TEIL III
ANALYSE DER PROGNOSE-INSTRUMENTE: WEITERE WELTMODELLE

24 Einleitung

Global 2000 beruht auf folgenden institutionellen Standardmethoden der Problemlösung: Ein informationsbedürftiger Politiker richtet eine Frage an einen Analytiker (der als Erstanalytiker bezeichnet wird). Die Frage ist entweder zu umfangreich, als daß sie der Erstanalytiker selbst beantworten könnte, oder dieser hat den Eindruck, daß es angebracht wäre, andere Analytiker einzubeziehen, in deren Verantwortungsbereich Teile der Frage fallen. Die Frage wird also in Unterfragen aufgeteilt, die auf den Rahmen der Bürokratie zugeschnitten sind. Diese werden dann an Zweitanalytiker in verschiedenen Ämtern übergeben, deren Arbeitsgebiete zu den Teilfragen passen. Zur Vermeidung von Unverträglichkeiten werden einige Spielregeln aufgestellt. Wenn der Erstanalytiker sich Sorgen um die Konsistenz macht, kann er Gelegenheiten und Anreize für die Zweitanalytiker bieten, Eingabedaten aus ihren jeweiligen Analysen voneinander zu beziehen. Allerdings sind Zweitanalytiker vermutlich nicht sehr begeistert davon, Eingabedaten von anderen Zweitanalytikern in ihre eigenen Analysen einzufügen, so daß der Gewinn an Verträglichkeit häufig minimal ist.

Wenn die Zweitanalytiker ihre Arbeit abgeschlossen haben, liefern sie ihre Ergebnisse beim Erstanalytiker ab, der dann die Antworten auf Teilfragen zusammensetzt. Im Verlauf dieses Prozesses wird er viel des Gesagten streichen, Ungesagtes einfügen und hier und dort Bedeutungen dehnen müssen, um die Teilanalysen zu einem überzeugenden Ganzen zusammenzufügen.

Dieser Ansatz funktioniert einigermaßen gut beim normalen, kurzfristigen Problemlösen und versorgt den vom Termindruck geplagten Politiker mit einer recht überzeugenden Analyse, die auf einem breiten Informationsspektrum beruht. Für die langfristige Analyse jedoch weist er zwei schwerwiegende Mängel auf.

Zunächst werden die Beziehungen zwischen den Teilfragen bei langfristiger Betrachtung für die Gesamtfrage immer wichtiger. So zum Beispiel ist die Verknüpfung zwischen Energiefragen und Wirtschaftsfragen von entscheidender Bedeutung für die Landwirtschaft (wegen steigender Faktoreinsatzpreise und bei wirtschaftlichen Regressionen wegen der sinkenden Nachfrage nach Agrarprodukten), für die Umwelt (wegen der Inflation im Handelssystem beuten die armen Gemeinwesen der Welt ihre natürliche Umwelt stärker zur Erfüllung von Grundbedürfnissen aus, was zu verstärktem Abweiden und Feuerholzsammeln und stärkerer Gesamtbelastung des Bodens führt). Die durch den Druck von Wirtschaft und Bevölkerung bewirkte Umweltzerstörung hat schwerwiegende

Folgen für Landwirtschaft und Wasserversorgung. Nahrungsmittelknappheit, Umweltzerstörung haben beträchtliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und damit auf die Bevölkerungsdynamik. Bis zum Jahre 2000 kann diese Mehrfachüberschneidung von Einflüssen den Erdball in einen ganz anderen Zustand versetzt haben, als er in den Teilantworten auf Teilfragen über Bevölkerung, BSP, Energie, Landwirtschaft, Wasser und Umwelt vorhergesagt wird. Nach dem Jahre 2000 wird dieser Effekt sogar noch ausgeprägter sein.

