

ZUR QUANTITATIVEN METHODE IN DER GEOGRAPHIE

FORRESTER'S COMPUTERSIMULATIONSMODELL URBAN DYNAMICS: EIN ÜBERBLICK ¹

Manfred M. FISCHER, Wien

(Mit 13 Textabbildungen)

Richtiges Auffassen einer Sache
Und Mißverstehen der gleichen Sache
Schließen einander nicht vollständig aus.

F. KAFKA

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitende Bemerkungen210
2. Einige grundsätzliche Bemerkungen zur Theorie der Informationsrückkopplungssysteme	212
3. Die allgemeine Struktur des Stadtentwicklungsmodells URBAN DYNAMICS	215
4. Ein kurzer Überblick über FORRESTER's Stadtplanungsprogramme	223
5. Zur Kritik des Modellansatzes	228
6. Anmerkungen	234
7. Literaturverzeichnis	236
Zusammenfassung, Summary, Résumé	239

1. EINLEITENDE BEMERKUNGEN

„Niemand käme je auf die Idee, ein Raumschiff ungetestet zum Mond zu schicken. Keine Firma würde eine neue Haushaltsmaschine, geschweige denn einen Computer in Produktion nehmen, ohne zuerst Testversuche durchgeführt zu haben. Modelle und Laborversuche können zwar nicht jeden Mißgriff verhindern, aber sie decken doch die meisten schwachen Stellen auf, so daß Fehler behoben werden können, ehe irreparable Folgen eingetreten sind.

Unsere Sozialsysteme sind sehr viel komplizierter und deshalb weitaus schwerer zu durchschauen als technische Systeme. Warum gehen wir dann bei der Modellbildung für soziale Systeme nicht auf dieselbe Art vor, bevor wir neue Regierungsprogramme erstellen und neue Gesetze erlassen? Die übliche Antwort lautet, man wisse eben noch zuwenig über Sozialsysteme, um sie exakt modellieren zu können. Welche Berechtigung aber gibt es dafür, Gesetze zu Änderungen von Sozialsystemen zu erlassen, wenn man diese nicht einmal zu modellieren vermag?“ (FORRESTER, 1976, p. 15).

Modelle städtischer Systeme sind prinzipiell nichts Neues. Allerdings basierte die Modellbildung lange Zeit auf einem relativ bescheidenen, statischen, rein deskriptiven Niveau. So verbleiben die klassischen Vertreter städtischer Modellansätze in einer undifferenzierten Beschreibung der Stadtstruktur, wie z. B. das Modell der konzentrischen Zonen von BURGESS (1925), das das Wachstum städtischer Systeme

als Produkt zentrifugaler sozialer Kräfte darstellt und zu einer konzentrischen Differenzierung der Landnutzung gelangt, und die Modelle des sektoralen Wachstums von HOYT (1939) und der multinuklearen Darstellung der Stadtstruktur von HARRIS und ULLMANN (1945), die ökonomische Bedingungen völlig außer acht lassen und keine für das städtische Wachstum entscheidende Variablen oder kausale Abhängigkeiten enthalten (FISCHER, 1974, p. 1).

Erst mit der Entwicklung und Verbreitung leistungsfähiger EDV-Anlagen sind die Möglichkeiten der Anwendung der mathematischen Modellbildung², insbesondere der Simulation³, erheblich gestiegen. Während Simulationsverfahren⁴ (v. a. Planspiele und Planspielsimulationen) bereits Anfang der 60er Jahre im militärischen Bereich wie auch in der Unternehmensforschung (Operations-Research) einen großen Aufschwung erlebt haben, gewinnen diese Methoden in den letzten Jahren auch bei der Erfassung und Planung sozioökonomischer Systeme, also im sozial- und regionalwissenschaftlichen Bereich, zunehmend an Bedeutung. (Reine) Computersimulationsmodelle sind im Vergleich zu anderen Kategorien der Simulation, wie zu den Planspielen und Planspielsimulationen, voll formalisiert, d. h. vollständig in eine formale Programmiersprache übersetzt (vergleiche FISCHER, 1976 b). Im Gegensatz zu analytischen Modellen können (reine) Computersimulationsmodelle allerdings auch nicht-mathematische Aussagen über Beziehungen zwischen Modell-elementen enthalten, die zwar formalisiert sind, jedoch keine mathematische Lösung besitzen, während sich die Struktur der analytischen Modelle ausschließlich aus präzisen mathematischen Aussagen zusammensetzt, die zumindest theoretisch mit Hilfe mathematischer Operationen gelöst werden können. Analytische Modelle⁵ bringen häufig starke Vereinfachungen mit sich und stellen daher manchmal ihren praktischen Nutzen in Frage. Demgegenüber bieten Computersimulationsmodelle die Chance zu größerer Praxisnähe. In der Regel gibt man Computersimulationen gegenüber analytischen Verfahren dann den Vorzug,

- wenn die Anzahl der Variablen für eine analytische Lösung zu umfangreich ist,
- wenn die Beziehungen zwischen den Modellelementen nicht-linear sind und daher nur schwer eine oder überhaupt keine analytische Lösung zulassen,
- wenn ein dynamisches Problem (v. a. mit großen Zeitverzögerungen) sich mit der Simulation leichter lösen läßt und
- wenn die zu analysierenden Prozesse probabilistisch sind.

Groß und ziemlich kontrovers ist die Resonanz auf FORRESTER's Computersimulationsmodelle⁶. Unbestritten bleibt wohl, daß FORRESTER (1969) das Verdienst gebührt, als erster ein umfassendes komplexes dynamisches städtisches System⁷ simuliert zu haben. Warum dem Computersimulationsmodell *Urban Dynamics* eine gewisse Sonderstellung einzuräumen ist, läßt sich mit MOODY (1970, p. 620) folgendermaßen begründen:

“Although the model has some deficiencies, serious attention must be given to it because it is the first large model to focus attention on the extremely important time-path behaviour of a city. This behaviour either has been omitted completely in other types of models such as equilibrium and optimization techniques, or it has been assumed implicitly to be simple monotonic functions as in diffusion and Monte-Carlo simulations.”

Die Entwicklung und Anwendung des systemtheoretischen Konzepts von FORRESTER⁸ zur Simulation komplexer dynamischer Systeme⁹ läßt sich in drei Phasen gliedern (FORRESTER, 1968 a, p. 400; vgl. hierzu auch SCHÖNEBECK, 1975, p. 30 ff.):

- Die erste Phase (1956—61), die mit der Veröffentlichung eines betriebswirtschaftlichen Simulationsmodells *Industrial Dynamics* ihren Abschluß findet, befaßt sich v. a. mit der Analyse und Planung ökonomischer Systeme (Industrieunternehmen, Produktionsprozesse).
- In der zweiten Phase (1962—66) führt FORRESTER das im Modell *Industrial Dynamics* anklingende systemtheoretische Konzept der Informationsrückkopplungssysteme weiter und entwickelt zur Analyse beliebiger komplexer dynamischer Systeme einen allgemeineren systemtheoretischen Ansatz (system dynamics; Systemdynamik). Diese Arbeit findet in dem Buch "principles of systems" (FORRESTER, 1968 b) ihren Niederschlag.
- In der dritten Phase (ab 1967) geht es FORRESTER einerseits um die Weiterentwicklung seiner Theorie und andererseits um deren Anwendung auf unterschiedlich strukturierte Systeme. In dieser Phase läßt sich die Entwicklung seines Stadtentwicklungssimulationsmodells *Urban Dynamics* und seines Weltmodells *World Dynamics* einordnen.

Mit dem Computersimulationsmodell *Urban Dynamics* verbindet sich die nicht gerade als bescheiden zu bezeichnende Zielsetzung:

- die typische Entwicklung eines (US-amerikanischen) städtischen Systems über einen Zeitraum von 250 Jahren zu simulieren, um einen Einblick in den Mechanismus komplexer dynamischer städtischer Systeme gewinnen zu können, und
- die langfristigen Auswirkungen planungspolitischer Zielsetzungen und Programme (über einen weiteren Zeitraum von 50 Jahren) auf das Verhalten eines städtischen Systems zu testen, um Erkenntnisse zur Steigerung der wirtschaftlichen Leistungskraft stagnierender US-amerikanischer Großstädte erzielen zu können.

Im Vordergrund der Diskussion über FORRESTER's *Urban Dynamics* steht, da den Kritikern eine tiefere Kenntnis der inneren Modellzusammenhänge nicht selten zu fehlen scheint, häufig eine unkritische, oberflächliche Rezeption und Bewertung der Modellergebnisse. Mit diesem Aufsatz soll der Versuch unternommen werden, einen für mathematisch Ungeschulte leicht verständlichen, aber zugleich auch wissenschaftlich fundierten Überblick über FORRESTER's *Urban Dynamics* zu liefern. Nach einigen grundsätzlichen Bemerkungen zur Theorie der Informationsrückkopplungssysteme, auf der die Simulationsmodelle vom FORRESTER Typ basieren, wird die allgemeine Struktur des Stadtsimulationsmodells *Urban Dynamics* in groben Zügen expliziert, ein Überblick über FORRESTER's Stadtplanungsprogramme gegeben und schließlich das Modell in einigen uns zentral erscheinenden Punkten kritisiert.

2. EINIGE GRUNDSÄTZLICHE BEMERKUNGEN ZUR THEORIE DER INFORMATIONSRÜCKKOPPLUNGSSYSTEME

Ein tieferes Eindringen in technische Einzelheiten und in die mathematische Modellstruktur, so wünschenswert und anregend es wäre und so dringend es deshalb dem „mathematisch versierten“ Leser¹⁰ empfohlen sei, würde der Zielsetzung dieses Aufsatzes widersprechen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich demnach im wesentlichen nur auf eine Explikation der dem Modell zugrundeliegenden Strukturschemata. FORRESTER's Computersimulationsmodell basiert auf einer stark von kybernetischen¹¹ Erkenntnissen beeinflussten Theorie der Informationsrückkopplungssysteme (information feedback systems) (vergleiche FORRESTER, 1968 b). Der systemtheoretische Ansatz, der die Modellstruktur in hohem Maße

determiniert, geht davon aus, daß ein zu analysierendes System in einfache, leichter zu erfassende Regelsysteme (Regelkreise, Rückkopplungsschleifen oder feedback loops) zerlegt und diese anschließend zu einem komplexen Gesamtsystem zusammengefügt werden können¹². Wichtigstes Strukturelement innerhalb der Modellstruktur des *Urban Dynamics* ist die Rückkopplungsschleife¹³. Eine Rückkopplungsschleife setzt sich aus Elementen und Relationen zwischen diesen Elementen zusammen. Zur Beschreibung eines Regelkreises (Rückkopplungsschleife) benötigen wir v. a. zwei grundsätzlich verschiedene Variablentypen:

- die Status- oder Zustandsvariablen (level or status variables), die graphisch als Rechtecke \square dargestellt werden können und den Zustand des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt kennzeichnen, und
- die Fluß- oder Veränderungsratevariablen (flow or rate variables), die graphisch als Ventile $\square \times$ gekennzeichnet werden, die Wirkungszusammenhänge zwischen den Statusvariablen beschreiben und die Veränderung dieser Variablen in einem Zeitabschnitt hervorrufen.

Zur Beschreibung einer Rückkopplungsschleife können darüber hinaus noch Konstante und Hilfsvariable herangezogen werden. Die Veränderungsratevariablen spiegeln verschiedene Einflußfaktoren wider, die auf die Substruktur der Flußvariablen einwirken. Als Grundkomponenten der Substruktur dieses Variablentyps treten die Zielvorstellung, der beobachtete Zustand des Systems, die Diskrepanz

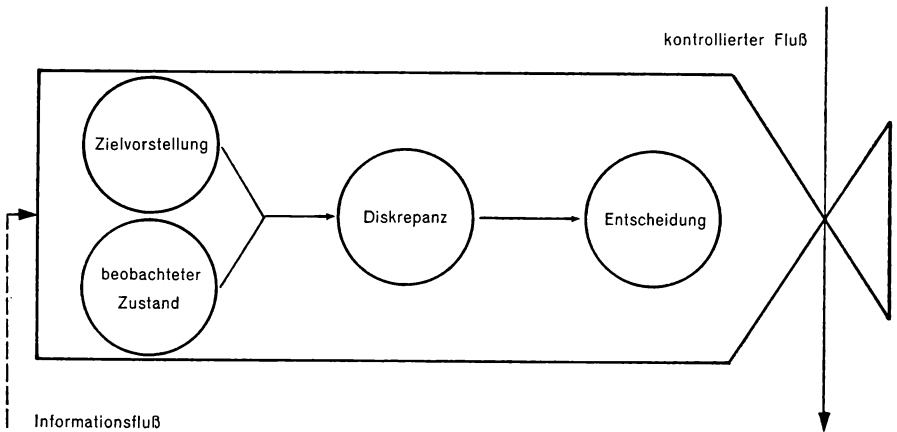


Fig. 1: Substruktur der Flußvariablen (vergleiche FORRESTER, 1968, p. 4—15)

zwischen Zielsetzung und Beobachtung und die Umsetzung in eine Entscheidung¹⁴ (Änderung der Flußvariablen) auf (vergleiche Fig. 1). Die Veränderungsratevariablen resultieren somit aus gegenwärtigen Zustandsgrößen und Konstanten. Im Gegensatz zu den Zustandsvariablen sind die Flußvariablen nicht von früheren Werten abhängig, lassen sich aber direkt beeinflussen. Der Wert einer Flußvariablen wird nämlich mit Hilfe einer sogenannten Entscheidungsfunktion festgelegt, die eine Beziehung zwischen beobachtetem Zustand und Zielvorstellung herstellt. Im einfachsten Fall läßt sich der Wert der Flußvariablen als prozentueller Anteil an einem Bestand ermitteln. Läßt sich der funktionale Zusammenhang jedoch nicht einfach

durch Multiplikation mit einer Konstanten beschreiben, so dienen sogenannte Tabellenfunktionen dazu, die Einflußfaktoren zu bestimmen und die „Normalwerte“ der Flußvariablen dementsprechend zu verändern.

Die Rückkopplungsschleifen haben nun die Aufgabe, die beiden Variablentypen Status- und Flußvariablen miteinander zu verbinden, und erzeugen infolgedessen das Verhalten des Systems. Die Veränderungen in Feedback-Systemen lassen sich durch ein System von Differentialgleichungen beschreiben. Die im Rahmen des „industrial dynamics project“ am M.I.T. entwickelte Simulationssprache¹⁵ DYNAMO betrachtet diese (eigentlich kontinuierlich ablaufenden) Veränderungen innerhalb eines Feedback-Systems in kleinen Zeitintervallen und ermittelt diese Veränderungen für jeden Zeitabschnitt näherungsweise diskret. Aus diesem Grund enthält das Computersimulationsmodell *Urban Dynamics* keine Differentialgleichungen, sondern v. a. Differenzgleichungen (und zwar Differenzgleichungen 1. Ordnung). Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Formen der Rückkopplung unterscheiden: eine positive (kumulative) Rückkopplung, die einen Verstärkungseffekt bewirkt und als typisch für Wachstums- oder Schrumpfungsprozesse angesehen werden kann, und eine negative (kompensierende) Rückkopplung, die eine regulierende, stabilisierende Funktion besitzt und das System zu einem Gleichgewichtszustand führen kann. Als Beispiel einer möglichst einfachen positiven Rückkopplungsschleife ist in Fig. 2 der Regelkreis, bestehend aus der Zustandsvariablen Bevölkerungszahl und der Veränderungsratevariablen Geburtenfälle, dargestellt. Die Gesamtheit aller nicht zum Rückkopplungssystem gehörenden Faktoren, die auf das System einen gewissen Einfluß ausüben können, werden summarisch unter dem Begriff Umwelt zusammengefaßt, in Fig. 2 graphisch durch Wolken (siehe Figur) gekennzeichnet und je nach Lage zur Fließrichtung als Quelle oder Senke bezeichnet. Die Flußvariable (in Fig. 2 die Geburtenfälle) kontrolliert den Fluß, durch den wiederum die Zustandsvariable gesteuert wird. Die Änderung des Zustands in der Zeit erfolgt durch Akkumulation des Flusses. Die Informationen über den Zustand des Systems sind die Basis für die Steuerung der Flußvariablen und „ventilieren“ somit den Transfer zwischen Quelle und Zustand des Systems.

