

Apel, Heino

Article — Digitized Version

Die Grenzen von System Dynamics

Wirtschaftsdienst

Suggested Citation: Apel, Heino (1975) : Die Grenzen von System Dynamics, Wirtschaftsdienst, ISSN 0043-6275, Verlag Weltarchiv, Hamburg, Vol. 55, Iss. 8, pp. 411-414

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/134851>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Die Grenzen von System Dynamics

Heino Apel, Frankfurt

Im Gefolge der berühmt gewordenen Weltmodelle des M.I.T. wurden und werden auch in der Bundesrepublik Simulationsstudien angefertigt, die den von J. W. Forrester entwickelten system-dynamischen Ansatz zur methodischen Grundlage haben ¹⁾. Da selbst im Kritikerboom über die „Grenzen des Wachstums“ von der Methode nur wenig zu hören war, soll im folgenden der Versuch einer Einschätzung dieser Methode – der System Dynamics – unternommen werden.

Mit finanzieller Unterstützung der Ford Foundation begann 1956 an der M.I.T. School of Industrial Management die Ausarbeitung eines einfach zu handhabenden kybernetischen Instrumentariums, dessen Ziel „enterprise design“ sein sollte. Das Ergebnis legte J. W. Forrester 1961 in seinem Buch „Industrial Dynamics“ vor. Parallel dazu wurde ein Compiler für die spezielle Simulationssprache „Dynamo“ entwickelt, die auch dem Nichtprogrammierer einen relativ leichten Zugang zum Computer ermöglicht.

In der Tat besticht die didaktische Klarheit des Forresterischen Konzepts. Die Wirkungszusammenhänge eines zu modellierenden Systems (Rückkopplungsschleifen, die Zustands- und Veränderungsgrößen verbinden; Hilfsvariable und Hilfsfunktionen) lassen sich über eine normierte Symbolik graphisch darstellen und können unmittelbar in Gleichungen umgesetzt werden. Dabei sind auch sehr komplizierte regelungstechnische Vorgänge nachbildbar, ohne daß der Modellbauer sich mit schwierigen Differentialgleichungen herumschlagen muß, weil die Dynamogleichungen Differenzgleichungen erster Ordnung darstellen, deren rekursive Verschachtelungen bei der Modellrechnung dann Approximationen an Lösungen von Differentialgleichungen höherer Ordnung ergeben.

Die Möglichkeit z. B., Entscheidungen, die rein ökonomische Flußgrößen berühren, über soziale Variable zu steuern, weist über „Industrial Dynamics“ hinaus, so daß konsequenterweise Forrester sein Anspruchsniveau in den folgenden Arbeiten über „Urban Dynamics“ ²⁾ bis zu „World Dynamics“ ³⁾ steigerte. In „Principles of Systems“ ⁴⁾, einem Lehrbuch, in dem die Instrumente von „In-

dustrial Dynamics“ noch einmal unter allgemeinen Gesichtspunkten dargestellt werden, erhält die Methode schließlich den Namen „System Dynamics“.

Wie schon in „Industrial Dynamics“ werden auch in diesem Buch systemtheoretische Gesichtspunkte aufgeführt, die aber gemessen an dem Stand der aktuelleren systemtheoretischen Diskussion (Habermas/Luhmann) nur als naiv bezeichnet werden können. In alter modellplatonischer Manier projiziert Forrester in reale Phänomene Modelleigenschaften, so daß zuweilen jeglicher Unterschied von gesellschaftlichem Gebilde und seiner Darstellung als nichtlineares feed-back-System verschwindet. Die z. B. bei Luhmann diskutierte Innen-Außen-Differenz von Systemen, die überhaupt erst Organisations- und Stabilisierungsziele erklärt, existiert in Forresters „Systemtheorie“ nicht, da er nur geschlossene Systeme beschreibt, deren Dynamik endogen erzeugt ist. Von ebenso mangelhaftem erkenntnistheoretischem Problembewußtsein zeugen die euphorischen Bemerkungen, die Forrester über die vermeintlichen Vorzüge von Computermodelldarstellungen gegenüber verbalen Modellen (Theorien) äußert. Mit diesem in gewisser Weise technokratisch verkürzten systemtheoretischen Instrumentarium ist von Forrester eine Hypothek auf die Anwendung von System Dynamics im Sinne einer schlechten Weichenstellung gelegt worden.