Zweitens tendiert die stückwerkhafte bürokratische Analyse dahin, schwierige, aber entscheidende Fragen – wie technologischen Wandel, Einstellungswandel und institutionellen Wandel – zu untertreiben, die in keinen sauber abgegrenzten Kompetenzbereich fallen, aber das Ergebnis aller Zweitanalysen beeinflussen. Der Erstanalytiker versucht die Lücken zu schließen, so gut er kann, hat aber selten die Zeit, seine Arbeit gründlich zu machen, und wird wahrscheinlich die Bedeutung der nicht erfaßten Faktoren herunterspielen. Langfristig aber werden diese Faktoren kritisch. Wenn die Nationen der Welt sich nicht im nächsten Jahrzehnt auf dezentralisierte, erneuerbare Energieversorgungssysteme einstellen, werden wir oder unsere Nachkommen in zwanzig oder hundert Jahren in einer ganz anderen Welt leben. In welcher Richtung sich das Energiesystem entwickelt, wird von der öffentlichen Meinung und von technologischen und institutionellen Faktoren bestimmt werden, die *Global 2000* aus den oben erwähnten Gründen nicht auf eine konsistente und integrierte Art und Weise in seine Analyse einfügen konnte.

Eine Möglichkeit zur Umgehung dieser Mängel besteht darin, die bruchstückhaften Analysen von Teilfragen durch eine integrierte Analyse zu ergänzen, die von einer eigenen Forschungsgruppe unter Verwendung geeigneter Eingabedaten verwandter Forschungsgruppen durchgeführt wird. Dieser Ansatz birgt offensichtliche Gefahren. Macht er als Hauptanalysemethode Schule, sorgt er für politische Machtkonzentration, indem er der Gruppe für integrierte Analyse einen direkten Draht zu dem politischen Entscheidungsträger verschafft, während ihre Rechenschaftspflicht gegenüber außenstehenden Analysen nur sehr begrenzt ist. Doch rechtfertigt der Bedarf an integrierter Analyse für die langfristige Planung Versuche mit diesemAnsatz. Er kann wegen Mängeln der Analysemethode oder infolge der persönlichen Vorurteile der Analytiker irren. Doch das System der aufgeteilten Analyse irrt fast mit Gewißheit, weil es die Systemverknüpfungen vernachlässigt. Außerdem ist es ebenfalls den Verzerrungen durch das persönliche Urteil des Erstanalytikers unterworfen.

Die nächsten fünf Kapitel sind langfristigen Weltmodellen gewidmet, die die Welt integriert betrachten. Die Modelle repräsentieren eine Vielfalt analytischer Ansätze zur Erstellung integrierter Prognosen und dienen als Fallstudien, um einige Probleme bei der Leitung integrierter Prognosegruppen hervorzuheben.

Den Fallstudienanalysen werden Kreuzanalysen dessen folgen, was die Modelle über Trends bei Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt bis zum Jahre 2000 enthüllen. Der Erörterung vorangestellt wird eine kritische Übersicht über ökologische Begriffe, weil die Ökologie die Wissenschaft ist, die sich mit den Beziehungen zwischen Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt befaßt. (Es wird davon ausgegangen, daß die meisten Leser mit den in die Diskussion eingeführten ökonomischen Begriffen bereits vertraut sind.) Einige der ökologischen Begriffe werden in den zu analysierenden Modellen auftreten. Andere werden durch Abwesenheit glänzen, und ihr Fehlen sollte als erheblicher Mangel der integrierten Modelle angesehen werden.

Belastbarkeit

Wenn eine Bevölkerung Ressourcen im Verhältnis zu ihrer Zahl braucht und die Ressourcen beschränkt sind, kann diese Bevölkerung nicht über die Größe hinaus wachsen, die durch das Ressourcenlimit festgelegt ist. Die Ökonomen bezeichnen diese »Belastbarkeit« als Malthusianische Logik; die Biologen meinen, daß sie höchst selbstverständlich sei. Populationsbiologen haben den Begriff in viele Richtungen entwickelt und ihn der empirischen und experimentellen Überprüfung unterworfen. Die Grundtheorie wurde auf Fälle mit mehr als einer Ressource, mit verschiedenen Arten von Ressourcen, mit mehr als einer Population erweitert – wobei Konkurrenzmodelle und Räuber-Beute-Modelle allgemein bekannte Fälle von Formen mit multipler Populaton sind.