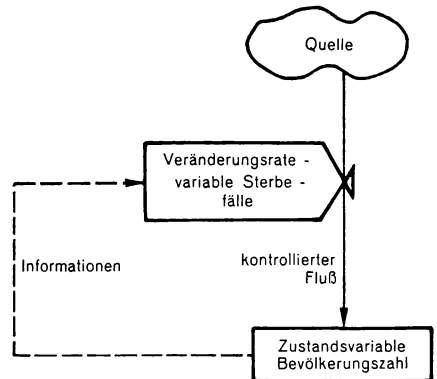
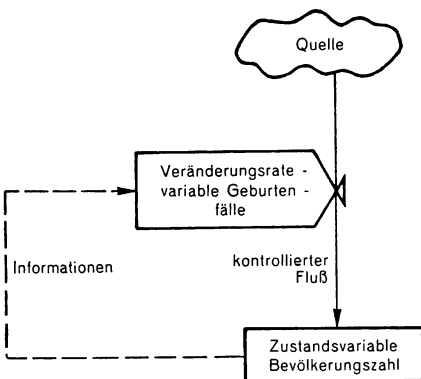


Fig. 2

Fig. 3

Beispiel einer einfachen positiven Rückkopplungsschleife (Fig. 2: Geburtenfälle-Bevölkerungszahl) und einer einfachen negativen Rückkopplungsschleife; (Fig. 3: Sterbefälle-Bevölkerungszahl)

Bleiben alle sonstigen Bedingungen des Systems (Fig. 2), wie etwa die Fertilität, konstant, so bewirkt die Veränderungsratevariable Geburtenfälle ein beschleunigtes Steigen der Bevölkerungszahl, da die zusätzlich geborenen Kinder nach einiger Zeit, nach einem sogenannten time-lag, selbst Kinder zeugen können. Ein positiver Regelkreis tendiert zu einer Zunahme bis zum Unendlichen. Eine Rückkopplungsschleife, die sich aus der Zustandsvariablen Bevölkerung und der Veränderungsratevariablen Sterbefälle zusammensetzt, stellt dagegen eine möglichst einfache negative Rückkopplungsschleife dar. Denn ein einmaliger Anstieg der Bevölkerung führt auch zu einem Ansteigen der Sterbefälle und damit wieder zu einer Abnahme der Bevölkerung.

Meist wird jede Zustandsvariable innerhalb eines komplexeren Rückkopplungssystems gleichzeitig durch mehrere positive und negative Regelkreise beeinflusst. Bei unserem Beispiel würde die Bevölkerungszahl mit den Geburtenfällen über eine positive Rückkopplungsschleife und mit den Sterbefällen über einen negativen Regelkreis in Verbindung stehen. Dieses Feedback-System kann in einem weiteren Schritt mit einem Rückkopplungssystem verbunden werden, das die Migrationen simuliert. Differenziert man die Variablen dieses Systems noch nach sozioökonomischen Kategorien, so ergibt sich zur Erfassung der Bevölkerungsbewegung schon ein ziemlich komplexes Rückkopplungssystem.

Entscheidend für den Aufbau und die Dynamik des *Urban Dynamics* ist die Vermaschung (Interaktion) von positiven und negativen Rückkopplungsschleifen verschiedenster Ordnung¹⁶ innerhalb des geschlossenen Systems zu einem komplexen Rückkopplungssystem. FORRESTER charakterisiert, ausgehend von der zentralen Prämisse eines geschlossenen Systems, ein komplexes dynamisches System durch eine vierstufige Struktur (vergleiche FORRESTER, 1968 b, pp. 4—1 ff.; 1969, p. 12):

- geschlossenes System,
 - Rückkopplungsschleife als wichtigstes Strukturelement innerhalb des Systems,
 - Status- und Flußvariable als fundamentale Variablentypen einer Rückkopplungsschleife,
 - Zielvorstellung, beobachteter Zustand des Systems, Diskrepanz zwischen Zielvorstellung und beobachtetem Zustand sowie Entscheidung als Hauptkomponenten der Substruktur der Flußvariablen.

3. DIE ALLGEMEINE STRUKTUR DES STADTENTWICKLUNGSMODELLS *URBAN DYNAMICS*

Diesen in Umrissen angedeuteten systemtheoretischen Ansatz, der den Vorteil mit sich bringt, auch komplexe, nicht-lineare Zusammenhänge in „realen“ Systemen leicht verständlich darzustellen, hat FORRESTER (1969) am Beispiel der Entwicklung einer Stadt mathematisch¹⁷ und graphisch mit dem *Urban Dynamics* konkretisiert. Das dem Modell zugrundeliegende dynamische System wird im wesentlichen durch die Subsysteme Wirtschaft, Bevölkerung und Wohnungsmarkt erfaßt. Verkehrs- und Landnutzungsmodelle finden ebensowenig Eingang in die Modellstruktur wie eine räumliche Dimension. Fig. 4 zeigt die wichtigsten Zustands- und Veränderungsratevariablen des *Urban Dynamics*. Die zahlreichen und relativ komplexen Einflußmöglichkeiten der Zustandsvariablen auf einzelne Veränderungsratevariablen wurden nicht dargestellt, da das Netz dieser Verbindungen das Diagramm zu sehr verkomplizieren würde.

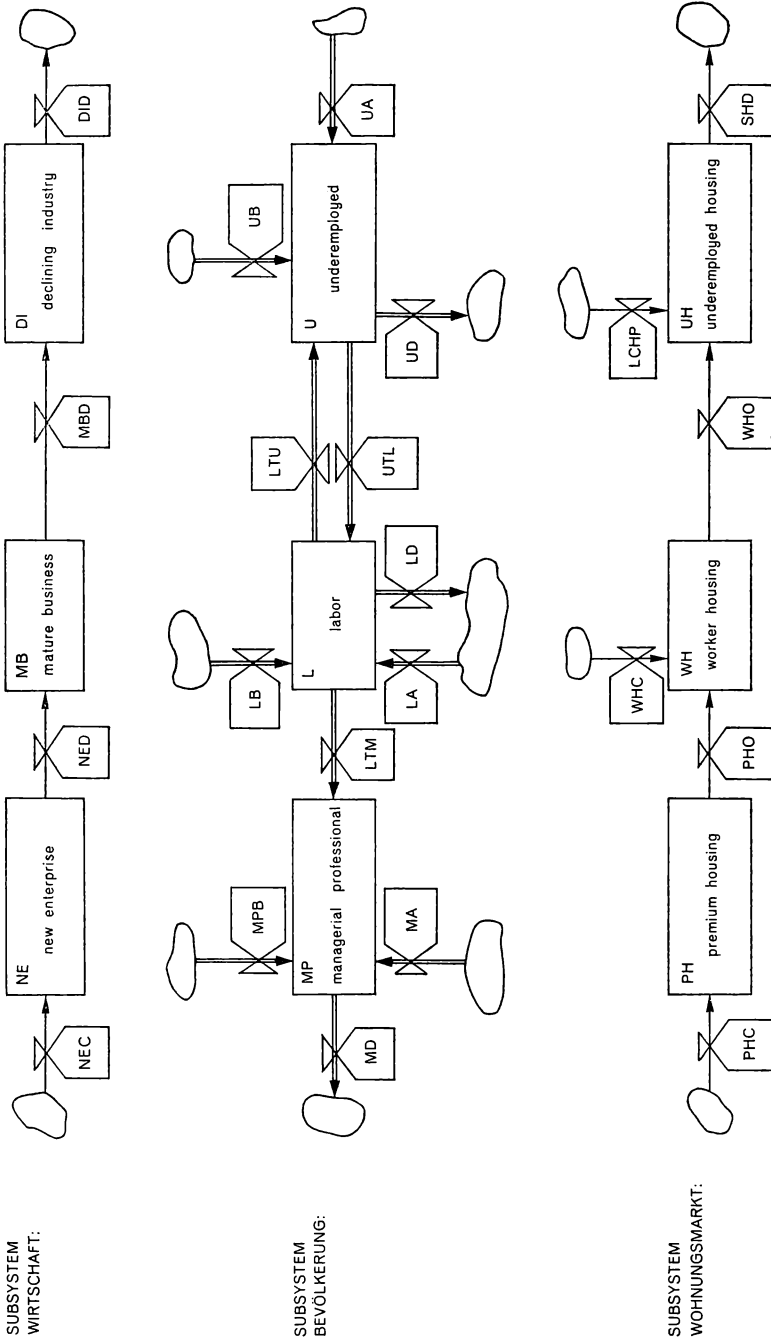
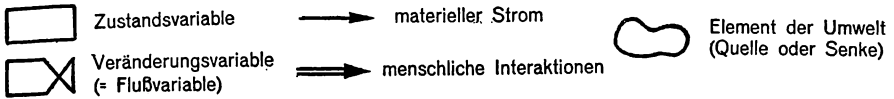


Fig. 4: Die wesentlichsten Zustands- und Veränderungsratevariablen des Stadtsimulationsmodells URBAN DYNAMICS (modifiziert nach FORRESTER, 1969, p. 16)

Legende zu nebenstehender Figur 4
Erläuterung der Fußdiagramm-Symbole:



Zustands- und Veränderungsratevariablen (Erklärung der Abkürzungen).

- NE neue/„junge“ Unternehmen (new enterprise)
 MB expandierende/„reife“ Unternehmen (mature business)
 DI stagnierende/„absteigende“ Unternehmen (declining industry)
 NEC Errichtung von neuen Unternehmen (new enterprise construction)
 NED Übergang von neuen/„jungen“ Unternehmen in die Kategorie expandierende/„reife“ Unternehmen (new enterprise decline)
 MBD Übergang von expandierenden/„reifen“ Unternehmen in die Kategorie stagnierende/„absteigende“ Unternehmen (mature business decline)
 DID Abbruch von stagnierenden/„absteigenden“ Unternehmen (declining industry)
 MP Führungskräfte (managerial-professional)
 L Facharbeiter (labor)
 U ungelernete Arbeiter (underemployed)
 MD Wegzug von Führungskräften (manager departures)
 MPB Geburtenbilanz von Führungskräften (managerial-professional births)
 MA Zuzug von Führungskräften (manager arrivals)
 LTM soziale Mobilität: Facharbeiter zu Führungskräften (labor to manager)
 LB Geburtenbilanz von Facharbeitern (labor births)
 LA Zuzug von Facharbeitern (labor arrivals)
 LD Wegzug von Facharbeitern (labor departures)
 LTU soziale Mobilität: Facharbeiter zu ungelerten Arbeitern (labor to under-employed)
 UTL soziale Mobilität: ungelernete Arbeiter zu Facharbeitern (underemployed to labor)
 UD Wegzug von ungelerten Arbeitern (underemployed departures)
 UB Geburtenbilanz von ungelerten Arbeitern (underemployed births)
 UA Zuzug von ungelerten Arbeitern (underemployed arrivals)
 PH überdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen: für Führungskräfte (premium housing)
 WH durchschnittlich ausgestattete Wohnungen: für Facharbeiter (worker housing)
 UH unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen: für ungelernete Arbeiter (under-employed housing)
 PHC Bau von überdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen (premium housing construction)
 PHO Übergang von überdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen in die Kategorie durchschnittlich ausgestattete Wohnungen (premium housing obsolescence)
 WHC Bau von durchschnittlich ausgestatteten Wohnungen (worker housing construction)
 WHO Übergang von durchschnittlich ausgestatteten Wohnungen in die Kategorie unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen (worker housing obsolescence)
 LCPH soziales Wohnungsbauprogramm (low cost housing program)
 SHD Abbruch von unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen (slum housing demolition)

Die 9 Zustandsvariablen in Fig. 4 repräsentieren die 3 Subsysteme, und zwar:

- das Subsystem Wirtschaft ¹⁸ die Zustandsvariablen:
 neue/„junge“ Unternehmen (new enterprise; NE)
 expandierende/„reife“ Unternehmen (mature business; MB)
 stagnierende/„absteigende“ Unternehmen (declining industry; DI)
- das Subsystem Bevölkerung ¹⁹ die Zustandsvariablen:
 Führungskräfte (managerial-professional; MP)
 Facharbeiter (labor; L)
 ungelernete Arbeiter incl. Arbeitslose etc. (underemployed; U)

FORRESTER (1969, p. 19) definiert die Kategorien L und UH besonders vage: "The labor is skilled labor fully participating in the urban economy. Underemployed workers include, in addition to the unemployed and unemployable, people in unskilled jobs, those in marginal economic activity, and those not seeking employment who might work in a period of intense economic activity". Es ist unmöglich, die Vagheit dieser Begriffe durch entsprechende deutsche Begriffe befriedigend zu erfassen. NOWAK (1973) übersetzt die Kategorien labor und underemployed mit den Begriffen Facharbeiter und Hilfsarbeiter, SCHONEBECK (1975) mit qualifizierten und ungelerten Arbeitern. Wir schließen uns der Terminologie von FORRESTER (1970, p. 534) an und verwenden die Begriffe Facharbeiter und ungelernete Arbeiter.

- Das Subsystem Wohnungsmarkt die Zustandsvariablen:
 überdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen; für ungelernete Arbeiter (underemployed housing; UH)
 durchschnittlich ausgestattete Wohnungen; für Facharbeiter (worker housing; WH)
 unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen; für ungelernete Arbeiter (underemployed housing; UH).

Das Subsystem Wirtschaft besteht im wesentlichen aus den 3 Zustandsvariablen NE, MB, DI und den 4 Veränderungsratevariablen NEC, NED, MBD, DID (vergleiche Fig. 4). Neubauten sind nur in der Kategorie NE möglich (Veränderungsratevariable NEC). Unternehmen dieser Kategorie gehen nach einer durchschnittlichen ²⁰ Verweildauer von 10,5 Jahren in die Kategorie MB über (Veränderungsratevariable NED); nach durchschnittlich weiteren 17 Jahren werden die Unternehmen der Kategorie MB der Kategorie DI zugeordnet (Veränderungsratevariable MBD), um schließlich nach durchschnittlich 36 Jahren Verweildauer in dieser Kategorie abgerissen zu werden (FORRESTER, 1969, p. 49 ff.). Aufgrund dieser Entwicklungskette beeinflussen die Zuwachsraten in der Kategorie NE mittelbar auch die Zuwachsraten der beiden anderen Kategorien MB und DI. Zu- und Abfluß bestimmen den Bestand der Unternehmen in den verschiedenen Kategorien und werden ihrerseits durch die Veränderungsratevariablen NEC, NED, MBD gesteuert. Diese Variablen wiederum hängen, was in Fig. 4 nicht dargestellt werden konnte, von Informationen über den Systemzustand, von bestimmten Zielvorstellungen und von sog. Attraktivitätsmultiplikatoren ab. So z. B. wird die Veränderungsratevariable NEC im wesentlichen von Faktoren wie Verhältnis Führungskräfte zu freien Arbeitsplätzen, Verhältnis der bebauten zur maximal bebaubaren Fläche, von der Steuerbelastung und von einem spekulativen Faktor beeinflusst. Diese Einflußfaktoren können die durchschnittliche Verweildauer in der Kategorie NE verkürzen oder verlängern.