System Dynamics hat nun immerhin eine Entwicklungsphase von 19 Jahren hinter sich, aber abge-

Heino Apel, 33, Dipl.-Mathematiker, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am DFG-Forschungsprojekt „Ökonomische Aspekte des Umweltproblems“ unter der Leitung von Prof. Meißner in Frankfurt.

¹⁾ Z. B. S. Klatt, J. Kopf, B. Kulla: Systemsimulation in der Raumplanung, Hannover 1974; G. Lehmann: Wirtschaftswachstum im Gleichgewicht, Stuttgart 1975; C. Schönebeck: Der Beitrag komplexer Stadtsimulationsmodelle (vom Forrester-Typ) zur Analyse und Prognose großstädtischer Systeme, Basel 1975; A. Volwahsen, T. Sieverts, H. Blum: Dynamisches Simulationsmodell des Wohnungsmarktes in München, Bauwelt 1974; W. Meißner (Seminar für Volkswirtschaftslehre an der Universität Frankfurt): Umweltmodell der Region Hessen (noch nicht abgeschlossen); E. O. Czempliel (Institut für internationale Beziehungen der Universität Frankfurt): Simulationsstudie der Dyade USA-Südafrika (noch nicht abgeschlossen).

²⁾ J. W. Forrester: Urban Dynamics, Cambridge, Mass., 1969.

³⁾ J. W. Forrester: World Dynamics, Cambridge, Mass., 1971.

⁴⁾ J. W. Forrester: Principles of Systems, Cambridge, Mass., 1968.

sehen von wenigen Fällen auf Unternehmensebene haben die bisher bekannten systemdynamischen Modelle nur Spielcharakter, d. h. sie befinden sich noch im methodischen, nicht aber im praktischen Stadium. Dies allein den Mängeln der Forrester'schen „Systemtheorie“ anzulasten, wäre unfair, denn System Dynamics ist durchaus ein gut zu handhabendes, elegantes Simulationsverfahren, das je nach Anstrengung der Modellbauer einen Vergleich mit anderen Simulationstechniken nicht zu scheuen braucht. Diese Techniken können heute allerdings allgemein noch nicht die in sie gesetzten Erwartungen und Ansprüche erfüllen. Nach einer umfangreichen Literatursichtung kommt Harbordt zu dem ernüchternden Urteil, daß die Wahrscheinlichkeit eines Computersimulationsmodelles, heute Praxisreife zu erlangen, nur 0,5 Prozent beträgt⁵⁾.

Im folgenden sollen die mir wesentlich erscheinenden Schwierigkeiten bei der Anwendung von System Dynamics systematisch diskutiert werden.

Das Theorieproblem

Wenn man über methodische Unzulänglichkeiten quantitativer Ansätze spricht, übersieht man leicht, daß die erste, ja vielleicht wesentliche Schwachstelle in dem der Darstellung zugrunde liegenden Hypothesengebäude anzusehen ist. Im Falle der System Dynamics, die auf sozio-ökonomische, hochkomplexe Zusammenhänge zielt, muß aber eine Bestandsaufnahme erklärender und halbwegs als gesichert anzusehender Theorien als äußerster mager bezeichnet werden. Erst Mitte der 60er Jahre „entdeckte“ der Kritische Rationalismus, daß die neoklassischen ökonomischen Modelle nahezu keinen Erklärungswert haben, weil ihre Beschränkung auf rein ökonomische Variable den wirklichen Zusammenhängen nicht gerecht wird⁶⁾. Der inzwischen allgemein anerkannten Einsicht in die Notwendigkeit interdisziplinärer Gesichtspunkte bei der Analyse gesellschaftlicher Phänomene vermag aber der Wissenschaftsbetrieb, der nach wie vor in seinen tradierten Fachrichtungen verläuft, nur sehr schwerfällig zu folgen.