Vereinfacht ausgedrückt vermittelt der Begriff der Belastbarkeit folgende Erkenntnisse über Fragen von Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt:

Zunächst können sich drei Grundstrukturen des Bevölkerungswachstums bei Bevölkerungen (oder Tierpopulationen) entwickeln, die innerhalb der Grenzen einer endlichen Belastbarkeit leben: Stabilisierung bei oder unter der Belastbarkeit; Pendelausschläge um die Belastbarkeit oder unterhalb von ihr; und Überforderung der Belastbarkeit mit anschließendem Aussterben oder unvollständiger Erholung. Die Stabilisierung ist wahrscheinlich, wenn die Ressource sich selbst erneuert und die Population durch Raubtiere, Parasitismus oder reproduktionsbeschränkende Verhaltensweisen wie Verteidigung von Territorien unter Kontrolle gehalten wird. Schwankungen ergeben sich, wenn die Dynamik interdependenter Populationen – insbesondere von Räuber-Beute-Systemen – zur Phasenverschobenheit zwischen ihnen führt. Wenn die Räuber zuviel Beute schlagen, bringen sie einen Rückgang ihrer eigenen Population über sich und gewähren der Beute die Chance, sich zahlenmäßig zu erholen und den Zyklus von

neuem auszulösen. Die Einmischung des Menschen stört gewöhnlich die Kontrollmechanismen und Gegengewichte, die bei derart wechselseitig abhängigen Populationen wirksam sind. Beutetiere, deren Räuber vom Menschen eliminiert worden sind, vermehren sich gewöhnlich bis zu dem Punkt, wo sie in bewirtschafteten Ökosystemen zu Schädlingen werden (z. B. explosionsartige Vermehrung von Insekten bei Agrarpflanzen) oder bis dahin, wo sie die sie ernährende Umwelt restlos überfordern und in großen Zahlen verhungern (z. B. pflanzenfressende Säugetiere nach Ausrottung großer Raubtiere). In der letzteren Situation verwandeln sich die Pendelausschläge in Überforderung und Zusammenbruch. Der Modus der Überforderung ist auch zu beobachten, wenn eine Population von einer Ressource abhängig ist, die nicht erneuert wird – wie beim Florieren und Absterben einer Hefekultur im Reagenzglas.

Zweitens sind viele Populationen durch multiple Einschränkungen der Ressourcen begrenzt. Für Pflanzen haben Licht, Wasser und eine Anzahl von Bodennährstoffen begrenzenden Charakter. Häufig setzt eine Ressource engere Grenzen als eine andere (in Wüstengebieten gewöhnlich das Wasser). Die Verfügbarkeit dieser am stärksten begrenzenden Ressource entscheidet über die Belastbarkeit des Systems. Wenn die am stärksten begrenzenden Ressourcen plötzlich verfügbar werden, wie dann, wenn man Süßwasseralgen Phosphor zur Verfügung stellt, nimmt die Population zu, bis sie an eine andere Ressourcengrenze stößt. Im Verlauf dieses Prozesses kann sie zu schweren Störungen bei anderen Populationen führen, die ihre lokale Umwelt mit ihr teilen – wie im Fall der Algenvermehrung infolge Einleitung von Phosphaten in ein Süßwassersystem mit bisherigen Phosphorspuren.

Einfache mathematische Modelle der Populationsdynamik auf der Grundlage von Belastbarkeitsbegriffen gibt es seit den zwanziger Jahren. Sie sind dem Ökologen so vertraut wie Angebots- und Nachfragekurven dem Ökonomen. Viele Ökologen fügen eine menschliche Population ebenso bereitwillig in ein Belastbarkeitsmodell ein wie irgendeine andere Art und zumindest gesprächsweise äußern viele die Meinung, daß wir Gefahr laufen, die Weltbelastbarkeit für unsere Art zu überfordern.

Belastbarkeitskonzeptionen tauchen in allen der in den nächsten fünf Kapiteln erörterten Modelle auf, mit Ausnahme des Weltmodells der UNO, und sind praktisch für alle pessimistischen Ergebnisse verantwortlich, die von der Modellreihe generiert werden. In zwei Fällen – dem lateinamerikanischen Weltmodell und MOIRA (model of international relations in agriculture) – wird die Belastbarkeit auf eine Kurve reduziert, aus der abnehmender Ertragszuwachs von Investition und Arbeit im landwirtschaftlichen Sektor hervorgehen. World 2 und World 3 und das Mesarovic-Pestel-Weltmodell verfügen über sehr viel komplexere Formulierungen des Begriffs, darunter interdependente Populationen

(Mensch und Maschine), multiple Grenzen (insbesondere mit den Modellen World 2 und 3) und die Funktion des interregionalen Handels, die es Regionen ermöglicht, ihre lokale Belastbarkeit zu erweitern (nur bei Mesarovic-Pestel).