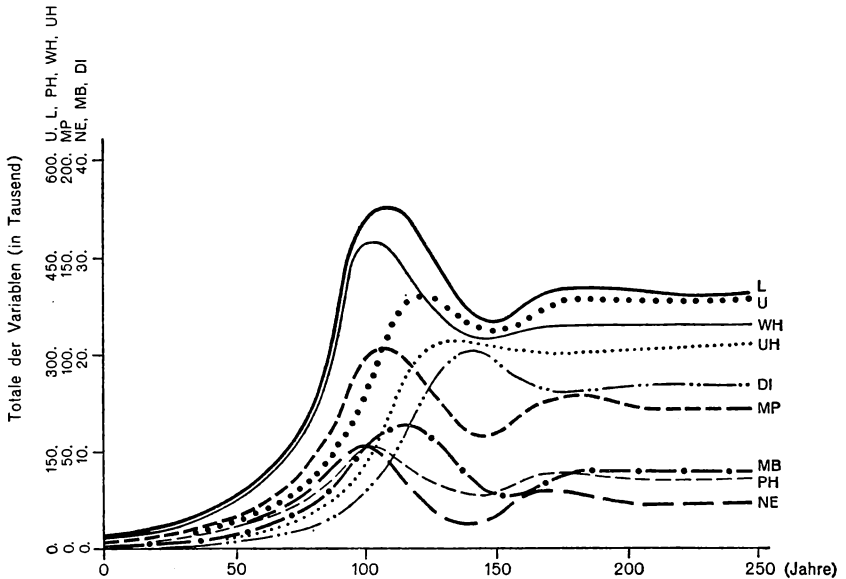
Das Subsystem Bevölkerung setzt sich aus 3 Zustandsvariablen und 12 Veränderungsratevariablen zusammen (vergleiche Fig. 4). Der Bestand der einzelnen Zustandsvariablen ist das Ergebnis der nach den Kategorien MP, L und U disaggregierten Geburtenbilanzen (MPB, LB, UB), der Zu- und Abwanderungen (MA, MD, LA, LD, UA, UD) und der sozialen Mobilität (LTU, UTL, LTM). So wächst z. B. der Bestand der Zustandsvariablen U infolge des Zuzugs von ungelerten Arbeitern UA, der Geburtenbilanz von ungelerten Arbeitern UB und einer sozialen (abwärts gerichteten)

Mobilität LTU (Facharbeiter zu ungelernete Arbeiter), während der Bestand dieser Zustandsvariablen durch die Abwanderung von ungelerten Arbeitern UD und durch eine soziale Mobilität UTL, die von der Kategorie U zur Kategorie L (beruflicher Aufstieg) führt, reduziert wird. Die einzelnen Veränderungsratevariablen hängen von einer Vielzahl von Einflußfaktoren ab. Ohne hier auf Einzelheiten eingehen zu können, wollen wir einige Faktoren erwähnen, die die Zuwanderung von ungelerten Arbeitern UA bestimmen: das Verhältnis zwischen Bestand an ungelerten Arbeitern und offenen Stellen UR, die wirtschaftliche (Aufwärts-)Entwicklung, das Verhältnis zwischen der Anzahl an ungelerten Arbeitern und verfügbaren Wohnungen UHR, Subventionen der öffentlichen Hand (steuerliches Prokopfaufkommen), soziale Wohnbauprogramme. Mit Hilfe von sozioökonomischen Parametern werden die entsprechenden Bevölkerungsschichten ermittelt. Die Entwicklung der Bevölkerung wie auch das quantitative Verhältnis der einzelnen Bevölkerungskategorien zueinander ist in starkem Maße von dem Bestand an Unternehmen in den Kategorien NE, MB und DI abhängig. Es sollte nicht unerwähnt bleiben, daß in diesem Zusammenhang auch andere Komponenten, wie feste Personalanforderungen der verschiedenen Unternehmenskategorien bei einer fest vorgeschriebenen Familiengröße, das Wohnungsangebot, die Höhe der Steuern, die öffentlichen Ausgaben für kommunale Dienstleistungen, die Möglichkeiten beruflicher Fortbildung wie sozialer Mobilität, Vorurteile und Traditionen etc. im Modell berücksichtigt werden. Zwischen den Subsystemen Wohnungsmarkt und Bevölkerung, genauer zwischen der Ausstattung der Wohnungen und den Nutzern, besteht eine eindeutige Zuordnung. Überdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen werden demzufolge nur von Führungskräften, durchschnittlich ausgestattete nur von Facharbeitern und unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen nur von ungelerten Arbeitern bewohnt.

Ähnlich wie beim Subsystem Wirtschaft sieht die Entwicklungskette des Subsystems Wohnungsmarkt aus (vergleiche Fig. 4). Allerdings können im Unterschied zum Subsystem Wirtschaft in allen 3 Kategorien Neubauten errichtet werden. Der Bau von überdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen PHC ist v. a. eine Funktion des Verhältnisses zwischen Bestand an Führungskräften und Bestand an überdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen, des Verhältnisses zwischen Anzahl der Führungskräfte und Umfang der Gesamtbevölkerung, des Verhältnisses der bebauten zur maximal bebaubaren Fläche, der Steuerbelastung und des historischen Trends beim Bau von überdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen. Durch ähnliche Faktoren wird die Konstruktion von durchschnittlich ausgestatteten Wohnungen WHC bestimmt, während soziale Wohnbauprogramme LCHP die einzige Quelle zur Errichtung neuer Wohneinheiten der Kategorie unterdurchschnittlich ausgestatteter Wohnungen sind. Durch den natürlichen Alterungsprozeß gelangen, analog zum Subsystem Wirtschaft, außerdem zusätzliche Wohneinheiten in die Kategorien WH und UH. Erwähnenswert in diesem Zusammenhang scheint noch FORRESTER's Prämisse zu sein, daß nur unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen niedrigerissen werden.

Das *Urban Dynamics* simuliert in einer ersten Zeitperiode von 250 Jahren²¹, beginnend mit dem Anfang der Stadtentwicklung²² über die Phasen des Wachstums und der Sättigung bis hin zur Phase der Stagnation, die typische Entwicklung eines (US-amerikanischen) städtischen Systems. Fig. 5—7 dienen dazu, den Verlauf der eben beschriebenen Zustandsvariablen (vergleiche Fig. 5), den Verlauf weiterer wichtiger Variablen — sog. „ratios“ — (vergleiche Fig. 6) und den Verlauf ausgewählter Veränderungsratevariablen (vergleiche Fig. 7) über eine Zeitperiode

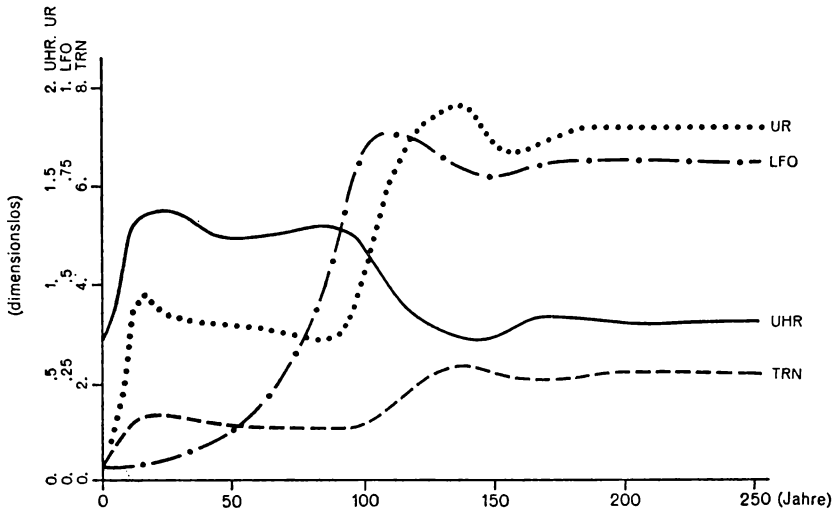
von 250 Jahren zu beschreiben. Wie man aus Fig. 5 unschwer erkennen kann, sind die ersten 100 Jahre durch ein exponentielles Wachstum der Kurven gekennzeichnet. Der Kurvenverlauf der Zustandsvariablen überdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen und neue/„junge“ Unternehmen erreicht im Jahr 102 bzw. 103 sein Maximum, der Kurvenverlauf der Zustandsvariablen durchschnittlich ausgestattete Wohnungen, Führungskräfte und Facharbeiter im Jahre 104 bzw. 109 bzw. 111 sein Maximum. Bedingt durch dieses Wachstum und vor allem durch die Modellprämisse eines geschlossenen Systems tritt nach den ersten Jahren eine zunehmende Ver-



- — — — — NE (neue/„junge“ Unternehmen; new enterprise)
- • — • — • — MB (expandierende/„reife“ Unternehmen; mature business)
- · · · — · · · — DI (stagnierende/„absteigende“ Unternehmen; declining industry)
- — — — — PH (überdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen; premium housing)
- WH (durchschnittlich ausgestattete Wohnungen; worker housing)
- · · · · UH (unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen; underemployed housing)
- — — — — MP (Führungskräfte; managerial-professional)
- L (Facharbeiter; labor)
- · · · · U (ungelernte Arbeiter; underemployed)

Fig. 5: Die Entwicklung eines städtischen Systems (Wachstum, Sättigung und Stagnation): Der Verlauf der 9 wesentlichsten Zustandsvariablen des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 250 Jahren (nach FORRESTER, 1969, p. 40)

knappung des Bodens auf, die den Wachstumsprozeß hemmt. Infolge dieser Landverknappung verschärft sich die Konkurrenz zwischen den Subsystemen Wirtschaft und Wohnungsmarkt. Die Bebauung des städtischen Systems erreicht schließlich einen Grad, bei dem weitere Wirtschaftsunternehmen sich nur dann ansiedeln und weitere Wohnungen nur dann errichtet werden können, wenn alte Baustrukturen, d. h. unterdurchschnittlich ausgestattete Wohnungen bzw. stagnierende/„absteigende“ Unternehmen niedergerissen werden (vergleiche hierzu in Fig. 6 den Kurvenverlauf der Variablen Verhältnis der bebauten zur maximal bebaubaren Fläche). Eng verbunden mit dem Mangel an zusätzlich bebaubarem Land ist das Sinken der Attraktivität²³ des städtischen Systems. Zuwanderungsraten schlagen deshalb in Abwanderungsraten um. Dennoch steigt in den Jahren 100 bis 123 die Kurve der Variablen ungelernete Arbeiter. Dieses Ansteigen des Kurvenverlaufes läßt sich auf einen durch einen positiven feedback loop bedingten Zeitverzug zurückführen, der den Zuzug an ungelerten Arbeitern aus der Umwelt mit sich bringt (vergleiche Fig. 7). Das Ansteigen des Kurvenverlaufes der Variablen unterdurchschnittlich aus-



- UR (Verhältnis von ungelerten Arbeitern zu offenen Stellen; underemployed/job ratio)
- . - . - . LFO (Verhältnis von bebauter zu maximal bebaubarer Fläche; land fraction occupied)
- UHR (Verhältnis von ungelerten Arbeitern zu verfügbarem Wohnraum; underemployed/housing ratio)
- - - - - TRN (notwendige Steuerbelastung; tax ratio needed)

Fig. 6: Die Entwicklung eines städtischen Systems (Wachstum, Sättigung und Stagnation): Der Verlauf weiterer wichtiger Variablen („ratios“) des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 250 Jahren (modifiziert nach FORRESTER, 1969, p. 40)

gestattete Wohnungen und stagnierende/„absteigende“ Unternehmen in der Zeitperiode 100 bis 123 bzw. 138 spiegelt ebenfalls eine zeitliche Verzögerung dieser Kategorien gegenüber den Kategorien PH und UH bzw. NE und MB wider und läßt sich aus dem natürlichen Alterungsprozeß der Baustruktur des städtischen Systems erklären. Die Minima der meisten Kurven um das Jahr 150 (Fig. 5) hingegen läßt sich auf gewisse Wachstumsmultiplikatoren des Modells zurückführen, die spekulative und historische Einflüsse repräsentieren sollen. Um das Jahr 200 pendelt sich zwischen den in Fig. 5 dargestellten Zustandsvariablen ein stabiler Gleichgewichtszustand ein. Die geringe wirtschaftliche Leistungskraft des städtischen Systems (Stagnationsphase in der Zeitperiode von 100 bis 250 Jahren) ist charakterisiert durch einen hohen Anteil an Unternehmen der Kategorie DI und Wohnun-

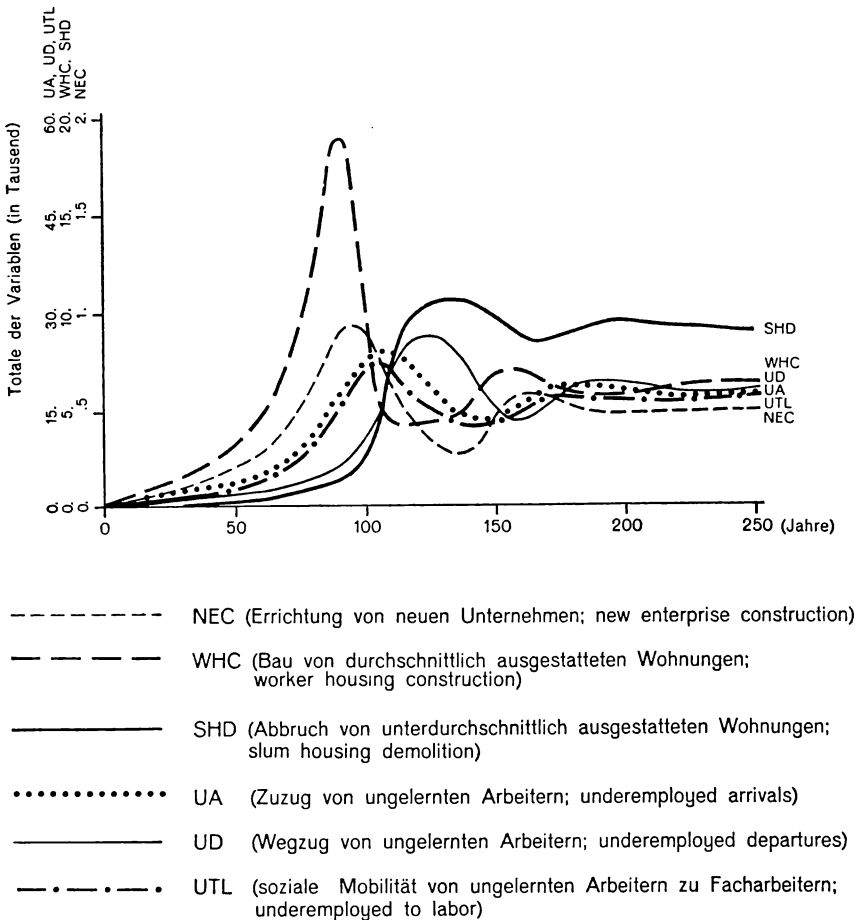


Fig. 7: Die Entwicklung eines städtischen Systems (Wachstum, Sättigung und Stagnation): Der Verlauf ausgewählter Veränderungsratevariablen des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 250 Jahren (modifiziert nach FORRESTER, 1969, p. 41)

gen der Kategorie UH (Fig. 5), ganz allgemein gesehen, durch eine Überalterung der Stadtstruktur, zusätzlich durch eine hohe Arbeitslosenrate, insbesondere hinsichtlich der Kategorie U, eine hohe Steuerbelastung der Stadt und ein ungünstiges Verhältnis von bebauter zu maximal bebauter Fläche LFO (vergleiche Fig. 6). Die Kurvenminima der Variablen L, U, MP (um das Jahr 150) sind eine Folge eines sogenannten time-lags, das die relative Unattraktivität des städtischen Systems erst nach einem gewissen Zeitverzug voll wirken läßt.

4. EIN KURZER ÜBERBLICK ÜBER FORRESTER'S STADTPLANUNGSPROGRAMME

Am Ende der 250jährigen Entwicklung, die für viele US-amerikanischen Städte als charakteristisch angesehen wird, testet FORRESTER (1969) 11 verschiedene Planungsprogramme über einen Zeitraum von 50 Simulationsjahren hinsichtlich ihrer langfristigen Planungswirksamkeit. Die Effizienz dieser Planungsprogramme überprüft FORRESTER (1969, p. 51 ff.) in Bezug auf folgende charakteristische Merkmale eines stagnierenden städtischen Systems²⁴ (vergleiche hierzu SCHÖNEBECK, 1975, p. 103):

- eine geringe wirtschaftliche Leistungskraft, die durch einen hohen Anteil an Unternehmen der Kategorie DI und Wohnungen der Kategorie UH, also durch eine hohe Überalterung der Stadtstruktur gekennzeichnet ist,
- eine hohe Arbeitslosenrate insbesondere hinsichtlich der Kategorie U,
- geringe Möglichkeiten der Ausbildung und der sozialen Mobilität und
- eine hohe Steuerbelastung der Stadt

lediglich aber mit Hilfe graphischer Analysen, obwohl hierfür leistungsfähigere statistische Techniken wie z. B. der T-Test, die „multiple comparison“, die Spektralanalyse u. a. zur Verfügung stünden.

FORRESTER (1969, 1970 a, 1976) unterscheidet Programme, die der Bewältigung der Schwierigkeiten einer wirtschaftlichen Stagnation dienen sollen, jedoch im Endeffekt (d. h. langfristig) die Probleme verschärfen, und Programme, die langfristig gesehen die Schwierigkeiten beheben sollen. Zu der erstgenannten Kategorie gehören:

- ein Programm zur Schaffung von Arbeitsplätzen (job program), das ein um 10% erhöhtes Arbeitsplatzangebot für ungelernete Arbeiter enthält (vergleiche FORRESTER 1969, p. 51 ff.),
- ein Berufsausbildungsprogramm (training program)²⁵, das die Ausbildung von 5% der ungelernen Arbeiter zu Facharbeitern vorsieht (vergleiche FORRESTER 1969, p. 57 ff.),
- ein finanzielles Subventionsprogramm (financial aid program), das der Stadt die Möglichkeit verschaffen soll, jährlich \$ 100 pro Kopf der Bevölkerung mehr auszugeben (vergleiche FORRESTER, 1969, p. 61 ff.),
- ein Programm zum Bau von Sozialwohnungen (low cost housing program), mit dessen Hilfe jährlich neue Wohnungen für 2,5% der ungelernen Arbeiter errichtet werden sollen (vergleiche FORRESTER, 1969, p. 65 ff.).