Die Versuchung liegt nun nahe – wenn schon von den theoretischen Wissenschaften kein fächerübergreifendes Arbeitsergebnis vorgelegt wird –, dies einer Computercrew aus Soziologen, Ökonomen und Mathematikern abzuverlangen. Im Team wird dann nach Hypothesen, mal aus der neoliberalen, mal aus der keynesianischen Trickkiste, gefahndet. Wo sich nichts findet, hilft Intuition weiter, und der letzte Schliff schließlich wird vom Mathematiker besorgt: fertig ist das sozio-ökonomische Modell. Daß der Brei aus diesem Kochrezept niemandem so recht schmecken will, wird unmittelbar einleuchten – aber genau dies ist das gängige

Muster auch für die systemdynamische Modellbildung (wobei man sich bei den Weltmodellen noch den Soziologen ersparte).

Eine Lösung dieses auf Theoriedefiziten beruhenden Dilemmas bei der quantitativen Modelldarstellung wird nicht darin bestehen können, auf verbale Totalanalysen seitens der theoretischen Sozialwissenschaften zu warten, sondern Theorie- und Modellbildung müssen in ein gesondertes Verhältnis zueinander treten. Hypothesenformulierung, ihre Modellübertragung und Modelltest können in einem sich wiederholenden stufenweisen Prozeß zur Herausbildung komplexer Theorien beitragen⁷⁾, was allerdings große methodologische Anforderungen stellt, über die aus der Forrester'schen „Systemtheorie“ nur wenig zu erfahren ist.

Die Quantifizierung

Wie steht es mit der von Forrester und vielen anderen immer wieder beteuerten Behauptung, Computermodelle seien exakter als verbale, geistige Modelle? Um mehr als eine triviale Aussage zu erhalten, muß gefragt werden, exakt in welchem Sinne? L. A. Zadeh argumentiert z. B. genau umgekehrt wie Forrester, indem er darauf hinweist, daß die meisten sprachlichen Begriffe unscharf sind, d. h. gewisse Bedeutungsbandbreiten umfassen, die in der sprachlichen Kommunikation aber im allgemeinen eindeutig verarbeitet werden, so daß also die „exakte“ zahlenmäßige Begriffsabbildung der verbalen Kommunikation nicht angemessen ist. Um verbale Theorie adäquat darstellen zu können, entwickelt Zadeh einen speziellen, unscharfen mengentheoretischen Kalkül: das System der „fuzzy sets“⁸⁾, der allerdings noch nicht zur Anwendungsreife gediehen ist.

In dieselbe Richtung zielt auch der Einwand von Renate Mayntz, daß mit der Quantifizierung eines Begriffs die Aura des Mitgedachten unterschlagen wird⁹⁾. Bei der Übertragung eines verbalen Modelles in ein quantitatives spielt der Konkrete Grad eine Rolle. Abstrakte Aussagen, wie z. B. daß eine fallende Tendenz vorliege, sind auf dieser Ebene überhaupt nicht übersetzbar; der Modellbauer benötigt zusätzliche Informationen über den Funktionstyp der fallenden Tendenz und seine Parameterwerte für eine gleichungsmäßige Darstellung. Das entspricht aber einer Analyse auf konkreter Ebene und darf schwerlich als Exaktheitszuwachs begriffen werden, wenn die entspre-

⁵⁾ Steffen Harbordt: Computersimulation in den Sozialwissenschaften, Reinbek bei Hamburg 1974, S. 300.

⁶⁾ Vgl. H. Albert: Modellplatonismus. Der neoklassische Stil des ökonomischen Denkens in kritischer Beleuchtung, Köln.

⁷⁾ Vgl. die „Modellmethode“ von Georg Klaus, in: Wörterbuch der Kybernetik, Frankfurt M. 1969.

⁸⁾ L. A. Zadeh: Introduction to fuzzy sets, in: H. Bossel et. al. (Hrsg.): Systems Theory in the Social Science, Basel 1975.

