich der Psychologie und der Soziologie eine gewisse Bedeutung erlangt haben, geht es in Raumforschung und Raumplanung vornehmlich um die Analyse von Makrosystemen (bei denen quantitative Größen vorherrschen) oder zumindest um das Wirkungsgefüge funktional-quantitativ miteinander verknüpfter Variablen. Hier dominieren deshalb Untersuchungen, bei denen quantitative Modelle angewendet werden²².

Mit dieser Darstellung verschiedener Arten von Simulationsmodellen ist auch gleichzeitig eine Reihe methodischer Probleme erwähnt worden, die mit der Anwendung solcher Simulationsverfahren verbunden sind. Von den vielfältigen, in der Literatur²³ diskutierten methodischen Fragen sollen hier jedoch noch einige besonders hervorgehoben werden.

Wenn wir unserer o.g. Modelldefinition folgen, nach der ein Modell ein mehr oder weniger vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit ist, so kann die Komplexität auch nur ein graduelles Merkmal eines Modelles darstellen. Dieses Merkmal wird einerseits bestimmt durch die Anzahl der Elemente und andererseits durch die Anzahl der Beziehungen zwischen diesen Elementen.

Wenn komplexe Systeme in Raumforschung und Raumplanung in Modellen dargestellt werden sollen, dann kann die Forderung nach der Erreichung eines gewissen Komplexitätsgrades zu einem schwierigen Problem werden.

Ein anderes Problem stellt das der ausreichenden Homomorphie dar. Entsprechen alle Elemente und Relationen des Modelles denjenigen des realen Systems und umgekehrt, dann sind Modell und Wirklichkeit isomorph. Das ist jedoch bisher mit der Konstruktion von Modellen nicht zu erreichen.

Deshalb können Modell und Wirklichkeit in der Regel nur homomorph (strukturähnlich) sein. Den Elementen und Relationen des Modells stehen dann nur entsprechende Elemente und Relationen des realen Systems gegenüber.

Schließlich sei noch auf ein letztes, besonders schwerwiegendes Problem hingewiesen. Bei der Anwendung von Simulationsverfahren ist die Frage der Bewertung (Aussagekraft, Anwendungsmöglichkeiten) des angewendeten Simulationsmodelles besonders von Bedeutung. Dies geschieht durch Tests der Modellhypothesen. Die Tests bestehen meistens darin, „die durch Simulation erzeugten Daten mit realen Daten ... zu vergleichen“²⁴. Getestet wird also die Prognosefähigkeit²⁵ des Modells. Hierzu ist jedoch eine Reihe von Einwänden gemacht worden. Das Grundproblem besteht vor allem darin, daß verschiedene Strukturen gleiches Verhalten erzeugen können. Die Folgerung, die man daraus ziehen muß, ist diejenige, daß man wohl aus richtigen Erklärungen richtige Prognosen ableiten kann, daß dies aber in umgekehrter Richtung nicht gelten muß.

Die Gültigkeit von Simulationsmodellen und ihrer Ergebnisse ist deshalb insoweit beschränkt, als sie sich auf allgemeine Aussagen beziehen. Im Hinblick auf den Bereich, auf den sich das betreffende Modell explizit bezieht, kann dieses jedoch für Raumforschung und Raumplanung durchaus ein brauchbares, das heißt wissenschaftlich und planerisch verwertbares Instrument darstellen.

Technik der Simulation

Es würde den Rahmen unserer Erörterungen sprengen, wenn wir auf spezielle Techniken der Computersimulation eingehen. Einige davon, wie die Behandlung des Faktors Zeit²⁶, der Aggregation von Variablen²⁷ oder auch die Behandlung von Zufallsvariablen²⁸, sind schon erwähnt worden. Auf den Einsatz bestimmter Computerarten, wie Digitalrechner oder Analogrechner, und der damit gekoppelten Techniken kann hier jedoch nicht eingegangen werden.