Alle diese Programme, die in den letzten Jahrzehnten in den USA zur Anwendung gekommen sind, zeigen zwar kurzfristig einen gewissen Erfolg, leisten jedoch nach FORRESTER's Simulationsmodell keinen Beitrag zur wirtschaftlichen Strukturverbesserung des städtischen Systems. Fig. 8—10 veranschaulichen diese Aussage

hinsichtlich des sozialen Wohnbauprogrammes. Fig. 8 zeigt den Einfluß dieses Planungsprogrammes auf das Verhalten der neun uns bereits geläufigen Zustandsvariablen, Fig. 9 den Einfluß auf das Verhalten weiterer wichtiger Variablen und schließlich Fig. 10 den Einfluß auf das Verhalten von 5 Veränderungsratevariablen jeweils über einen Zeitraum von 50 Simulationsjahren. Die einzelnen Kurven können als eine Fortsetzung der entsprechenden Kurven in Fig. 5—7 angesehen werden und beginnen deshalb mit den letzten 5 Jahren der Stagnationsphase der 250jährigen Simu-

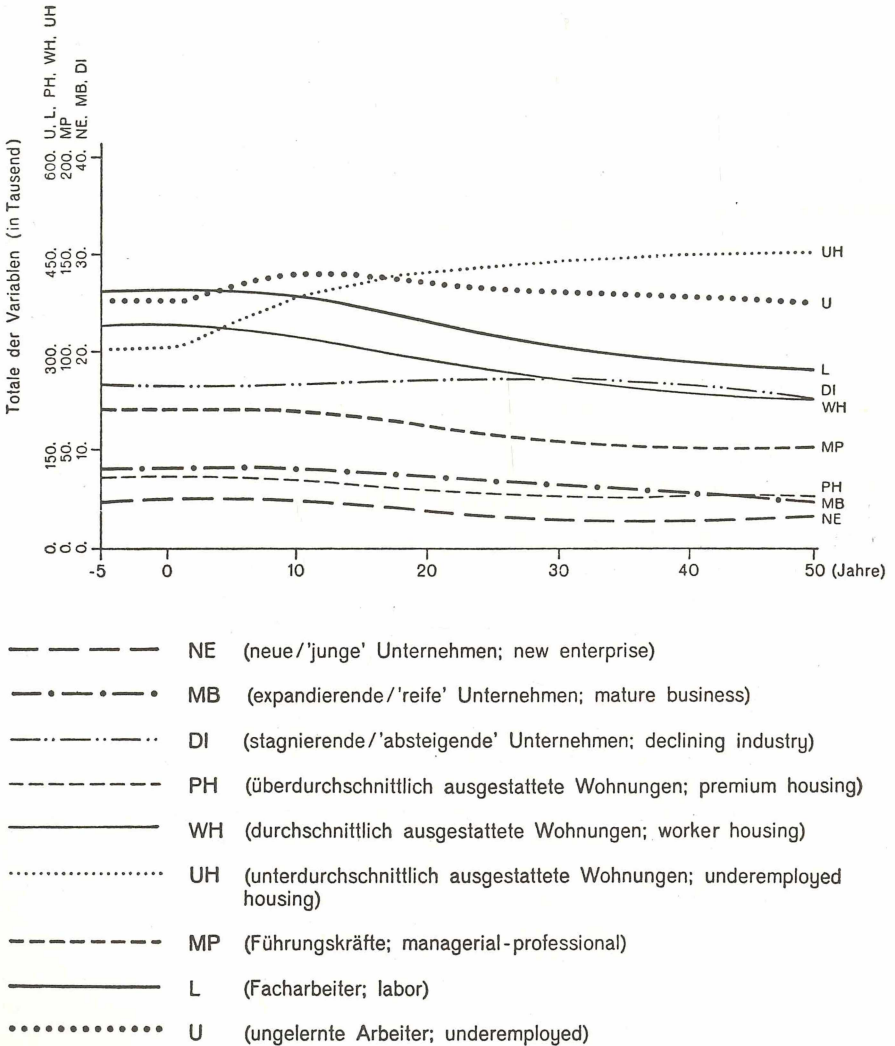


Fig. 8: Die Auswirkungen eines sozialen Wohnbauprogrammes (low cost housing program) auf das Verhalten der 9 wesentlichsten Zustandsvariablen des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 50 Jahren (nach FORRESTER, 1969, p. 66)

lationsperiode. Die Bestätigung der Aussage, daß das Programm des sozialen Wohnungsbaues langfristig der Zielsetzung eines höheren wirtschaftlichen Leistungsniveaus des städtischen Systems (im obigen Sinne) diametral gegenübersteht, liegt auf der Hand. Der für ungelernete Arbeiter zur Verfügung stehende Wohnraum UH nimmt in den ersten 30 Simulationsjahren um 45% zu²⁶, die Anzahl der durchschnittlich ausgestatteten Wohnungen WH dagegen um 31% und die Anzahl der überdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen PH sogar um 34% ab (vergleiche Fig. 8). Infolge des gestiegenen Wohnungsangebots der Kategorie UH erhöht sich die Attraktivität des städtischen Systems im Vergleich zur Umwelt für die ungelernen Arbeiter und führt in den ersten 10 Simulationsjahren zu verstärkten Zuwanderungen der Kategorie U (vergleiche Fig. 10)²⁷. Die Bevölkerung der Kategorie U wächst

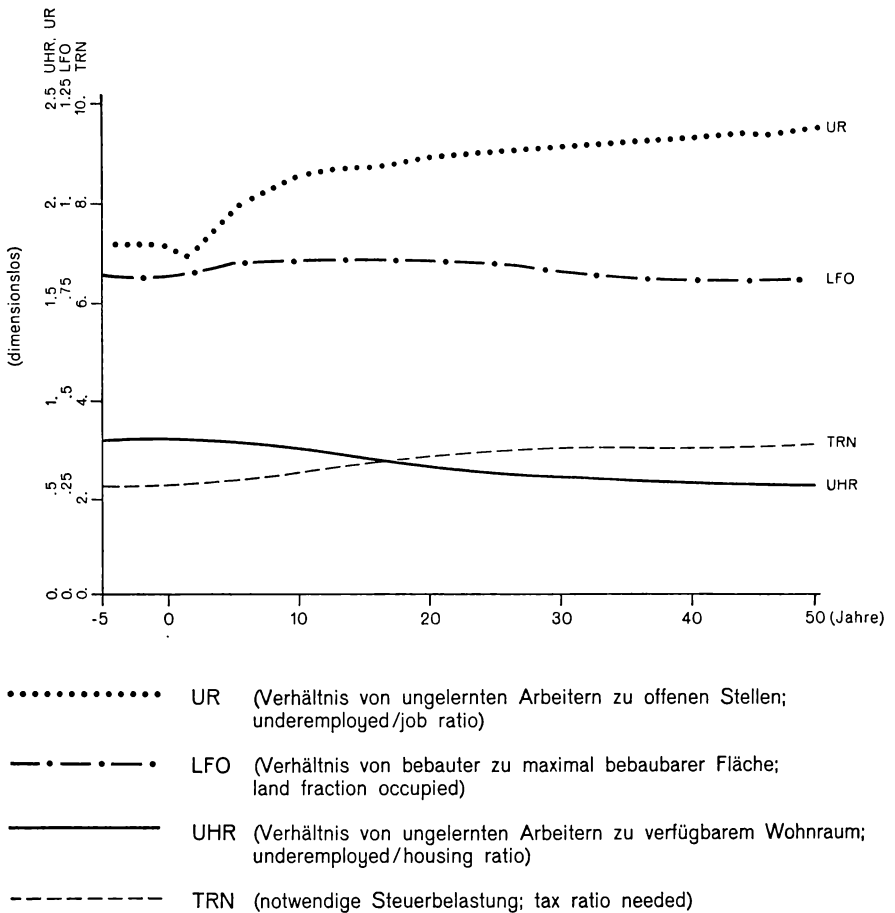
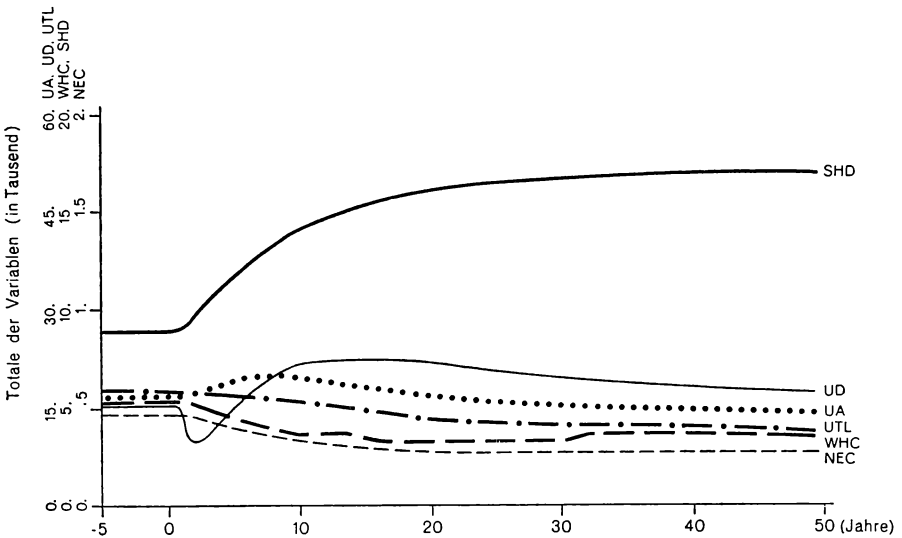


Fig. 9: Die Auswirkung eines sozialen Wohnungsbauprogrammes (low cost housing programm) auf das Verhalten weiterer wichtiger Variablen („ratios“) des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 50 Jahren (modifiziert nach FORRESTER, 1969, p. 66)

daher in diesem Zeitraum um 10%, fällt jedoch in den nächsten Jahren mit zunehmendem Rückgang an verfügbaren Arbeitsplätzen. Die Anzahl der neuen/„jungen“ Unternehmen NE sinkt nämlich in diesem Zeitraum um 50%, die der expandierenden/„reifen“ Unternehmen um 30%. In engem Zusammenhang hiermit steht auch die 30%ige Abnahme des Bestandes an Facharbeitern (vergleiche Fig. 8). Der Wohnraumüberschuß der Kategorie UH verringert die Möglichkeit, neue Industrieanlagen zu errichten, die Arbeitsplätze bieten könnten (vergleiche hierzu die Kurve UHR in Fig. 9). Die Arbeitslosigkeit hinsichtlich der Kategorie U nimmt zu (das Verhältnis ungelernete Arbeiter zu offenen Arbeitsstellen steigt um 30%, vergleiche Fig. 9), die Möglichkeiten des sozialen Aufstiegs von der Kategorie ungelernete Arbeiter zur Kategorie Facharbeiter sinkt um 33% (vergleiche Fig. 10) und die notwendige steuerliche Belastung steigt um 36% (vergleiche Fig. 9).



- NEC (Errichtung von neuen Unternehmen; new enterprise construction)
- WHC (Bau von durchschnittlich ausgestatteten Wohnungen; worker housing construction)
- SHD (Abbruch von unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen; slum housing demolition)
- UA (Zuzug von ungelerten Arbeitern; underemployed arrivals)
- UD (Wegzug von ungelerten Arbeitern; underemployed departures)
- · - · - · - · UTL (soziale Mobilität von ungelerten Arbeitern zu Facharbeitern; underemployed to labor)

Fig. 10: Die Auswirkung eines sozialen Wohnungsbauprogrammes (low cost housing program) auf das Verhalten ausgewählter Veränderungsvariablen des *Urban Dynamics* (modifiziert nach FORRESTER, 1969, p. 67)

Den vier traditionellen Programmen stellt FORRESTER (1969, p. 71 ff.) seine eigenen Programme gegenüber. Als besonders effizient werden von FORRESTER (1969), wie auch von mehreren Kritikern des *Urban Dynamics* (vergleiche hierzu WEINBLATT, 1970, p. 380; REICHENBACH, 1972, p. 119; SCHÖNEBECK, 1975, p. 102 ff.; u. a.), folgende Planungsprogramme beurteilt:

- ein Programm zur Ansiedlung von Unternehmen (new enterprise construction), mit dem die Ansiedlungsrate pro Jahr um 1,2⁰% aller im städtischen System befindlichen Industrieeinheiten erhöht werden soll (FORRESTER, 1969, p. 79 ff.),
- ein Programm zum Abbruch von Unternehmen der Kategorie DI (declining industry demolition program), das zusätzlich jährlich einen 5⁰%igen Abbruch an stagnierenden/„absteigenden“ Unternehmen zur Folge hat (FORRESTER, 1969, p. 81 ff.),
- ein Slum-Abbruchprogramm (slum housing demolition program), das zusätzlich jährlich einen 5⁰%igen Abbruch an unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen bewirkt (FORRESTER, 1969, p. 82 ff.),
- ein Slum-Abbruchprogramm (zusätzlicher Abbruch von jährlich 5⁰% der unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen) kombiniert mit einer Halbierung der normalen Konstruktionsrate für durchschnittlich ausgestattete Wohnungen (slum housing demolition program combined with the discouragement of worker housing construction) (FORRESTER, 1969, p. 91 ff.),
- ein Slum-Abbruchsprogramm (zusätzlicher Abbruch von jährlich 5⁰% der unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen) kombiniert mit einer Erhöhung der normalen Konstruktionsrate neuer Unternehmen von 5⁰% auf 7⁰% (slum housing demolition program combined with the encouragement of new industry construction) (FORRESTER, 1969, p. 101 ff.).

Die Simulation des Programmes zur Ansiedlung neuer Unternehmen zeigt, daß die Zunahme an offenen Arbeitsstellen die Attraktivität des städtischen Systems erhöht und gleichzeitig die Arbeitslosenquote senkt. Allerdings kann der Wohnungsmarkt infolge der Knappheit des zur Verfügung stehenden Baulandes nicht mit der Bevölkerungszunahme (starke Zuwanderung aus der Umwelt) Schritt halten. Als Folge stellt sich ein gespannter Wohnungsmarkt ein. Die beiden letztgenannten Programme erzeugen zwar auch einen gespannten Wohnungsmarkt, bringen aber substantielle Verbesserungen in allen anderen Aspekten mit sich. Der Leser kann sich diese Aussage, bezogen auf das letztgenannte Programm (slum housing demolition program combined with the encouragement of new industry construction), mit Hilfe von Fig. 11—13 verdeutlichen. Die Kurven der verschiedenen Variablen in Fig. 11—13 zeigen ein in Vergleich zu Fig. 8—10 konträres Verhalten:

- Das Angebot an unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen nimmt um 43⁰% ab, das Angebot durchschnittlich und überdurchschnittlich ausgestatteter Wohnungen um 34⁰% bzw. um 38⁰% zu (Fig. 11).
- Die Anzahl der Unternehmen der Kategorie NE und MB steigt um 43⁰% bzw. um 65⁰% (Fig. 11).
- Die Möglichkeit eines sozialen Aufstiegs der Bevölkerung der Kategorie U reduziert bei gleichbleibender Bevölkerungszahl den Bestand an ungelerten Arbeitern um 11⁰% (vgl. Fig. 11 und 13).
- Die Arbeitslosigkeit hinsichtlich der Kategorie U ist gesunken. Das Verhältnis der ungelerten Arbeiter zu offenen Arbeitsstellen hat sich nämlich um 41⁰% verbessert (Fig. 12).
- Die notwendige steuerliche Belastung ist um 33⁰% gesunken (Fig. 12).