⁹⁾ R. Mayntz: Formalisierte Modelle in der Soziologie, Neuwied 1967.

chenden Informationen real fehlen und nur nach Plausibilitätsüberlegungen willkürlich gewählt werden.

Schließlich sei noch auf die Indikatorenproblematik verwiesen, d. h. welche meßbaren Werte indizieren welchen theoretischen Sachverhalt. Erst in jüngerer Zeit ist sie mit der statistischen Erfassung gesamtgesellschaftlicher Variablen in ein intensives Diskussionsstadium getreten, ohne daß behauptet werden kann, daß bereits allgemein anerkannte Ergebnisse vorliegen¹⁰⁾. So besteht z. B. die Exaktheit einer Linearkombination diverser Variablen, die den Namen „Lebensqualität“ erhält, bei fehlender theoretischer Klärung nur zum Schein, denn die Kombination der Variablen und ihrer Koeffizienten unterliegt der subjektiven Willkür des Modellbauers, so daß die zahlenmäßig generierte Größe inhaltlich nicht determiniert ist.

Die Kalkülrestriktion

Die verbale Beschreibung eines realen Gegenstandsbereichs findet in einer anderen Syntax statt als die Beschreibung durch ein quantitatives Modell. Es liegt gewissermaßen eine Abbildung durch zwei verschiedene Medien vor, wobei die Transformation von einem in das andere Medium erhebliche Verzerrungen mit sich bringen kann.

Wenn die oben genannte „fallende Tendenz“ im verbalen Modell einen ganzen Bereich von abklingenden Erscheinungsmöglichkeiten umfaßt, dann wäre ihre quantitative Wiedergabe durch eine fallende Gerade restriktiv in dem Sinne, daß sie nur einen Spezialfall der angesprochenen Erscheinung darstellt.

System-Dynamics-Modelle sind streng rekursive Systeme aus Definitions-, Verhaltens- und Differenzgleichungen. Das bedeutet, daß Ursache-Wirkungsmechanismen immer nur in eine Richtung ablaufen können. Ohne über Dynamik (die Computersprache von System Dynamics) hinauszugehen, können gleichzeitig stattfindende Wechselbeziehungen (Interdependenzen) nicht durch das Modell abgebildet werden¹¹⁾.

Die wichtigste Restriktion scheint mir aber darin zu liegen, daß Forresters Behauptung von der leichteren Überschaubarkeit quantitativer Modelle nicht haltbar ist. Der oben schon angedeuteten Problemlosigkeit, mit System Dynamics ein hochkomplexes Modell auf dem Computer zu implementieren, steht die Schwierigkeit gegenüber, dieses Modell auch wirklich zu beherrschen; d. h. einmal diejenigen Inputwerte herauszufinden, bei denen der Modelloutput auch das wiedergibt, was

¹⁰⁾ Vgl. W. Zapf: Soziale Indikatoren, Frankfurt/M. 1974 u. 1975.

¹¹⁾ Über speziellere mathematische Restriktionen seitens der Kontrolltheorie vgl. R. H. Day: On System Dynamics, in: Behavioral Science, Vol. 19, No. 4, 1974.

der Konstrukteur beschreiben will, und zum anderen zu verstehen, was im Zeitablauf im Modell passiert. Anhand einer signalfußmäßigen Strukturanalyse durch eine abschnittsweise Linearisierung der nichtlinearen Gleichungen des Welt-2-Modells hat G. Schmidt die wesentlichen Wirkungsrichtungen zwischen den fünf Hauptvariablen des Modells untersucht¹²⁾. Überraschend ist dabei, in welchem starkem Maße im dynamischen Zeitverlauf Einflußrichtungen zwischen den Variablen ihre Vorzeichen ändern bzw. sich verlagern. Das Modell produziert aus seiner Eigendynamik heraus ein Verknüpfungsverhalten, das durchaus mit den intendierten sachlichen Hypothesen in Widerspruch geraten kann. Forresters schwammige Formel vom sogenannten „gegenintuitiven Verhalten sozialer Systeme“ besagt m. E. nicht mehr als dieser angesprochene Punkt, daß selbst Regeltechniker das Verhalten mathematischer feed-back-Systeme nicht ohne weiteres überschauen können. Solche Modellverselbständigung wirkt sich restriktiv auf den Anspruch aus, daß systemdynamische Modelle möglichst genau die Struktur des Realsystems erfassen sollen.