Dagegen wollen wir die einzelnen Arbeitsschritte, die mit dem Einsatz von Simulationsverfahren verbunden sind, in gedrängter Form erläutern. Damit können auch am besten die wesentlichsten Aspekte der Simulationstechnik in allgemeiner Form dargestellt werden²⁹.

Modellkonstruktion, Modelllösung, Modelltest und Modellexperiment wurden schon im Rahmen der methodischen Erörterungen als bedeutende Problembereiche von Simulationsverfahren erkannt. Sie sind zugleich auch die vier wichtigsten Arbeitsschritte in der Simulationstechnik der zeitlichen Abfolge entsprechend.

21 Annahmen im Hinblick auf die Verteilung sog. Zufallsvariablen, der Komplexitätsgrad solcher Modelle usw.

22 Dies auch im Hinblick darauf, daß bei räumlichen Modellen die Zahl der Variablen sehr groß werden würde. Die Anzahl der möglichen „Fälle“ würde dadurch so anwachsen, daß das Modell nicht mehr „handhabbar“ würde. Hier ergibt sich eine gewisse Analogie zu den sog. Mikromodellen.

23 Vgl. u. a. Harbordt, S., op. cit.; Meissner, W.: Zur Methodologie der Simulation. In: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft. (1970) Nr. 126.

24 Meissner, W., op. cit., S. 391.

25 Hier im Sinne von Ex-post-Prognose.

26 Statische/dynamische Modelle.

27 Mikro-/Makro-Modelle.

28 Deterministische/stochastische Modelle.

29 Ausführliche Darstellungen finden sich u. a. bei Harbordt, S., op. cit., S. 61 f.; Krüger, S., op. cit., S. 51 f. oder auch Mertens, P.: Simulation. — Stuttgart 1969. S. 10 f.

Der Modellkonstruktion vorgeschaltet sein müssen Überlegungen zum Untersuchungsziel³⁰.

Die Konstruktion des Modells muß mindestens folgende Überlegungen und Arbeitsphasen umfassen:

Zunächst ist zu klären, welcher Komplexitätsgrad im Hinblick auf Zeit, Kosten und Untersuchungsobjekt anstrebbar ist. Dabei ist zu klären, welche Modellart ausgewählt werden soll.

Danach müssen die Grenzen des zu untersuchenden Systems festgelegt werden (räumlich und inhaltlich), wobei diese im Ablauf des Simulationsverfahrens unter Umständen mehrfach abgeändert werden müssen. Das Erkennen der Elemente des Systems, die Auswahl der entscheidenden Variablen für die Modellsimulation und die dafür notwendige Datensammlung sind für die Operationalisierung des Modells und die Qualität seiner Lösungen eine entscheidende Frage. Das trifft in noch entscheidenderer Weise zu auf die Formalisierung des Modells. Einerseits geht es dabei um die Bestimmung der Relationen zwischen den Variablen (zum Beispiel Funktionstyp). Andererseits müssen die Modellparameter ebenfalls quantifiziert werden (zum Beispiel mittels statistischer Schätzverfahren).

Zur Erreichung des gewünschten Modellergebnisses gehört das Aufstellen eines speziellen, dem jeweiligen Rechner adäquaten Computerprogrammes.

Die im Zusammenhang mit dem Modelltest auftretenden Fragen sind schon behandelt worden. Dabei geht es im wesentlichen um die empirische Gültigkeit des Modells.

Als letzter Arbeitsschritt schließt sich daran das Experiment mit dem so gewonnenen Modell an, das heißt, es geht um seine Anwendungsmöglichkeiten in Theorie und Praxis. Dabei ist auch hier eine Reihe von Fragen zu beantworten. Es geht darum, wie viele Computerläufe notwendig sind, um den Anforderungen von Theorie und Planung adäquate Lösungen erreichen zu können. Es geht dabei aber auch um die hinreichende Anzahl der durchzuspielenden Faktorkombinationen sowie bei Optimierungen um die Erstellung von Präferenzfunktionen zur Bewertung alternativer Ergebnisse (Variablenreihen).