Stabilität und Vielfalt

In der Ökologie provoziert das Verhältnis zwischen Stabilität und Vielfalt häufig eine philosophische Debatte – die in vielen Richtungen gehen kann, je nachdem, wie man Stabilität und Vielfalt definiert. Beide Begriffe sind schwer erfaßbar, doch gibt es einen gewissen Konsens zwischen Ökologen, daß die genetische Verarmung, entweder durch Verringerung der Artenzahl in einer Lebensgemeinschaft oder durch Verringerung der genetischen Vielfalt einer Population, dazu geeignet ist, die Lebensgemeinschaft zu destabilisieren. In der Verlängerung führt uns diese Argumentationslinie in einen der vorherrschenden ökologischen Alpträume. Sie verleiht der Furcht vor einer Agrarseuche Glaubwürdigkeit, die die genetisch verarmten Rassen hochertragsfähiger Hybrid-Getreidesorten dezimieren würden, von denen sich ein zunehmender Anteil der Weltbevölkerung ernährt, und ebenso der Angst, daß sich eine virulente und gegen Arzneimittel resistente Krankheit entwickeln und einen hohen Zoll an Menschenleben fordern wird. Auf einer weniger dramatischen Ebene läßt das Verhältnis zwischen Stabilität und Vielfalt darauf schließen, daß die Schwierigkeit bei der Bekämpfung von Insekten und anderen Ernteschädlingen wahrscheinlich in dem Maße zunehmen wird, wie die Kultivierungspraktiken auf der ganzen Welt intensiver, extensiver und standardisierter werden. Daher könnte die Senkung der Ernteverluste, die in vielen Analysen erwartet wird, darunter auch im lateinamerikanischen Weltmodell und MOIRA, nie Wirklichkeit werden.

Die potentiellen Effekte der Verarmung biologischer Systeme auf langfristige Wechselbeziehungen zwischen Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt sind bei allen betrachteten Weltmodellen ausgeschlossen geblieben und sind in den Regionalmodellen entweder äußerst selten oder fehlen ganz. Die Barrieren gegen ihre Einbeziehung scheinen begrifflicher Art zu sein und gehen einher mit einem Mangel an Daten. Der Mangel an operationalen Definitionen und präzisen Konzeptualisierungen darüber, wie das System durch genetische Verarmung beeinflußt wird, machen es unmöglich, ein glaubwürdiges Modell der Effekte der biologischen Verarmung zu konstruieren. Daher berücksichtigen quantitative Modelle das Problem nicht. Vielmehr manifestiert sich biologische Verarmung in mangelhaft definierten Ängsten und ist daher nur schwer rational abzuhandeln.

Ökologische Puffer

Eng verwandt mit dem Begriff von Stabilität und Vielfalt ist die Vorstellung ökologischer Puffer – im Grunde die Vorstellung, daß lebende und wachsende Dinge ebenso wie abgestorbene organische Materie die Trennfläche zwischen Luft und geologischer Oberfläche der Erde kissenartig bedecken. Pflanzen halten die Erde an Ort und Stelle und schützen sie vor den Wirkungen der Niederschläge. Der Boden saugt den Regen auf und verhindert, daß er in einer großen Überschwemmung abfließt. Pflanzen und Tiere binden Nährstoffe, die die Belastbarkeit der Umwelt senken, wenn sie nicht in genügenden Mengen zur Verfügung stehen, und verhindern gleichzeitig, daß diese Nährstoffe durch Regen ausgelaugt werden oder versickern und unter den oberen Bodenschichten eine harte Kruste bilden. Allgemein wird die Pufferrolle biologischer Materie in wärmeren Klimazonen als kritischer angesehen, wo chemische Reaktionen und die Zersetzung organischer Materie (d. h. Reduktion des schwammartigen Bodencharakters zu reinem Ton, Schlick und Sand) rascher verlaufen.