Das Homomorphieproblem

Wenn das Modellverhalten gegenüber einer unverstandenen Modellstruktur nur durch Variation der Inputwerte erzeugbar ist, spricht man bekanntlich von einer black-box. Mit dem zuletzt angesprochenen Problem haben also systemdynamische Modelle eine methodische Tendenz zur black-box-Bildung, der nur durch sorgfältige Sensitivitätsanalysen entgegengesteuert werden kann. Dieser Punkt erfährt von Forrester und den bisher bekannten systemdynamischen Anwendern eine viel zu geringe Aufmerksamkeit. Die Berechtigung, langfristige Verhaltensexperimente durchführen zu können, wird allgemein damit begründet, daß gerade System-Dynamics-Modelle wegen ihrer hochkomplexen, nichtlinearen Gestaltungsmöglichkeiten besser strukturhomomorph zu realen Systemen konstruiert werden können als z. B. ökonomische Modelle, so daß auch eine bessere Verhaltenshomomorphie erwartet werden könne. Bekräftigt wird diese Annahme noch mit dem Argument, daß feed-back-Systeme gegenüber kleinen Schwankungen ihrer meisten Modellparameter verhältnismäßig verhaltensstabil sind, was zur Konsequenz habe, daß — wenn die Modellstruktur qualitativ strukturhomomorph ist — man sich mit der quantitativen Größenzuweisung durch empirische Daten viele Mühe sparen könne.

Diesen Behauptungen muß mit sehr großer Vorsicht gegenübergetreten werden, weil ihnen eine

¹²⁾ G. Schmidt, B. Lange: Die Evolution der wesentlichen Signalverknüpfungen in Forresters Modell der Weltdynamik, in: Regelungstechnik, Nr. 5, 1975, S. 145 f.

unzulässige Trennung der qualitativen und quantitativen Seite einer Modellstruktur zugrunde liegt. Die hinter den Differenzgleichungen von Dynamo stehenden Differentialgleichungen, die Ausdruck einer bestimmten „qualitativen“ Modellstruktur sind, können nämlich je nach Konstellation ihrer Koeffizienten und Anfangswerte (die quantitative Struktur) völlig unterschiedliches Schwingungsverhalten erzeugen. Neben denjenigen Koeffizienten, deren leichte Veränderung noch keinen Umschlag im Schwingungsverhalten bewirkt, gibt es aber meist noch andere – von Meadows „pressure points“ genannt –, auf die der Modelloutput höchst kritisch reagiert. So existieren Analysen von Welt 2, bei denen marginale Änderungen weniger Koeffizienten und weniger Gleichungen, die die wesentliche Modellstruktur nicht berühren, und völlig im Rahmen des Plausiblen bleiben, das Katastrophenverhalten von Welt 2 im Standardlauf in den stabilen Zustand einer ewig heilen Welt überführen¹³⁾.

Dieser profunde Qualitätsumschlag, der erfolgt, wenn Skeptiker ein bißchen an der vom M.I.T. getrimmten Justierung spielen, straft die Behauptungen Lügen, daß das computerisierte Modell die logischen Konsequenzen aus dem jetzigen ökonomischen und sozialen Weltverhalten aufzeigen könne. Bevor die rechentechnischen Konsequenzen einer spezifischen Modellversion für reales Weltverhalten gehalten werden dürfen, müssen noch erhebliche Anstrengungen bezüglich der Validierung der Strukturhomomorphie von Modell und Realsystem unternommen werden.