Anwendungsmöglichkeiten in Theorie und Praxis

Leistungs- und Anwendungsmöglichkeiten von Simulationstechniken (hier vor allem im Sinne von Computersimulation) werden besonders verdeutlicht durch ihre häufigen Anwendungen in den USA, aber auch in Europa. So werden in Bibliographien³¹ und einer ganzen Reihe grundsätzlicher Literatur³² über die Computersimulation vielfältige Anwendungsmöglichkeiten beschrieben.

Bei unseren Erörterungen über die mit der Anwendung von Simulationsmodellen verbundenen methodischen Probleme haben wir schon mehrfach auf Leistungs- und Anwendungsmöglichkeiten hingewiesen. Diese liegen bisher vor allem in der Explikation und Dynamisierung von Hypothesen und Theorien der Raumforschung, wobei wir feststellen können, daß die Objekte der Computersimulationen in aller Regel der mehr praxisbezogenen Forschung zuzurechnen sind³³. Dabei liegen die Vorzüge der Simulation nicht allein darin, daß damit die Möglichkeit eines tieferen Eindringens in das Verständnis der Zusammenhänge gegeben ist, die zwischen den Elementen theoretischer Systeme (den Modellen) bzw. der Realität gegeben sind. Simulationsmodelle können dagegen auch als Entscheidungshilfe der in der Raumplanung Handelnden herangezogen werden, indem sie die Konsequenzen einer Vielzahl von möglichen Handlungen dem Planer in relativ kurzer Zeit verdeutlichen und aufgrund einer Zielfunktion (bestimmte Wertvorstellungen bzw. Präferenzfunktionen) die bestmögliche Lösung und damit optimale Handlungen bzw. Handlungskombinationen ableiten³⁴. Insoweit kann die Computersimulation auch im Bereich der Raumplanung praktische Verwendung finden.

Ein Vorzug bei der Anwendung dieses Forschungs- und Planungsinstrumentes (als das wir die Computersimulation auch bezeichnen können) ist vor allem damit verbunden, daß das jeweilige Modell als sogenannter „Regler“ des Systems fungieren kann. Das heißt, dem Planer kann damit ein Planungssystem an die Hand gegeben werden, das, auf rationalen Prinzipien beruhend, eine Entscheidungshilfe darstellen kann.

Grundsätzlich ist jedoch festzustellen, daß die Computersimulation nur dort sinnvoll eingesetzt werden sollte, wo die zu behandelnden Systeme und die Auswirkungen von alternativen Maßnahmen auf das Verhalten dieser Systeme so komplex sind, daß, um diese zu operationalisieren, nur eine Reduktion auf ein Computermodell eine analytisch wie planerisch verwertbare Lösung ergeben kann.

Aus der Vielzahl der in Theorie und Praxis angewendeten Computersimulationsmodelle sollen abschließend einige wenige erwähnt werden, um das bisher Dargelegte beispielhaft zu verdeutlichen.

So werden Städte³⁵, Regionen, Länder, ja das gesamte Weltsystem simuliert. Am bekanntesten geworden ist dabei das Modell von *Meadows*³⁶, einer MIT-Studie, mit deren

nalplanung bei *Harbort*, S.: Computersimulationen . . . , 2 Beurteilung und Modellbeispiele, insb. S. 313 f. Vgl. auch die systematisierten Darstellungen von Simulationsmodellen im Zusammenhang mit der Stadtentwicklungsplanung von *Nowak*, J., op. cit.

33 Für den Bereich der Sozialwissenschaften stellt *Harbort* dagegen die These auf, daß die Methode viel mehr „zur Theoriebildung als zur unmittelbaren Lösung praktischer Probleme beitragen“ könne; denn in vielen Fällen reichten „weder die jeweiligen Objekttheorien noch die empirischen Daten aus, um hinreichend valide Modelle zu konstruieren“ (*Harbort*, S., op. cit., S. 235/236.).