Zwar sind die Einzelheiten komplex, doch reduziert die Verarmung eines Ökosystems tendenziell seine Kapazität als ökologischer Puffer. Daher richten Überweidung, Kahlschläge und verschiedene Formen der Überkultivierung Verwüstungen in den ökologischen Systemen an und verringern in großem Umfang deren Fähigkeit, Leben zu ernähren.

Im Prinzip ist die Erhaltung und Vernichtung ökologischer Puffer ziemlich einfach und bietet sich zur Modellbildung an. In der Praxis jedoch stoßen die Modellkonstrukteure dabei auf große Schwierigkeiten. Wie ein ökologisches Puffersystem funktioniert, ist häufig ortsspezifisch. An jedem beliebigen Ort gibt es häufig kritische Marken, über die hinaus ein System nicht ärmer gemacht werden darf, ohne daß umfangreiche und womöglich nicht wiedergutzumachende Schäden eintreten. Wo solche kritischen Marken liegen, schwankt je nach klimatischen und geographischen Faktoren. Eine Region mit steilen Berghängen in den regenreichen Tropen dürfte viel anfälliger für Schäden durch Zerstörung ihrer Puffer sein als ein Flachlandgebiet in gemäßigten Breiten. Daher ist es schwierig, eine Darstellung des ökologischen Pufferproblems weltweit oder für große Regionen zu geben. Von den zu prüfenden Modellen versucht nur World 3, die Dynamik der ökologischen Puffer zu erfassen.

25 Die Modelle World 2 und 3

»Der Mensch ist von einer defensiven Position, in der er sich der Natur hauptsächlich unterzuordnen hatte, in eine neue und beherrschende katapultiert worden. Aus ihr kann er nicht nur alles andere in der Welt beeinflussen und tut dies auch, er kann auch willentlich oder unbewußt seine Zukunftschancen bestimmen – und muß letztlich seine Zukunftsalternativen wählen. Mit anderen Worten, diese neue Machtposition zwingt ihn praktisch, neue Regelfunktionen zu übernehmen, die er schon bisher im Hinblick auf das gemischte System von Natur und Mensch in der Welt wohl oder übel zu erfüllen hatte. Nachdem er in eine Anzahl einstiger Geheimnisse eingedrungen ist und die Ereignisse massiv beeinflussen kann, ist er nunmehr mit einer bisher unerhörten, ungeheuren Verantwortung ausgestattet und *in die neue Rolle des Steuerers allen Lebens auf dem Planeten – darunter auch seines eigenen – hineinversetzt.*«

Diese Worte[1] wurden von Aurelio Peccei geschrieben, der die als World 2 und 3 bekannten Modelle in Auftrag gab. Er beschreibt seinen eigenen Gemütszustand vor dem Zeitpunkt der Auftragserteilung als »verblüfft und besorgt über den ungeordneten, sturzbachähnlichen Charakter dieses hastigen menschlichen Fortschritts«. Da er die Weltprobleme als stark miteinander verknüpft und ihrer Natur nach global betrachtete, war er überzeugt, daß etwas Grundsätzliches geschehen müsse, bevor es zu spät sei.[2] Obwohl er ohne Schwierigkeiten Leute fand, die mit ihm der Meinung waren, daß dies ein Problem sei, mußte er feststellen, daß es schwierig war, diese Einmütigkeit in Handeln umzusetzen. Um einen Vorsprung gegenüber der Tagespolitik zu gewinnen, gründete er den Club of Rome, einen losen Zusammenschluß von Geschäftsleuten, Intellektuellen und nicht gewählten Regierungsbeamten aus vielen Ländern. Der Club war nicht als Debatiergesellschaft, sondern als handlungsorientierte Organisation mit zwei Hauptzielen gedacht: (1) »Ein gesichertes und tieferes Verständnis der Zwangslage des Menschen zu fördern und zu verbreiten« und (2) »die Übernahme und Einführung neuer Einstellungen, politischer Strategien und Institutionen anzuregen, die die gegenwärtige Situation beheben können.«[3]