Die Strukturhomomorphie von Modell und Realsystem, auf der bestanden werden muß, wenn man gültige Modellexperimente durchführen will, weist aber noch auf einen anderen Punkt. Sozio-ökonomische Systeme haben wegen des hohen Standes der Produktivkräfte eine Entwicklungsgeschwindigkeit erreicht, die zu Strukturtransformationen bereits über kürzere Zeiträume führt. Auch die fortgeschrittenste Modelltechnik kann nur simulieren, was für Entwicklungsrichtungen unter den augenblicklich erkennbaren Struktur-determinanten wahrscheinlich sind, d. h. die Modellabbildung des Systems stellt nur eine Momentaufnahme eines gewissen Strukturtransformationsprozesses dar, der wegen seines nichtdeterministischen Charakters selbst grundsätzlich nicht prognostiziert werden kann. Die bei Systemdynamikern so beliebte Behauptung, man wolle nur demonstrieren, was in den nächsten 50 Jahren passieren wird, wenn sich nichts ändert, ist keine Sekunde Rechenzeit wert, weil das Charakteristi-

kum gesellschaftlicher Systeme, die sich in aktiver Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt befinden, gerade darin besteht, daß ununterbrochene Anpassungsänderungen stattfinden. Berücksichtigt man einerseits die oben genannten methodischen Schwierigkeiten bei der Abbildung einer Struktur im Modell und andererseits deren gesellschaftlichen, nichtdeterministischen Prozeßcharakter, dann meine ich, daß Simulationsanalysen über zehn Jahre als sehr gewagt und über 20 Jahre bereits als unsinnig angesehen werden sollten.

Fazit

Der bis hier angerissene Problemkanon sollte belegen, daß es noch erheblicher Anstrengungen bedarf, bevor System Dynamics – oder andere Simulationsmodelle – mehr enthalten, als auch ohne Computer schon bekannt ist. Wenn Modellkonstrukteure mit einem kritischen Theorieverständnis und geschärftem Methodenbewußtsein vorgehen, kann System Dynamics sich von der platten „Systemtheorie“ seines Begründers emanzipieren und keinesfalls nur wegen seiner leichten technischen Handhabbarkeit eine hervorragende Simulationsmethode sein. Kade, Hujer und Ipsen haben vor Erscheinen der Weltmodelle darauf hingewiesen, daß die mit System Dynamics mögliche Überlagerung von Informationsnetzwerken mit „materiellen“ Netzwerken erst komplexe kybernetische Modelle schafft, die „für den Entwurf soziotechnischer Systeme brauchbar werden“¹⁴⁾.

Heute muß aber der hypertrophierte Anspruch, der gerade aus den Vorworten der meisten systemdynamischen Modellstudien tönt, noch zurückgewiesen werden. Er führt nur – gemessen an den vergleichsweise mageren Ergebnissen – dazu, daß in der Öffentlichkeit Computermodelle für Scharlatanerie gehalten werden, mit der Konsequenz, daß sie künftige Simulationsstudien nicht mehr ernst nehmen wird. Das wäre aber eine Verkennung eines sich bereits abzeichnenden Trends, daß mit Verfeinerung der Verfahren Computermodelle zu einem neuen Machtfaktor in der Konkurrenz der Großkonzerne werden und daß eine prinzipielle Grenze nicht sichtbar ist, nach der die ohnehin bereits verwissenschaftlichten Planungsstäbe der Politiker in Zukunft zur Entscheidungsfindung Computersimulationen zur Unterstützung nehmen können. Wenn dann die berühmten Sachzwänge, mit denen allgemein Entscheidungen gerechtfertigt werden, auf Computerpapier erscheinen, werden sie nicht weniger anfechtbar sein, als sie es heute schon sind, aber der Kreis derjenigen Personen, die dazu noch in der Lage sein werden, mag stetig schrumpfen.

¹³⁾ Vgl. M a h b u b u l H a q : Die Grenzen des Wachstums. Eine Kritik, in: Finanzierung und Entwicklung, Nr. 4, 1972, S. 2 ff. und die „Shellstudie“ von H. d e V r i e s : A critical assessment of the MIT World Models, in: Computersimulation, Vol. IV.

¹⁴⁾ G. K a d e , R. H u j e r , D. I p s e n : Wirtschaftskybernetik. Eine Zwischenbilanz, in: K. E. S c h e n k (Hrsg.): Systemanalyse in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin 1971.