5. ZUR KRITIK DES MODELLANSATZES

In der Beurteilung von FORRESTER's methodischem Ansatz ist bei den meisten Kritikern des *Urban Dynamics* eine gewisse Übereinstimmung festzustellen. Mit NASCHOLD (1969, p. 285) kann man wohl zurecht FORRESTER's systemtheoretisches Konzept als den „bisher umfassendsten Versuch einer Weiter- und Neuentwicklung der aus der Management Science und den OR stammenden Ansätzen

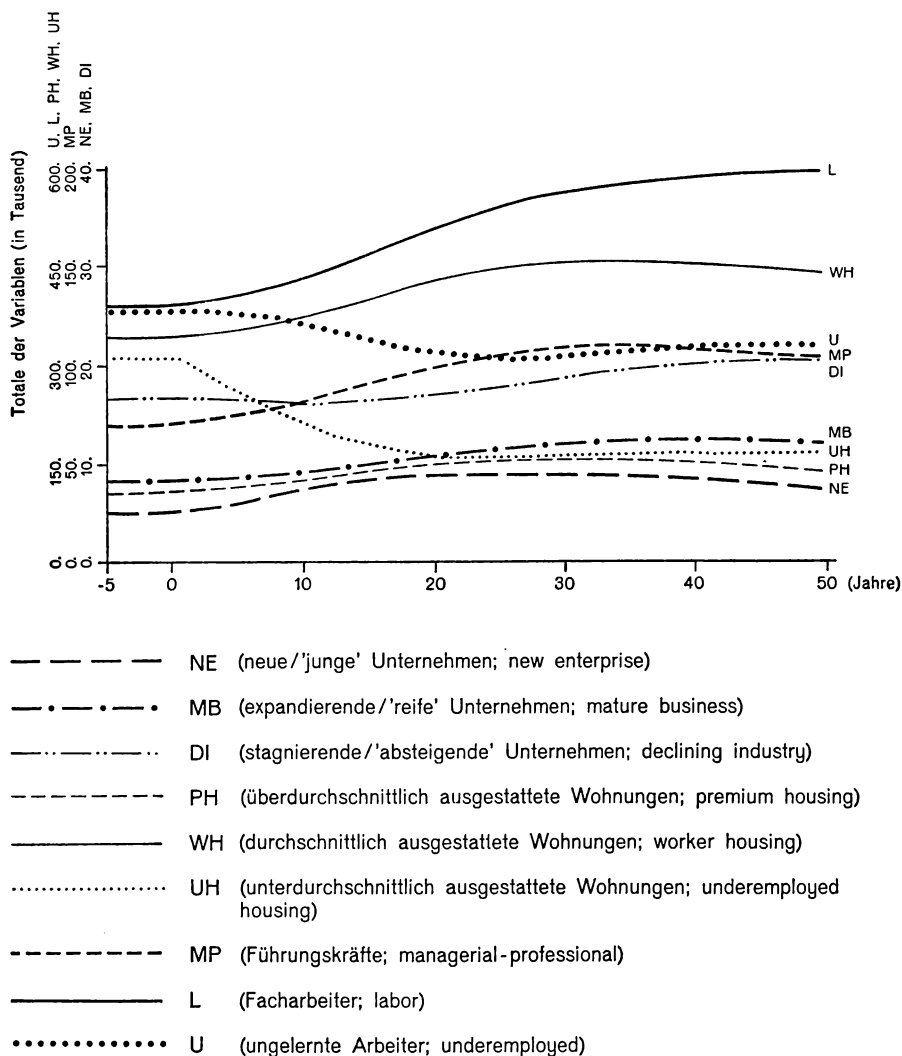


Fig. 11: Die Auswirkung eines Stadterneuerungsprogrammes (kombiniert mit einer Erhöhung der normalen Konstruktionsrate neuer Unternehmen von 5% auf 7%) auf das Verhalten der 9 wesentlichsten Zustandsvariablen des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 50 Jahren (nach FORRESTER, 1969, p. 98)

auf der Basis einer systematischen Regelungstheorie“ werten²⁸. Die Leistungsfähigkeit dieses Ansatzes wird bei der Simulation komplexer dynamischer sozio-ökonomischer Aspekte vor allem in dreifacher Hinsicht deutlich:

- erstens, weil beliebig viele nichtlineare dynamische Zusammenhänge, die mit analytischen Techniken nur sehr schwer, unter nur sehr einschränkenden mathematischen Bedingungen oder überhaupt nicht erfaßt werden können, mit Hilfe von interagierenden Systemschleifen jedoch abgebildet werden können,
- zweitens, weil Verzögerungseffekte in materiellen Strömen und in Informationsflüssen berücksichtigt werden können und
- drittens, weil diese Anwendungsmöglichkeiten infolge der Anspruchslosigkeit gegenüber Daten sehr groß sind (vergleiche hierzu HUGGER, 1974, p. 41)²⁹.

Es besteht wohl kein Zweifel darüber, daß das *Urban Dynamics* die hochgesteckten Erwartungen eines umfassenden städtischen Totalmodells, das den Anspruch erhebt, alle für die Stadtentwicklungspolitik relevanten Elemente und Beziehungen zu simulieren, nicht erfüllt. Die Krise US-amerikanischer Städte läßt sich

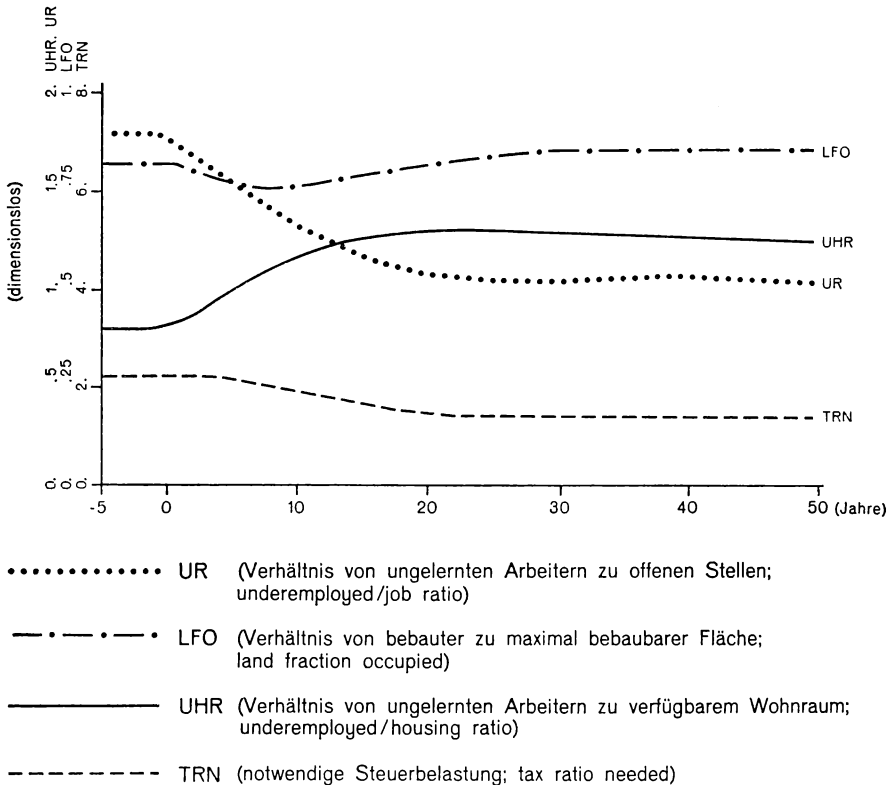


Fig. 12: Die Auswirkung eines Stadterneuerungsprogrammes (kombiniert mit einer Erhöhung der normalen Konstruktionsrate neuer Unternehmen von 5% auf 7%) auf das Verhalten weiterer wichtiger Variablen („ratios“) des *Urban Dynamics* über eine Simulationsperiode von 50 Jahren (nach FORRESTER, 1969, p. 98)

nicht allein aus dem natürlichen Alterungsprozeß der baulichen Struktur erklären, auch wenn es unbestritten ist, daß die Art der Bebauung auf bestimmte Prozesse innerhalb eines städtischen Systems eher fördernd oder eher hemmend wirken kann. Wichtige Ursachen wie z. B. die durch die Mechanisierung in der Landwirtschaft implizierte Landflucht, die Rassendiskriminierung, die Bodenspekulation etc. finden keine Berücksichtigung. Außerdem bleibt eine Reihe aktueller städtischer Probleme, wie etwa Probleme der Umweltbelastung, der sozialschichtenspezifischen Segregation, der Verkehrserschließung und des Gesundheitswesens außerhalb der Betrachtung. Ganz allgemein gesehen fehlen wichtige geographische, ökonomische, politische und soziologische Aspekte eines städtischen Systems³⁰.

Eine inhaltliche Detailkritik an FORRESTER's *Urban Dynamics* müßte vor allem an der inhaltlichen Konzeption, d. h. an den dem Modell zugrundeliegenden Prämis-

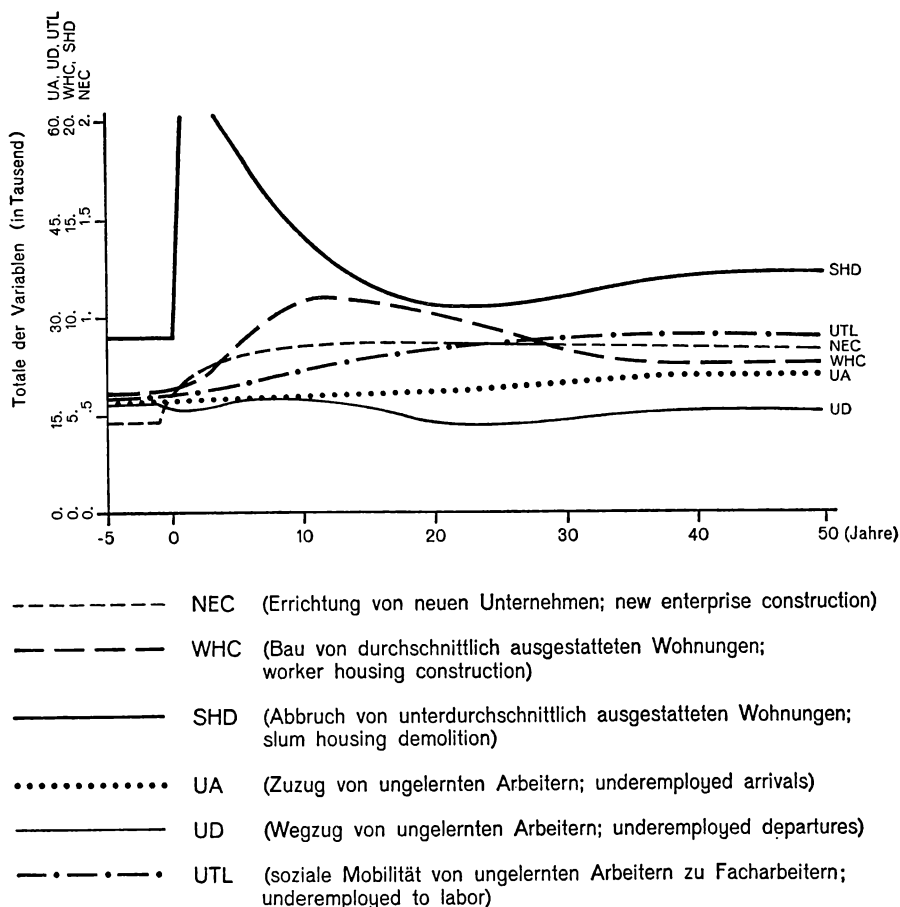


Fig. 13: Die Auswirkung eines Stadterneuerungsprogrammes (kombiniert mit einer Erhöhung der normalen Konstruktionsrate neuer Unternehmen von 5% auf 7%) auf das Verhalten ausgewählter Veränderungsratevariablen des *Urban Dynamics* (nach FORRESTER, 1969, p. 99)

sen, an der Wahl der Modellelemente und Modellrelationen u. a. ansetzen. Es ist im Rahmen dieses Aufsatzes natürlich nicht möglich, eine auch nur annähernd umfassende diesbezügliche Kritik zu leisten. Wir wollen vielmehr nur einige uns zentral erscheinende Probleme, Schwächen und Grenzen in gebotener Kürze andeuten.

Da die Prämissen eines Modells in starkem Maße dessen Struktur dominieren und somit entscheidend die Modellergebnisse determinieren, sollte die inhaltliche Kritik zuerst an den wichtigsten Prämissen ansetzen. Als wohl zentralste Prämisse setzt FORRESTER voraus, daß städtische Systeme geschlossen sind. Diese Prämisse impliziert, daß keine äußeren Eingriffe für die in einem solchen System ablaufenden Prozesse von Relevanz sind. Sämtliche Prozesse (wie z. B. die Entwicklung der Subsysteme Wirtschaft und Wohnungsmarkt) werden daher ausschließlich systemintern erklärt. Diese Prämisse einer geschlossenen Systemgrenze erscheint infolge vielfacher Interdependenzen zwischen System und Umwelt äußerst bedenklich. Eng verbunden mit dieser Prämisse ist FORRESTER's Konzept eines für die gesamte Stadtentwicklung nur begrenzt zur Verfügung stehenden Landes (2. zentrale Prämisse). FORRESTER beschränkt nämlich die Fläche eines städtischen Systems auf maximal 100.000 acres (= 404 km²). Dieses Konzept limitiert einerseits bei einem bestimmten Grad der Bebauung jegliches Wachstum und legt andererseits das für die Stadtentwicklung verfügbare Land über die ganze Simulationsperiode fest — was offensichtlich als nicht realitätsadäquat angesehen werden muß. Anstatt zumindest die für die Modellstruktur und die Modelldynamik zentralen Prämissen eines geschlossenen Systems und eines nur begrenzt zur Verfügung stehenden Landes als Arbeitshypothesen aufzufassen und im Rahmen von Voruntersuchungen zu überprüfen, macht FORRESTER diese Prämissen a priori³¹. Wie SCHINDOWSKI und SCHÖNEBECK (1976) experimentell mit Hilfe eines Testalgorithmus nachgewiesen haben, besteht zwischen der Prämisse eines nur begrenzt verfügbaren Landes und der Modelldynamik ein enger Wirkungszusammenhang. Da aber die entscheidenden wachstumsfördernden und wachstumshemmenden Impulse des städtischen Systems von den beiden zentralen Prämissen einer geschlossenen Systemgrenze und eines nur begrenzt zur Verfügung stehenden Landes ausgehen, muß man an der Validität der Modellstruktur erhebliche Zweifel anmelden³². Obwohl Verfahren wie z. B. two-stages-least-square zur Verfügung stehen, bleibt FORRESTER auch den Nachweis schuldig, daß es in städtischen Systemen Rückkopplungsbeziehungen gibt (3. zentrale Prämisse) und daß im *Urban Dynamics* die wesentlichsten Rückkopplungsphänomene eines städtischen Systems erfaßt werden. Implizit geht weiterhin eine Reihe arbiträr festgelegter, nicht begründeter Prämissen in das Modell ein, die in Zusammenhang stehen mit der Wahl:

- der Werte für die sog. „Normalraten“ der Veränderungsratevariablen,
- der Anfangswerte für die Zustandsvariablen,
- der Werte für Konstante wie die Flächenansprüche pro Haus bzw. pro Unternehmen, die nach den Kategorien MP, W und U disaggregierten Familiengrößen und die nach den Kategorien PH, WH und UH disaggregierten Wohndichten.

Eine experimentelle Analyse in Form von sog. Sensitivitätsanalysen zwischen Modellprämissen und Modellergebnissen ist zwar arbeitsaufwendig, könnte aber unter Umständen zu interessanten Ergebnissen und zu einer Verbesserung der technischen Modellstruktur führen. Allerdings lassen auch Sensitivitätsanalysen vom

logischen Standpunkt keine Verifikationsaussagen, sondern nur Falsifikationsaussagen (und derartige nur unter gewissen einschränkenden Bedingungen) zu.

Die Kalibrierung mathematischer Modelle, d. h. der Prozeß zur Ermittlung numerischer Werte für die Modellparameter (die dazu dienen, die Modellrelationen zu quantifizieren) stellt im Rahmen der Modellbildung nicht nur ein zentrales, sondern wohl auch das kritischste methodologische wie auch praktische Problem dar. Zur Schätzung der Modellparameter stehen verschiedene Methoden und Techniken zur Verfügung. Während bei stärker datenorientierten³³ Modellen (wie etwa bei den Stadtentwicklungsmodellen vom LOWRY Typ) statistische Verfahren wie das Maximum-Likelihood-Verfahren oder die Methode der nichtlinearen Minimierung der Quadratsumme der Differenzen zwischen Modelloutput und beobachteten empirischen Daten zur Anwendung kommen können³⁴, können bei stärker konzeptorientierten Modellen, wie bei den auf der Theorie der Informationsrückkopplungssysteme basierenden Modellen vom FORRESTER Typ, die Parameterwerte mit Hilfe von Bewertungsfunktionen (Tabellenfunktionen) in das Modell eingegeben werden. Diese Methode zur Kalibrierung des *Urban Dynamics* bringt, da es FORRESTER nur sekundär um die Genauigkeit einer quantitativ-statistischen Erfassung und Begründung der Modellbeziehungen geht³⁵, den Vorteil mit sich, die Parameterwerte intuitiv oder mit Hilfe gewisser Evidenzkriterien auch dann schätzen zu können, wenn entsprechendes Datenmaterial in nur sehr bescheidenem Umfang zur Disposition steht. Dieses Verfahren scheint unseres Erachtens aus folgenden Gründen nicht unbedenklich zu sein:

- Die Tabellenfunktionen (Bewertungsfunktionen) ermöglichen nur die Zuordnung von 2 unabhängigen Variablen. Zusätzliche Variable können entweder gar nicht oder nur mit Hilfe weiterer Bewertungsfunktionen berücksichtigt werden (vergleiche FUGGER, 1974, p. 69).
- Bewertungsfunktionen stellen durch eine Anzahl von sog. Interferenzpunkten festgelegte Approximationen dar. Ihnen liegt die fragwürdige Prämisse einer linearen Extrapolation zugrunde. Es wird also m. a. W. angenommen, daß die geschätzten Bewertungszusammenhänge auch über die zur Verfügung stehende Datenbasis hinaus Gültigkeit besitzen sollen.