34 Zum Beispiel bei Optimierungsmodellen.

35 Vgl. z. B. *Lowry*, I. S.: A model of Metropolis. Hrsg.: The Rand Corporation. — Santa Monica 1974; *Forrester*, J. W.: Urban dynamics. — Cambridge 1970.

36 Vgl. z. B. *Meadows*, D.: Grenzen des Wachstums. — Stuttgart 1972.

30 Zum Beispiel Simulation als Entscheidungshilfe zur Planung oder als Instrument des Hypothesentests.

31 Vgl. z. B. *Werner*, R.; *Werner*, J. T.: Bibliography of simulations: social systems and education. Hrsg.: Western Behavioral Sciences Institute. — La Jolla 1969.

32 Vgl. u. a. die Darstellung von 20 Simulationsmodellen und ihre Anwendung in den verschiedensten Bereichen der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, der Psychologie sowie der Stadt- und Regio-

Hilfe die Entwicklung der Umwelt und des sozioökonomischen Systems der Erde mit alternativen Annahmen über einen Zeitraum von rd. 130 Jahren simuliert (prognostiziert) worden ist.

Aus dem Bereich der Landschaftsplanung ist beispielsweise ein Modell bekannt³⁷, das die Kontrolle unterschiedlicher Flächennutzungen und deren Entwicklung im Einzugsgebiet der Ruhr zum Gegenstand hat. Dabei stehen Nutzungskonflikte zwischen Erholung, Trinkwassergewinnung, Industrieansiedlung und bevorzugter Wohnlage im Mittelpunkt der Untersuchungen. Das Ziel des Simulationsmodelles ist darauf gerichtet, operationale Aussagen über die Zulässigkeit neuer, vor allem die Umwelt weiter belastender Nutzungen (etwa gewerblich-industrielle Nutzung) im Einzugsbereich des Flußsystems (insbesondere in dessen Eigenschaft als Vorfluter) zu ermöglichen. Unter Einhaltung von bestimmten Obergrenzen der Belastbarkeit der Umwelt (Flußsystem) soll dabei die maximale Raumnutzungskapazität dieser Region erkundet werden.

37 Vgl. Cramer, L.; Mengden, J.; Seydel, H. M.; Wolfram, S.: Simulation ökologischer Prozesse. In: Garten und Landschaft. (1975) H. 7.

Insbesondere aus dem Bereich der Verkehrsplanung³⁸ und der Stadtplanung ist eine Vielzahl von Simulationsmodellen bekannt. So ist zum Beispiel das Simulationsmodell Polis³⁹ darauf gerichtet, als Instrument der Entscheidung im Rahmen der Flächennutzungsplanung angewendet werden zu können. Dabei ist das Modell vor allem auf ein sogenanntes Erreichbarkeitsmodell der verschiedenen Zonen der Stadt, wie Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Erholung, aufgebaut, das als Grundlage eine Datei des gegebenen und möglichen Verkehrsnetzes der Stadt hat. Die eigentliche Aufgabe des Modelles besteht dann in der Simulation alternativer Flächennutzungsentwicklung unter Vorgabe alternativer exogener Variablen (wie Gesamtentwicklung der Bevölkerung oder der industriellen Arbeitsplätze). Auf diese Weise können daneben auch die Entwicklungsmöglichkeiten des Verkehrsaufkommens simuliert werden, so daß das Modell auch als Entscheidungshilfe im Bereich der Infrastrukturplanung partiell eingesetzt werden kann.

38 Vgl. z. B. Rogers, S.: Computeranalyse für die Wahl der Trasse einer Schnellstraße in Rhode Island/USA. In: Garten und Landschaft. (1972) H. 12.

39 Vgl. z. B. auch das im Batelle-Institut entwickelte Modell zur Stadtentwicklungsplanung, dargestellt in einem Aufsatz von Wegener, M.; Meise, J.: Stadtentwicklungssimulation. In: Stadtbauwelt. (1971) 29.