Jay Forrester, der die kybernetische Methode der Computersimulation entwikkelt hat, wurde im Juni 1970 zu einer Konferenz des Club of Rome eingeladen. Er wies auf einige Wechselbeziehungen zwischen den Problemen hin, die Peccei interessierten – Probleme wie rasches Bevölkerungswachstum, Erschöpfung von Ressourcen, Umweltverschumutzung und Hunger – und erläuterte, wie die kybernetische Methode dazu beitragen könnte, diese Probleme auseinanderzu-

sortieren und klarzulegen. Um dies zu beweisen, konstruierte er im folgenden Monat ein kleines Modell mit der Bezeichnung World 1, das fünf Grundvariablen miteinander verknüpfte – Bevölkerung, Kapital, Ressourcen, Umweltverschmutzung und Nahrungsmittel. Dieses Modell legte er dem Club vor und eines von dessen Mitgliedern, Eduard Pestel, beschaffte Mittel von der Stiftung Volkswagenwerk zum weiteren Ausbau des Modells. Forrester vervollständigte und veröffentlichte World 2,[4] eine elegantere Version des ersten einfachen Modells, und versammelte gleichzeitig ein internationales Forscherteam unter der Leitung von Dennis Meadows, um eine noch detailliertere und sorgfältig quantifizierte Version zu erstellen. Die Konstruktion dieser Endversion mit der Bezeichnung World 3 dauerte ein Jahr und war Grundlage des Buchs *Die Grenzen des Wachstums* (Dt. Ausgabe: Stuttgart 1972)[5]

Peccei und andere Mitglieder des Club of Rome betrachteten die Computersimulationsmodelle World 2 und World 3 als Mittel zur Erreichung ihrer Ziele. Man erhoffte sich von den Modellen, daß sie durch Quantifizierung und Klarstellung der menschlichen Zwangslage die Menschen aufrütteln und zur Suche nach Lösungen veranlassen würden. Peccei sagt dazu: »Wir wollten so schnell wie möglich eine weltweite Diskussion auslösen.«[6]

Modellkonstrukteure haben genauso ihre Beweggründe wie die Auftraggeber, und Forrester hatte vermutlich ein Interesse daran, die kybernetische Methode durchzusetzen, die seiner festen Überzeugung nach ein brauchbares Werkzeug zum Verständnis komplexer und in wechselseitiger Beziehung stehender Probleme derart ist, wie sie dem Club of Rome Sorgen machten.

Die Mitglieder von Meadows Forschungsmannschaft, die *Die Grenzen des Wachstums* erstellten, hatten vermutlich weniger klar definierte Absichten. Sie waren relativ jung (Durchschnittsalter unter 30) und standen zum größten Teil am Beginn ihrer Karriere. Meadows und seine Frau waren soeben von einem einjährigen Aufenthalt in Asien zurückgekehrt, der bei ihnen ein Engagement für Entwicklungs- und Umweltprobleme geweckt hatte, und brannten darauf, die Ursachen und möglichen Abhilfen solcher Probleme zu untersuchen. Die meisten Mitglieder der Mannschaft hatten eine abgeschlossene Ausbildung in Naturwissenschaften, Ingenieurwesen oder Kybernetik, aber nicht in den Sozialwissenschaften.

Die Modelle und ihre Grenzen

World 2 und 3 sind Modelle über die langfristigen Relationen zwischen Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt. Sie skizzieren die allgemeinen Kausalstrukturen, nach denen Interaktion und Rückkopplung zwischen diesen drei

Faktoren stattfindet. World 2 und 3 sind die einzigen in *Global 2000* behandelten Modelle, die die drei Hauptvariablen dieser Studie gleichwertig einbeziehen. Die anderen behandelten Modelle lassen Umweltfaktoren entweder aus oder behandeln sie nur flüchtig. Zwei der Modelle – das UNO-Weltmodell und MOIRA (model of international relations in agriculture) – enthalten die Bevölkerung nur als exogene Variable, und zwei – das lateinamerikanische Weltmodell und MOIRA – enthalten keine Berücksichtigung der Erschöpfung mineralischer Ressourcen und fossiler Brennstoffe.