Letzten Endes laufen die Vorwürfe gegen ein derartiges Verfahren auf eine mangelnde theoretische und empirische Begründung der Bewertungszusammenhänge hinaus.

Weiterhin muß die Vernachlässigung der räumlichen Dimension, sogar bei der Betrachtung der Migrationsprozesse, als eine wesentliche Schwäche des Modells hervorgehoben werden (KAIN, 1969; BATTY, 1971 a; FLEISHER, 1971; BABCOCK, 1972; CORDEY-HAYES, 1974; u. a.). Eine Regionalisierung des zugrundeliegenden räumlichen Untersuchungsgebietes wäre aber nicht nur wünschenswert, sondern sogar notwendig, wenn man unterschiedliche Strukturen und Entwicklungen in einzelnen Zonen eines städtischen Systems erfassen, miteinander vergleichen und dadurch eventuell wichtige räumlich differenzierte Basisinformationen für die Stadtentwicklungsplanung gewinnen will. FORRESTER's systemtheoretischer Ansatz wurde zumindest ansatzweise in dieser Hinsicht von HAMILTON et al. (1969) verfeinert und zu einer realitätsadäquateren Simulation eines konkreten dynamischen Systems in der Regionalanalyse verwendet³⁶. Bei weiteren kritischen Punkten und Schwächen der *Urban Dynamics* handelt es sich u. a. um:

- eine fehlende theoretische Begründung der Auswahl der als relevant angesehenen Modellelemente und Modellrelationen,
- das Fehlen einer Validitätsprüfung der Modellergebnisse³⁷,
- die unbefriedigende altersspezifische Disaggregation der Subsysteme Wirtschaft und Bevölkerung,
- die Prämissen eines unveränderten technologischen Niveaus, einer invarianten Arbeitsplatzdichte und einer invarianten Wohndichte während der gesamten Stadtentwicklung.

Als zusammenfassende Kritik an FORRESTER's Computersimulationsmodell *Urban Dynamics* können wir mit MOODY (1970, p. 625) feststellen: "As a guide for public policy towards city problems, this particular model should be treated with caution, but as a precursor of a powerful technique it should be treated with respect". Es ist daher nicht verwunderlich, wenn FORRESTER's modelltheoretisches Konzept der Informationsrückkopplungssysteme, das als ein echter Fortschritt gegenüber anderen methodischen Ansätzen gewertet werden kann, auch einigen in der BR Deutschland entwickelten Computersimulationsmodellen zugrundeliegt, wie z. B.

- dem Stadtentwicklungsmodell *Polis* (WEGENER und MEISE, 1971),
- einem dynamischen Simulationsmodell des Wohnungsmarktes in München (VOLWAHSEN, SIEVERTS und BLUM, 1973),
- dem in enger Anlehnung an amtliche Raumordnungspläne konzipierten Landesentwicklungsmodell *Baymo* (KLATT, KOPF und KULLA, 1974).

Auch das Berliner Simulationsmodell *Besi*, das zum Studium des Strukturwandels von Großstädten am Beispiel von West-Berlin entwickelt werden sollte, sollte FORRESTER's Modell *Urban Dynamics* in modifizierter Form als Submodell enthalten³⁸. In den USA liegen verschiedene Anwendungen und Weiterentwicklungen des *Urban Dynamics* zur Analyse der Entwicklung einiger städtischer oder regionaler Systeme vor, so z. B. für Cookville, Tennessee (ANDERSON, 1972; nach SCHÖNEBECK, 1975); Harris County, Texas (PORTER und HENLEY, 1972); Hartford County, Connecticut (BELLUARDO, 1972; nach SCHÖNEBECK, 1975); das städtische System Lowell, Massachusetts (SCHROEDER III, 1974). Außerdem berichtet die New York Times vom 31. 10. 1969, daß Dallas und Minneapolis eine Anwendung des *Urban Dynamics* planen würden (vergleiche WEINBLATT, 1970, p. 377). In Großbritannien wurde der Versuch unternommen, den systemtheoretischen Ansatz der Informationsrückkopplungssysteme für ein dynamisches makroökonomisches Modell der Northern Region anzuwenden (TELFORD, YULE und BURDEKIN, 1974). Weitere Modifikationen des *Urban Dynamics*, die auf eine realitätsadäquatere Abbildung eines städtischen / regionalen Systems abzielen, stammen von BABCOCK (1972), CORDEY-HAYES und MATHESON (1972), GRAHAM (1972), KADANOFF und WEINBLATT (1972), PACK (1972), MILLER (1975), SCHROEDER III (1975) u. a.

Wenn man vom gegenwärtigen Stand der Simulationsforschung und von der momentanen Situation in der Planungspraxis ausgeht, so ist zu vermuten, daß die Anwendung der Computersimulation in den nächsten Jahren stark zunehmen wird. Diese Tendenz dürfte durch das steigende Interesse an der Entwicklung und Erprobung computergerechter Modelle in der Planungspraxis ebenso gefördert werden wie durch die ständigen technischen Verbesserungen der zur Verfügung stehenden EDV-Anlagen.

6. ANMERKUNGEN

¹ Dieser Aufsatz basiert auf einer Unterrichtseinheit einer im SS 76 am Geographischen Institut der Universität Wien gehaltenen Vorlesung „Modelle in der Geographie I“ (FISCHER, 1976 c). Das Manuskript wurde am 1. 5. 1976 abgeschlossen.

² Bei der Frage nach den Anwendungsmöglichkeiten der mathematischen Modellbildung lassen sich 3 Bereiche nennen: die Theoriebildung, die Planungspraxis und die Lehre und Ausbildung. Als Instrument der Theoriebildung kommen mathematische Modelle in erster Linie zur logischen und empirischen Überprüfung von einzelnen Hypothesen, von deduktiv-empirischen und empirisch-generalisierenden Theorien (im Sinne von NARR, 1971) wie auch zur Entdeckung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in Form von Hypothesen und Theorie(fragmenten) in Frage. Einer Anwendung mathematischer Modelle in der Planungspraxis kommt das in den letzten Jahren wachsende Interesse an Techniken und Methoden zum Entwurf und zur Auswahl von Planungsalternativen entgegen, das im wesentlichen wohl auf dem Bestreben basiert, auch komplexe Sachverhalte im Bewußtsein der möglichen Konsequenzen zur Entscheidung zu bringen. Mathematische Modelle, die über voraussichtliche Auswirkungen alternativer Handlungen informieren, sind deshalb für Planer wie für Entscheidungsträger in der Stadt- und Regionalpolitik von prinzipieller Bedeutung. In diesem Zusammenhang sei besonders auf die Anwendungen der Stadtentwicklungsmodelle vom GARIN-LOWRY Typ hingewiesen (vergleiche hierzu FISCHER, 1974, 1976 a). Der dritte Anwendungsbereich der mathematischen Modellbildung bezieht sich auf die Lehre und Ausbildung. Mit mathematischen Modellen läßt sich eine Reihe von neuen Einsichten in den Ablaufmechanismus komplexer städtischer und regionaler Systeme besonders gut vermitteln (FISCHER, 1976 b).

³ Einige Autoren verwenden den Begriff Simulation ausschließlich in Zusammenhang mit der Monte Carlo Analyse, andere Autoren wie z. B. KLATT (1970) definieren die Simulation als eine „wirklichkeitsäquivalente“ oder „naturgetreue“ Nachbildung der Wirklichkeit. KLATT (1970, Spalte 2936 ff.) faßt demzufolge die Simulation als eine bestimmte Form der Modellanalyse auf, „deren Zweck ja generell in der isomorphen Abbildung der Realität besteht“. Diese ziemlich konfuse, in der Literatur allerdings nicht selten zu findende Charakterisierung eines (Simulations-)Modells als isomorphe Abbildung der Realität kann aus mehreren schwerwiegenden Gründen nicht akzeptiert werden. Erstens würde ein derart definiertes (Simulations-)Modell aus einer unendlichen Menge von Elementen und einer unendlichen Menge von Prädikaten über dieser Menge (= Struktur) bestehen und deshalb den gleichen Komplexitätsgrad annehmen wie das abzubildende „reale“ System, was dem eigentlichen Ziel jeglicher Modellbildung, nämlich dem Ziel der Komplexitätsreduktion, widerspräche. Zweitens würden der Isomorphieforderung unüberwindbare forschungstechnische Schwierigkeiten und Probleme entgegenstehen. Drittens kann die Charakterisierung eines (Simulations-)Modells als isomorphe Abbildung eines „realen“ Systems wissenschaftstheoretisch (im Sinne der Wissenschaftstheorie des kritischen Rationalismus) nicht akzeptiert werden, da es keinen Sinn hat, von einem Isomorphismus (im mengentheoretischen Sinne) zwischen einem „realen“ und einem symbolischen System zu sprechen. Viertens schließlich ist es nicht sinnvoll, bei der Definition des (Simulations-)Modellbegriffs von „Realität“ zu sprechen, da sich bei der Abbildung zwischen der („objektiven“) „Realität“ und dem (Simulations-)Modell sozusagen als Filter eine „selektiv wahrgenommene Realität“ schiebt, die aber keine „Realität“ i. e. S. ist. Aus den ersten beiden Gründen ist daher nur eine Homomorphieforderung zwischen abzubildendem System und (Simulations-)Modell angebracht. Es muß allerdings beachtet werden, daß das mengentheoretische Explikat des Homomorphismus zweier Systeme ebenso wie das des Isomorphismus nur auf zwei symbolische und nicht auf ein „reales“ und ein symbolisches System anwendbar ist. Wie wir wissen, sind auch die komplexesten Systeme nur selektive Abstraktionen, also keine „Realität“. Wer wäre schon imstande, in seinem endlichen Erdendasein eine Unendlichkeit von Elementen und Relationen zu erfassen? Eine auf dem Explikat des Homomorphismus basierende Modelldefinition findet sich bei FISCHER (1974).

⁴ FISCHER (1976 b) unterscheidet 4 Kategorien der Simulation, nämlich analoge Simulationen, Planspiele (gaming), Planspielsimulationen (man-machine-simulation) und reine Computersimulationsmodelle (pure machine simulation). Von größerer Bedeutung in der Stadt- und Regionalforschung bzw. in der Stadt- und Regionalplanung sind lediglich die 3 letztgenannten Kategorien der Simulation. In Planspielen werden Vorgänge in „realen“ Systemen in Form von Spielen abgebildet. Hierbei übernehmen verschiedene Spieler oder Spielergruppen typische Rollen (in der Regel) von Entscheidungsträgern und simulieren deren Kommunikations- und Aktionsverhalten. Der Spielverlauf wird durch ein System von sog. Spielregeln sowie durch die Aktionen und Interaktionen der Spieler determiniert. Planspielsimulationen stellen eine Verbindung von 2 Simulationstechniken unterschiedlichen Abstraktionsgrades dar und zwar der nur wenig abstrahierenden Simulation in Form des Plan- und Rollenspieles und der (reinen) Computersimulation. Die Kategorie Planspielsimulation ermöglicht durch Feedback-Prozesse zwischen Planspiel und Computersimulation das Messen und Bewerten der Interaktionen und Aktionen der einzelnen Rollenträger. Zu den bekanntesten Beispielen dieser Kategorie der Simulation zählen DUKE's METROPOLIS, das CORNELL LAND USE GAME (CLUG) u. a.. Im Vergleich zu Planspielen und Planspielsimulationen wirken in (reinen) Computersimulationsmodellen keine Spieler mit (FISCHER, 1976 b).

⁵ Das GARIN-LOWRY Modell ist ein Beispiel für ein analytisches Stadtentwicklungsmodell (vgl. hierzu FISCHER, 1974, 1976 a).

⁶ FORRESTER's URBAN DYNAMICS blieb nicht unumstritten (vergleiche hierzu etwa KAIN, 1969; KADANOFF, 1972 a; CHEN, 1972; CONSTABLE, 1973; MASS, 1974; etc.). Als kritisch muß man die technische Modellstruktur (incl. der Modellprämissen) und die aus den Modellergebnissen „abgeleiteten“ Folgerungen ansprechen. Überwiegend positiv wird hingegen der dem URBAN DYNAMICS zugrundeliegende systemtheoretische Ansatz aufgenommen (vergleiche hierzu 2. dieses Aufsatzes).

⁷ Unter komplexen Systemen versteht FORRESTER nicht-lineare mehrschleifige Rückkopplungssysteme höherer Ordnung. FORRESTER (1969, p. 109 ff. u. a.) sieht das kontraintuitive Verhalten als eines der wichtigsten Charakteristika sozioökonomischer, insbesondere städtischer Systeme an. Damit versucht FORRESTER auch zu erklären, warum politische Maßnahmen langfristig gesehen oft wirkungslos bleiben können.

⁸ Nach FORRESTER (1976) hat man inzwischen auch in Japan und in einigen europäischen Ländern Studien- und Forschungszentren für Systemtechnik eingerichtet (in der BRD z. B. an der

TU Berlin einen Brennpunkt Systemtechnik und einen Brennpunkt Kybernetik, in Karlsruhe ein Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, in Österreich eine Studiengesellschaft für Kybernetik, die erst am 20. 4. — 23. 4. 1976 das „Third European Meeting in Cybernetics and Systems Research“ organisiert hat).

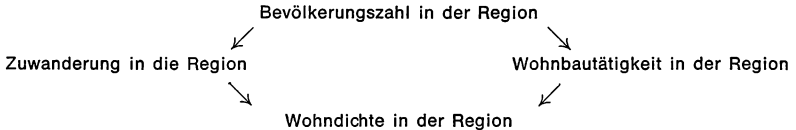
⁹ Unter einem dynamischen System wird, ganz allgemein betrachtet, ein System verstanden, zwischen dessen Elemente (u. U. auch zwischen Systemelementen und Elementen der Umwelt) Wirkungsbeziehungen bestehen. Die Wirkungsbeziehungen zwischen derartigen Elementen bezeichnet man als Kopplungen. Von einer Rückkopplung (Rückkopplungsschleife, Regelkreis, feedback loop) spricht man dann, wenn eine Wirkungsrelation einen Zyklus enthält (vergleiche hierzu auch 2. dieses Aufsatzes).

¹⁰ Zum Verständnis der mathematischen Modellstruktur sind keine speziellen mathematischen Fähigkeiten notwendig. Nach kurzer Übung dürften auch im formalen Denken nicht-geschulte Geographen in der Lage sein, die Modellstruktur zu verstehen und die Modellergebnisse adäquat zu interpretieren.

¹¹ Die Kybernetik ist die Wissenschaft von zielgerichteten und selbstregulierenden Prozessen. FORRESTER's Modelle sind eindrucksvolle Beispiele für das befruchtende Zusammenwirken von Kybernetik und Systemtheorie.

¹² Vergleiche hierzu auch Anmerkung 9.

¹³ Ein einfaches Beispiel einer Rückkopplungsschleife ist etwa durch folgenden Zyklus gegeben (vergleiche KLATT, KOPF und KULLA, 1974, p. 14).



¹⁴ Entscheidungen werden in diesem Zusammenhang als Transformationsprozeß von Informationen in Aktionen angesehen. Solange eine Differenz zwischen angestrebtem Ziel und Zustand des Systems besteht, werden neue Entscheidungen (Veränderungen der Flußvariablen) getroffen. Im Gegensatz zu dieser Prämisse könnte man sich aber auch Situationen vorstellen, in denen die Differenz zwischen Ziel und tatsächlichem Zustand des Systems als nicht so wichtig angesehen wird und infolgedessen auf eine Differenz nicht reagiert wird.

¹⁵ Die (maschinunenabhängige, problemorientierte) Simulationssprache DYNAMO, die im Rahmen des „industrial dynamics project“ am M.I.T. entwickelt worden ist, ist speziell auf die Simulation geschlossener Regelsysteme zugeschnitten. Die mit dieser speziellen Programmiersprache verbundenen Vereinfachungen werden allerdings im Vergleich zu normalen Programmiersprachen wie FORTRAN, ALGOL und COBOL durch erhöhte Compiler- und Rechenzeiten für die Durchführung der Simulation erkauft.

¹⁶ Regelkreise lassen sich nicht nur in positive und negative unterscheiden, sondern z. B. auch nach ihrer Ordnung. Ein Rückkopplungssystem (Rückkopplungsschleife) heißt von der Ordnung 1, wenn es aus nur einer Status- und einer Flußvariablen besteht. Ein Rückkopplungssystem n-ter Ordnung besteht aus je n Status- und Flußvariablen, wobei zwischen je zwei Zustandsvariablen je eine Flußvariable dazwischengeschaltet ist. Bei den in Fig. 2 und Fig. 3 dargestellten Regelkreisen handelt es sich um Regelkreise 1. Ordnung.

¹⁷ Das URBAN DYNAMICS umfaßt insgesamt 154 mathematische Gleichungen, die sich rekursiv berechnen lassen. Als Anfangswerte werden bestimmte Werte für die Zustandsvariablen exogen vorgegeben (vergleiche hierzu Anmerkung 22). Neben Zustandsvariablen und Veränderungsratevariablen gehen nach NOVAK (1973) 88 Steuerungs- und 53 Bewertungsgrößen in das Modell ein. Auf die verschiedenen Funktionstypen wie Aktivierungsfunktionen, Entscheidungsfunktionen (table functions) kann im Rahmen dieses Aufsatzes nicht eingegangen werden.

¹⁸ HESTER (1965) kritisiert diese alterspezifische Disaggregation des Subsystems Wirtschaft, insbesondere weil sie jegliche Form einer Betrachtung nach dem Basic-Nonbasic Konzept ausschließt.

¹⁹ Eine sozioökonomische Disaggregation des Subsystems Bevölkerung z. B. in Einkommensklassen dürfte zufriedenstellender sein als die doch recht vage Disaggregation von FORRESTER, der die Kategorie „underemployed“ besonders unscharf definiert.

²⁰ Als Bezugspunkt zur Beurteilung der städtischen Entwicklung dienen sog. durchschnittliche (normale) Werte für die Veränderungsratevariablen, die entsprechend gewisser Einflüßfaktoren verändert werden können.

²¹ Im URBAN DYNAMICS entspricht eine Simulationsperiode einem Jahr.

²² Zu Beginn der Stadtentwicklung wählt FORRESTER (1969 p. 37) folgende Werte für die Zustandsvariablen aus: NE 200 produktive Einheiten, MB 1000 produktive Einheiten, DI 100 produktive Einheiten, PH 5000 Wohneinheiten, WH 21 000 Wohneinheiten, UH 1100 Wohneinheiten, MP 3900 Personen, L 14 000 Personen, U 1200 Personen. Zwar sollen sich nach FORRESTER die Gleichgewichtswerte nach 250 Simulationsjahren unabhängig von diesen Anfangswerten einstellen, u. E. müßte man aber erst noch detailliert untersuchen (Sensitivitätsanalysen), ob und inwieweit diese Anfangswerte die Modellergebnisse determinieren.

²³ Ein multidimensionales Konzept der Attraktivität, in das Faktoren wie gesetzliche Restriktionen, Vorurteile, verschiedenste Wanderungsgründe u. a. eingehen, ist von grundlegender Bedeutung für den Modellmechanismus (speziell für das Eintreten eines angestrebten Gleichgewichtszustandes zwischen städtischem System und seiner Umwelt). In diesem Attraktivitätskonzept findet auch die Tatsache Berücksichtigung, daß Attraktivität von Führungskräften, Facharbeitern und ungelerten Arbeitern unterschiedlich wahrgenommen wird.

²⁴ FORRESTER (1969) versäumt es aber, wie von mehreren Kritikern hervorgehoben wird (vergleiche CONSTABLE, 1973, p. 15; SCHÖNEBECK, 1973, p. 103 u. a.), die ihm vorschwebende „healthy city“ im Sinne einer Arbeitshypothese exakt zu definieren.

²⁵ Infolge des Ausbildungsprogrammes (Zunahme der Attraktivität des städtischen Systems) wandern ungelerte Arbeiter in das städtische System, verlassen es allerdings nach einer gewissen Zeit wieder, oft mit einer höheren Qualifikation (FORRESTER, 1969, p. 60). Diese Tatsache bleibt bei der Bewertung des Planungsprogrammes unberücksichtigt, da nur Veränderungen innerhalb des städtischen Systems betrachtet werden. Zur Kritik an FORRESTER's „housing-migration“ Prämisse vergleiche PACK (1972), ROTHENBERG (1974) u. a..

²⁶ Die Zunahme der unterdurchschnittlich ausgestatteten Wohnungen läßt sich durch den allgemeinen Altersprozeß, durch das soziale Wohnungsprogramm, durch gesetzliche Maßnahmen und durch die Steuerstruktur erklären. Gesetzliche Maßnahmen und die Steuerstruktur wirken nämlich zusammen, so daß die alte Baustruktur erhalten bleibt.

²⁷ Die Anzahl der DI-Unternehmen verändert sich nur geringfügig. In diesem Zusammenhang ist noch zu beachten, daß die Personalanforderungen der Kategorie DI an Führungskräfte, Facharbeitern und ungelerten Arbeitern jedoch (infolge der Modellprämissen) wesentlich geringer sind als diejenigen der Kategorien NE und MB. Die Zahl der Arbeitsplätze nimmt also bereits allein infolge des zunehmenden Altersprozesses der Unternehmen NE und MB ab.

²⁸ OR ist eine gebräuchliche Abkürzung für Operations-Research (= Unternehmensforschung).
²⁹ Wenn Datenmaterial nur in bescheidenem Ausmaße zur Verfügung steht, können die Gleichungen intuitiv und die Modellparameter durch Bewertungsurteile festgelegt werden (HUGGER, 1974 a, p. 71).

³⁰ Der Faktor Mensch als lernendes, steuerungsfähiges Subjekt findet z. B. keinen Eingang in die Modelle vom FORRESTER Typ.

³¹ FORRESTER begründet z. B. die Prämisse einer geschlossenen Systemgrenze lediglich damit, daß sozioökonomische Systeme wie ein städtisches System dazu tendieren, Veränderungen durch systeminterne Vorgänge zu kompensieren (vgl. FORRESTER, 1969, p. 12 ff. u. a.).

³² Da die Prämissen eines geschlossenen Systems und eines nur begrenzt verfügbaren Landes für den Systemverlauf der Systemkomponenten von zentraler Bedeutung sind, könnte man auf sie nur bei einer fundamentalen Änderung der Modellstruktur verzichten. Allerdings ließen sich einige mit den Prämissen verbundenen Probleme bereits teilweise durch eine Änderung einiger Parameter lösen. Den bei einer bestimmten Verknappung des Baulandes auftretenden unrealistischen Wachstumsstopp könnte man z. B. vermeiden, wenn man die Bebauungsdichte (Flächenanspruch pro Unternehmen bzw. pro Haus) in Relation mit der Abnahme des verfügbaren Baulandes variieren würde. Damit würde auch der ökonomischen Tatsache Rechnung getragen, daß Land durch Kapital substituiert werden kann.

³³ Die Unterscheidung zwischen eher datenorientierten und stärker konzeptorientierten Modellen geht auf HARBORDT (1975) zurück. Ein datenbasiertes Vorgehen bei der Modellkonstruktion geht, idealtypisch betrachtet, ohne erwähnenswerte theoretische Vorüberlegungen von der Sammlung und der statistischen Analyse eines möglichst umfassenden Datenmaterials aus. Können infolge des Fehlens adäquater empirischer Daten die Relationen zwischen den Modellvariablen nicht festgelegt werden, kann ein theorie- oder konzeptorientiertes Vorgehen eine wesentliche Alternative zum datenorientierten Ansatz darstellen (HARBORDT, 1975, p. 71 ff.). Der wohl entschiedenste Vertreter eines konzeptorientierten Vorgehens ist FORRESTER. Er begründet seine Vorgehensweise damit, daß sich datenbasierte Analyseverfahren zur Begründung von Modellrelationen nicht eignen würden. (Zur Kritik vergleiche INGRAM, 1970; BABCOCK, 1972; ROTHENBERG, 1974.). Außerdem hält es FORRESTER für sehr unwahrscheinlich, den Mechanismus eines komplexen dynamischen Systems durch ein datenorientiertes Vorgehen m. a. W. durch empirische Daten und deren statistische Auswertung erkennen zu können (vgl. hierzu FORRESTER, 1969, p. 114). Das URBAN DYNAMICS ging aus Diskussionen mit praxiserfahrenen Personen, vor allem mit J. F. COLLINS, einem ehemaligen Bürgermeister von Boston und jetzigem MIT-Professor, hervor. Im Rahmen seiner konzeptorientierten Vorgehensweise befragt FORRESTER diese Personen über die als relevant anzusehenden Systemelemente und Systemrelationen.

³⁴ Kalibrierungsmethoden in Zusammenhang mit Modellen vom LOWRY Typ werden bei FISCHER (1974, 1976 a) beschrieben.

³⁵ FORRESTER mißt dem Prozeß der Kalibrierung nur sekundäre Bedeutung bei, da die Modellparameter einen nur geringen Einfluß auf das Modellverhalten haben würden. Dieser Nachweis konnte unseres Wissens allerdings bisher noch nicht erbracht werden.

³⁶ Dieses Modell bildet die Subsysteme Bevölkerung, Wirtschaft und Wasserwirtschaft ab und verfolgt die Zielsetzung, die wirtschaftliche Entwicklung eines bestimmten Flußgebietes in Zusammenhang mit den Wasserressourcen des Susquehanna (Fluß in den Staaten New York und Pennsylvania) und insbesondere die Zusammenhänge zwischen dem Wasserverbrauch der Industrie und der Haushalte zu simulieren sowie die damit verbundenen Probleme der Wasserverschmutzung zu erkunden. Außerdem sollen die Entwicklung des Wasserbedarfs (quantitativ und qualitativ), der Bedarf an Stauseen und Dämmen sowie die Auswirkung verschiedener Investitionsentscheidungen auf die wirtschaftliche Entwicklung der Region ermittelt werden. Die Gesamtregion wird in 8 Subregionen unterteilt, wobei jede dieser Subregionen nach dem gleichen Prinzip abgebildet wird.

³⁷ FORRESTER beschränkt sich bei der Überprüfung der Modellvalidität lediglich auf subjektive Plausibilitätsklärungen und bleibt daher auf der Argumentationsebene der vorwissenschaftlichen Erfahrung stecken.

³⁸ Das *Besj*-Projekt scheiterte nach HARBORDT (1975, p. 288), da der Berliner Senat die weitere Finanzierung der Arbeit einstellte. Das Berliner Simulationsmodell sollte ein kurz- bis mittelfristiges taktisches Entscheidungsmodell BETEM (mit 3 Submodellen: einem Warmmodell, einem Stadtplanungsmodell und einem Entscheidungsmodell), ein langfristiges strategisches Planungsmodell BEPLA vom FORRESTER Typ, ein Daten-Aufbereitungs-System BEDAS, ein Stadt-konzept-Zielsystem BESTA und ein Operations-System BEOPS umfassen.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANSOFF, H. J. und D. P. SLEVIN, (1968): An appreciation of industrial dynamics. *Management Science: Theory Series*. Vol. 14, pp. 383—397.
- ASHBY, W. R. (1958): General systems theory as a new discipline. *General Systems*. Vol. 3, pp. 1—6.
- AVERCH, H. und LEVINE, R. A. (1971): Two models of the urban crisis: An analytical essay on Banfield and Forrester. *Policy Sciences*. Vol. 2, pp. 143—158.
- BABCOCK, D. L. (1972): Assumptions in Forrester's Urban Dynamics model and their implications. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 57—70. San Francisco, California, San Francisco Press.
- BATTY, M. (1971 a): Dynamics simulation of an urban system. Mimeo. Reading, Urban Systems Research Unit, Department of Geography, University of Reading. (= Paper presented at the Fourth Annual Conference

- of the British Section of the Regional Science Association, Barlett School of Architecture, London, August 1971).
- BATTY, M. (1971 b): Modelling cities as dynamic systems. *Nature*. Vol. 231, pp. 425—428.
- (1972): An experimental model of urban dynamics. *Town Planning Review*. Vol. 43, pp. 166—186.
- BERTALANFFY, L. von (1950): The theory of open systems in physics and biology. *Science*. Vol. 111, pp. 23—29.
- BIERMANN, H. (1970): *Kybernetische Prognosemodelle in der Regionalplanung*. Berlin, Duncker und Humblot. (= Wirtschaftskybernetik und Systemanalyse. Vol. 2).
- BURDEKIN, R. und S. A. MARSHALL (1972): The use of Forrester systems dynamics approach in urban modelling. *Environment and Planning*. Vol. 6, pp. 471—485.
- BURNS, J. R. und D. W. MALONE, (1974): Computational techniques for analysis of system dynamics models of social systems. *Socio-Economic Planning Sciences*. Vol. 8, pp. 215—233.
- CHADWICK, G. (1971): A systems view of planning. Towards a theory of the urban and regional planning process. Oxford et al., Pergamon Press.
- CHEN, K. (1972): *Urban Dynamics: Extensions and reflections*. San Francisco, California, San Francisco Press.
- CONSTABLE, D. (1973): Urban growth processes a critical assessment of the Forrester model. *Geographical Paper No. 21*. Reading, Department of Geography, University of Reading.
- CORDEY-HAYES, M. (1974): Contemporary thoughts on urban models. In: PERRATON, J. und R. BAXTER, (eds.) (1974): *Models, evaluations and informations systems for planners*. pp. 47—50. Lancaster, MTP Constructions. (= Land Use and Built Form Studies Conference Proceedings. Vol. 1).
- CORDEY-HAYES, M. und A. MATHESON, (1972): Policy oriented simulation models — a preliminary assessment and modification of „urban dynamics“. CES-WN-310. London, Centre for Environmental Studies.
- CZAYKA, L. (1974): *Systemwissenschaft. Eine kritische Darstellung mit Illustrationsbeispielen aus den Wirtschaftswissenschaften*. UTB. Vol. 185.
- DUKE, R. D. (1968): Zur Anwendung von Plan-spielen und Simulationen in der Kommunalverwaltung. *Archiv für Kommunalwissenschaften*. Vol. 7, pp. 4—22.
- FISCHER, M. M. (1974): Eine theoretische und methodische Analyse mathematischer Stadtentwicklungsmodelle vom LOWRY-Typ. Ein methodischer Beitrag zur Regionalforschung. Dissertation an den Naturwissenschaftlichen Fachbereichen der Universität Erlangen—Nürnberg (326 pp.). Rhein-Mainische Forschungen. Vol. 83 im Druck.
- (1976 a): Mathematische Stadtentwicklungsmodelle vom GARIN-LOWRY-Typ. Mimeo (111 pp.) AMR Forum. Vol. 3. Wien, Arbeitskreis für Neue Methoden der Regionalforschung, im Druck.
- (1976 b): Computersimulation in der Stadt- und Regionalforschung. Mimeo. (Unpublished Paper) Wien, Geographisches Institut d. Universität Wien.
- (1976 c): Modelle in der Geographie I. Mimeo. (Unpublished Paper, Vorlesungsmanuscript). Wien, Geographisches Institut d. Universität Wien.
- FLEISHER, A. (1971): Book review of urban dynamics by Jay W. Forrester. *Journal of the American Institute of Planners*. Vol. 37, pp. 53—54.
- FORRESTER, J. W. (1961): *Industrial dynamics*. New York und London: Wiley.
- (1968 a): *Industrial dynamics — after the first decade*. *Management Sciences*. Vol. 14, pp. 398—415.
- FORRESTER, J. W. (1968 b): *Principles of systems*. Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Presse (deutsche Übersetzung: „Grundsätze einer Systemtheorie“ (1927). Wiesbaden, Gabler).
- (1969): *Urban dynamics*. New York und London, Wiley.
- (1970 a): Systemanalyse als Instrument der Stadtplanung. *Umschau*. Vol. 17, pp. 533—538. (= Übersetzung eines Vortrages „Systems analysis as a tool for urban planning“). For the Symposium „The Engineer and the City“, National Academy of Engineering, October 22—23, 1969, Washington, D. C.).
- (1970 b): *World dynamics*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- (1976): Das intuitionswidrige Verhalten sozialer Systeme. In: MEADOWS, D. L. und D. H. (1976): *Das globale Gleichgewicht*. Rororo Sachbuch. Vol. 6954, pp. 13—14, Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- FREIENBERG, W. (1975): Modellierung in der Stadtplanung; Bedingungen — Möglichkeiten — Probleme. Aktuelle Urbanisationsprobleme (Arbeitsunterlagen zu den Vorlesungen der ETH Zürich, Architekturabteilung, Studienjahr 1975/76). Heft 2, pp. 45—51.
- GRAY, J., D. PESSEL und P. F. VARAYA (1972): A critique of Forrester's model of an urban area. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 43—54. San Francisco, California, San Francisco Press.
- GRAHAM, A. K. (1972): Modeling city — suburb interactions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. Vol. SMC-2, no. 2, pp. 156—158.
- GUETZKOW, H. (ed.) (1962): *Simulation in social science*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall Inc..
- GUETZKOW, H., P. KOTLER und R. L. SCHULTZ (1972): *Simulation in social and administrative science. Overviews and case-examples*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall.
- HÄNDLE, F. und S. JENSEN (eds.) (1974): *Systemtheorie und Systemtechnik*. München, Nymphenburger Verlagshandlung. (= Nymphenburger Texte zur Wissenschaft. Vol. 15.)
- HAMILTON, H. R. et al. (1969): *Systems simulations for regional analysis. An application to river-basin planning*. Cambridge (Massachusetts) und London (England), MIT Press.
- HANSEN, H. (1972): Spiel- und Simulationstechniken als Lern- und Forschungsinstrumente. *Raumforschung und Raumordnung*. Vol. 30, pp. 8—11.
- HARBORDT, S. (1975): *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*. Rororo Studium, Vol. 49—50. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- HAUFF, V. und T. LUTZ (1967): Einführung in die Simulationstechnik. In: MAYNTZ, R. (ed.) (1967): *Formalisierte Modelle in der Soziologie*. pp. 143—167. Neuwied und Berlin, Luchterhand.
- HELLY, W. (1975): *Urban systems models*. New York, San Francisco und London, Academic Press.
- HESTER, J. (1965): *System models of urban growth and development*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- HOGATT, A. C. und F. E. BALDERSTONE (eds.) (1963): *Symposium on simulation models: Methodology and applications to the behavioral sciences*. Cincinnati, South-Western Publishers.
- HOOS, I. (1970): Rumpelstilzchen oder: Eine Kritik an der Anwendung der Systemanalyse auf gesellschaftliche Probleme. *Stadtbauewelt*. Vol. 25, pp. 21—27.
- HUGGER, W. (1974 a): *Weltmodelle auf dem*

- Prüfstand. Basel und Stuttgart, Birkhäuser (= Interdisziplinäre Systemforschung. Vol. 2).
- HUGGER, W. (1974 b): Zusammenstellung und kritische Aufbereitung der vorhandenen Ansätze für sozioökonomisch-politische Gesamt-Systemmodelle auf Makroebene. ZBZ-Bericht No. 17. Berlin, Zentrum Berlin für Zukunftsforschung e. V.
- INGRAM, G. K. (1970): Urban Dynamics. Book review. *Journal of the American Institute of Planners*. Vol. 36, pp. 206—208.
- JAECKEL, M. (1972): Forrester's urban dynamics: A sociologist's inductive critique. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 236—271. San Francisco, California, San Francisco Press.
- KAIN, J. F. (1969): A computer version of how a city works. *Fortune*. Vol. 80, pp. 241—242.
- KADANOFF, L. P. (1971): An examination of Forrester's "Urban Dynamics". *Simulation*. Vol. 16, pp. 261—268.
- , (1972 a): From simulation model to public policy. *American Scientist*. Vol. 60, pp. 74—79.
- , (1972 b): A modified Forrester model of the United States as a group of metropolitan areas. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 105—124. San Francisco, California, San Francisco Press.
- und M. WEINBLATT (1972 c): Public policy conclusions from urban growth models. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 87—104. San Francisco, California, San Francisco Press.
- KLATT, S. (1970): Simulation. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ed.) (1970): *Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung*. Spalten 2936—2944. Hannover, Gebrüder Jänecke Verlag.
- , (1973): Simulationsverfahren als Instrument der empirischen Regionalforschung. In: Arbeitskreis „Methoden der Empirischen Regionalforschung“ der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ed.) (1973): *Methoden der empirischen Regionalforschung (1. Teil)*. pp. 183—213. Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Forschungs- und Sitzungsberichte. Vol. 87.
- KLATT, S., J. KOPF und B. KULLA (1974): Systemsimulation in der Raumplanung. Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Vol. 71, Hannover, Gebrüder Jänecke Verlag.
- KLAUS, G. (ed.) (1969): *Wörterbuch der Kybernetik*. Frankfurt am Main und Hamburg, Fischer Bücherei.
- KOELLE, H. H. (1974): GESIM. Inhaltlicher Entwurf eines zielorientierten, gesamtgesellschaftlichen Simulationsmodells. ZBZ-Bericht No. 21. Berlin, Zentrum für Zukunftsforschung e. V..
- KOXHOLT, R. (1967): Die Simulation, ein Hilfsmittel der Unternehmensforschung. München und Wien, Oldenbourg.
- KRUECKENBERG, D. A. (1969): Book review of urban dynamics by Jay W. Forrester. *Journal of the American Institute of Planners*. Vol. 35, p. 353.
- LOUGHLIN, J. B., Mc (1969): *Urban and regional planning*. London, Faber and Faber.
- MASS, N. J. (ed.) (1974): *Readings in urban dynamics: Volume 1*. Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press.
- MAYNTZ, R. (ed.) (1967): *Formalisierte Modelle in der Soziologie*. Neuwied und Berlin, Luchterhand (= Soziologische Texte. Vol. 39).
- MEADOWS, D. L. und D. H. (1976): *Das globale Gleichgewicht*. Rororo Sachbuch. Vol. 6879. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- MILLER, J. S. (1975): Urban dynamics and land rezoning. In: SCHROEDER III, W. W., R. E. SWEENEY und L. E. ALFELD (eds.) (1975): *Readings in urban dynamics: Volume 2*. Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press.
- MOODY, H. T. (1970): *Urban Dynamics. A review of Forrester's model of an urban area*. *Economic Geography*. Vol. 46, pp. 620—626.
- NARR, W.-D. (1971): *Theoriebegriffe + Systemtheorie*. Stuttgart et al., Kohlhammer.
- NASCHOLD, W. (1969): *Optimierung: Möglichkeiten, Grenzen und Gefahren*. *Stadtbauwelt*. Vol. 24, pp. 282—285.
- NAYLOR, T. H. (1971): *Computer simulation experiments with models of economic systems*. New York, Wiley.
- und J. M. FINGER (1967): *Verification of computer simulation models*. *Management Science*. Vol. 14, pp. B—92 — B—101.
- et al. (1966): *Computer simulation techniques*. New York et al., Wiley.
- NOWAK, J. (1971): *Systemtheoretische Aspekte der Stadtforschung*. *Archiv für Kommunalwissenschaften*. Vol. 10, pp. 311—324.
- , (1973): *Simulation und Stadtentwicklung*. Stuttgart et al., Kohlhammer. (= Schriften des Deutschen Instituts für Urbanistik. Vol. 41.)
- ORCUTT, G. H. (1963): *Views on simulation and models of social systems*. In: HOGGATT, A. C. und F. E. BALDERSTONE (eds.) (1963): *Symposium on simulation models: Methodology and applications to the behavioral sciences*. Cincinnati, South-Western Publishing Co..
- PACK, J. R. (1972): *Models of population movement and urban policy*. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 211—222. San Francisco, California, San Francisco Press.
- PORTER, H. R. und E. J. HENLEY (1972): *Applications of the Forrester model to Harris County, Texas*. In: CHEN, K. (ed.) (1972): *Urban dynamics: Extensions and reflections*. pp. 173—210. San Francisco, California, San Francisco Press.
- PREWO, R., J. RITSERT und E. STRACKE (1973): *Systemtheoretische Ansätze in der Soziologie. Eine kritische Analyse*. Rororo Studium. Vol. 38. Reinbek bei Hamburg, Rowohlt.
- REICHENBACH, E. (1972): *Vergleich von Stadtentwicklungsmodellen*. Mimeo. Diplomarbeit am Institut für Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig.
- RICH, R. P. (1955): *Simulation as an aid in model building*. *Operations Research*. Vol. 3, pp. 15—19.
- ROBINSON, I. M., H. B. WOLFE und R. L. BARRINGER (1965): *A simulation model for regional programming*. *Journal of the American Institute of Planners*. Vol. 31, pp. 126—134.
- RODRIGUEZ-BACHILLER, A. (1976): *Gravity models in a dynamic framework*. *Geographical Papers No. 40*. Reading, Department of Geography, University of Reading.
- ROTHENBERG, J. (1974): *Problems in the modeling of urban development: A review article on urban dynamics*, by Jay W. Forrester. *Journal of Urban Economics*. Vol. 1, pp. 1—20.
- SCHINDOWSKI, D. und C. SCHÖNEBECK (1976): *Ein Gültigkeitstest für Simulationsmodelle komplexer sozio-ökonomischer Systeme*. Dargestellt am Beispiel zweier Regionalentwicklungsmodelle vom Forresterischen SYSTEMDYNAMICS-Typ. Mimeo. Dortmund. Büro für Systemanalyse und Computereinsatz in der öffentlichen Planung und Institut für Raumplanung an der Universität Dortmund. (Paper presented to the Third European Meeting on Cybernetic and Systems Research, 20th—24th April 1976, University of Vienna, Austria).
- SCHÖNEBECK, C. (1975): *Der Beitrag komplexer Stadtsimulationsmodelle (vom Forrester-Typ)*

- zur Analyse und Prognose großstädtischer Systeme. Basel und Stuttgart: Birkhäuser (= Interdisziplinäre Systemforschung. Vol. 3).
- SCHMIDT, P. (1972): Simulation und Ableitung von Technologien. Mimeo. Forschungsgruppe Hochschulkapazität.
- SCHROEDER III, W. W. (1974): Lowell dynamics: Preliminary applications of the theory of urban dynamics. In: MASS, N. J. (ed.) (1974): Readings in urban dynamics: Volume 1. Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press.
- , (1975): Urban dynamics and the suburbs. In: SCHROEDER III, W. W., R. E. SWEENEY und L. E. ALFELD (eds.) (1975): Readings in urban dynamics: Volume 2. Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press.
- SHUBIK, M. (1967): Simulation of socio-economic systems. *General Systems*. Vol. 12, pp. 149—175.
- STEINBUCH, K. (1967): Systemanalyse — Versuch einer Abgrenzung, Methoden und Beispiele. *IBM Nachrichten*. Vol. 17, pp. 446—456.
- TAYLOR, J. L. (1971): Urban gaming simulation systems. *Progress in Geography*. Vol. 3, pp. 136—171.
- TELFORD, K., A. YULE und R. BURDEKIN (1974): Dynamic macroeconomic model of the Northern Economic Planning Region. UKSC 0059, Peterlee, I.B.M. United Kingdom Ltd..
- TOBLER, W. R. (1970): Book review: Urban dynamics. *Geographical Analysis*. Vol. 2, pp. 198—199.
- VOLWAHSEN, T., H. SIEVERTS und H. BLUM (1973): Dynamisches Simulationsmodell des Wohnungsmarktes in München. *Bauwelt*. Vol. 46, pp. 1977—1986.
- WEGENER, M. und J. MEISE (1971): Stadtentwicklungssimulation. *Stadtbauwelt*. Vol. 29, pp. 26—31.
- WEINBLATT, H. (1970): Urban Dynamics: A critical examination. *Policy Sciences*. Vol. 1, pp. 377—394.
- WIENER, N. (1969): Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine. *Rororo*. Vol. 294/295. Reinbek bei Hamburg. Rowohlt.
- WILSON, A. G. (1970): Book review of urban dynamics by Jay W. Forrester. *Environment and Planning*. Vol. 2, pp. 364—365.
- YOUNG, O. R. (1964): A survey of general systems theory. *General Systems*. Vol. 9, pp. 61—80.
- ZBZ-BESI-TEAM (1970): Das Berliner Simulationsmodell BESI im Grundriß. Analysen und Prognosen. Heft 9, pp. 13—15.

Zusammenfassung

FORRESTER (1969) gebührt zweifellos das Verdienst, als erster ein umfassendes komplexes dynamisches städtisches System simuliert zu haben. Im Vordergrund der Diskussion über FORRESTER's *Urban Dynamics* steht, da den Kritikern nicht selten eine tiefere Kenntnis der inneren Modellzusammenhänge zu fehlen scheint, häufig eine unkritische, oberflächliche Rezeption und Bewertung der Modellergebnisse. Mit diesem Aufsatz soll der Versuch unternommen werden, einen leicht verständlichen, aber zugleich auch wissenschaftlich fundierten Überblick über FORRESTER's *Urban Dynamics* zu liefern.

Nach einigen grundsätzlichen Bemerkungen zur Theorie der Informationsrückkopplungssysteme, auf der die Simulationsmodelle vom FORRESTER Typ basieren, wird die allgemeine Struktur des Stadtsimulationsmodells *Urban Dynamics* in groben Zügen expliziert, das Verhalten ausgewählter Variablen im Zeitablauf von 250 Simulationsjahren analysiert sowie verschiedene Stadtplanungsprogramme hinsichtlich ihrer langfristigen Planungswirksamkeit diskutiert.

Eine inhaltliche Detailkritik an FORRESTER's *Urban Dynamics* müßte vor allem an der inhaltlichen Konzeption, d. h. an dem Modell zugrundeliegenden Prämissen, an der Wahl der Modellelemente und Modellrelationen u. a. ansetzen. Es ist im Rahmen dieses Aufsatzes natürlich nicht möglich, eine auch nur annähernd umfassende diesbezügliche Kritik zu leisten. Stattdessen werden nur einige uns zentral erscheinende Probleme, Schwächen und Grenzen in gebotener Kürze hervorgehoben.

Summary

FORRESTER's Computersimulation Model Urban Dynamics: A Survey

FORRESTER must be credited to have simulated as the first one a comprehensive dynamic urban system.

His critics brought into prominence an uncritical and superficial understanding and evaluation of the outcome of the model when discussing FORRESTER's *Urban*

Dynamics because they often lack a deeper understanding about the internal model structure. This paper tries to present a simple and easily comprehensible nevertheless scientifically sound review of FORRESTER's *Urban Dynamics*.

The general structure of the urban simulation model *Urban Dynamics* is explained in rough outlines after principle remarks have been made about the theory of information feedback systems which are the base of FORRESTER's simulation model. Also the behavior of selected variables during a 250 year simulation is analysed as well as city planning programs in respect to their longtime results of realisation.

A detailed criticism of the essence of FORRESTER's *Urban Dynamics* could be applied with regard to substance, that is the premises on which the model is built, the choice of elements and relations of the model etc. . . . Within the scope of this paper of course it is not possible to apply an above mentioned comprehensive criticism. Instead in short form some problems, weaknesses and limitations of the model are pointed out that seem of central importance to us.

R é s u m é

Le modèle de simulation *Urban Dynamics* de FORRESTER — un exposé

C'est à FORRESTER (1969) qu'appartient sans aucun doute le mérite d'avoir simulé le premier un système urbain complexe et dynamique. Le point principal de toute discussion critique semble être — faute d'une connaissance plus profonde des relations inhérentes au modèle — une estimation seulement superficielle des résultats d'une telle action simulée. Cette étude-ci essaie de donner un exposé facilement à comprendre et en même temps scientifique de ce modèle *Urban Dynamics* de FORRESTER.

Après quelques observations essentielles faites sur la théorie des systèmes de réactions d'informations servant de base pour les modèles-types de FORRESTER, l'auteur explique en quelques traits la structure générale du modèle *Urban Dynamics*, il analyse la réaction des variables choisies à cette fin au cours de 250 „ans de simulation“, et il discute plusieurs programmes d'aménagement urbain en vue de leur efficacité de longue durée.

Une critique fondée et détaillée devrait s'engager avant tout en vue de la conception substantielle du modèle *Urban Dynamics*, cela veut dire en vue de ses prémisses, de la choix de ses éléments constructifs et de ses relations. Cette étude-ci, en forme de précis sommaire, ne permet même pas approximativement de prononcer une telle critique fondée. En revanche, l'auteur accentue brièvement quelques problèmes fondamentaux, des imperfections et des limites.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [119](#)

Autor(en)/Author(s): Fischer Manfred M.

Artikel/Article: [FORRESTER'S COMPUTERSIMULATIONSMODELL
URBAN DYNAMICS: EIN ÜBERBLICK 210-240](#)