Obwohl sie im Kern richtig liegen, haben auch World 2 und 3 ihre Grenzen. Sie sind allgemeine, strategieorientierte Modelle, und machen keinen Versuch zur Entwicklung spezifischer, detaillierter Analysen. Sie machen mit den Grundtendenzen in Systemen von Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt vertraut, sprechen jedoch die Probleme spezifischer Regionen nicht an. In *Die Grenzen des Wachstums* (dt. Ausgabe 1972, S. 161) heißt es dazu: »Es läßt sich noch kaum etwas über die praktischen Schritte aussagen, die zur Erreichung eines weltweiten Gleichgewichtszustandes unternommen werden könnten. Weder das Weltmodell noch unsere eigenen Überlegungen sind bis jetzt so weit entwickelt, daß alle Schwierigkeiten des Übergangsstadiums vorhergesehen und verstanden werden. Ehe irgendein Teil unserer Gesellschaft freiwillig diesen Weg beschreitet, sind sehr viel weitergehende Diskussionen und Analysen erforderlich, und viele Menschen müssen noch neue Ideen beitragen. Wenn wir dazu angeregt haben, so ist vorerst der Hauptzweck, den wir augenblicklich verfolgen, erreicht.«[7]

Zu den weiteren Problemen bei den Weltmodellen gehört (1) die Tatsache, daß sie auf einer Reihe widersprüchlicher Annahmen beruhen, darunter die Unfähigkeit der Technologie, die natürlichen Grenzen des Wachstums aufzuweichen, und daher nicht verwendet werden können, ohne Debatten auszulösen; (2) die Schwerpunktsetzung auf Metallressourcen bei Vernachlässigung mineralischer Brennstoffe; (3) die Auslassung sozialer Faktoren wie Einkommensverteilung und internationale Ordnung, die zu Engpaßproblemen führen können, lange bevor die realen physischen Grenzen erreicht sind; (4) die schwache Datengrundlage und die Aggregierung von Faktoren mit unähnlichem Verhalten im Umweltverschmutzungssektor; und (5) die Nichtberücksichtigung qualitativer Veränderungen in der Natur des Wirtschaftswachstums, die dazu führen können, daß die als an der Grenze ihrer Belastbarkeit liegend definierten Ressourcen geringer beansprucht werden.

Die Erfassungsbreite und die kohärente Begriffsentwicklung der Weltmodelle gewährleisten ihre Brauchbarkeit zur Klarstellung des Charakters langfristiger Weltprobleme. Doch machen ihre Begrenztheiten sie ungeeignet als Hauptwerkzeuge der Analyse oder als Werkzeug für die detaillierte Analyse weltweiter Probleme und ihrer Lösungen.

Methode

World 2 und World 3 sind beides kybernetische Modelle. Die Kybernetik ist eine Form der simulierenden Modellbildung, zu der eine ausgeprägte Weltanschauung, Richtlinien über die Konstruktion von Modellen und eine Reihe symbolischer Darstellungswerkzeuge gehören (darunter die Computersprache DYNAMO und verschiedene Diagrammformate zur Modellformulierung und Beschreibung), die allesamt kybernetische Methoden verkörpern. Jay Forrester hat diese Methode als erster entdeckt. Das Team, das World 3 konstruierte, bestand aus Personen, die unter Forrester am Massachusetts Institute of Technology studiert hatten. Beide Modelle können daher als rein kybernetische Modelle betrachtet werden, und ihre methodologische Grundlage wird am besten mit Zitaten aus der kybernetischen Literatur beschrieben. Die folgende Beschreibung ist einem Aufsatz von Nathaniel Mass, einem Mitglied der MIT System Dynamics Group, und Richard Day, dem Chairman des Department of Economics der University of Southern California, entnommen.

Ein kybernetisches Modell ist ganz grundsätzlich eine Theorie darüber, wie sich Veränderungen in einem Gesellschafts- oder Wirtschaftssystem vollziehen. Das Mittel zur Beschreibung des Veränderungsprozesses ist eine Reihe von simultanen Differential- oder Integralgleichungen erster Ordnung. Diese Darstellung legt die Annahme zugrunde, daß sich der Wandel im sozialen System über dem Prozeß der Integration durchsetzt. Die Form kybernetischer Modelle unterscheidet sich daher intrinsisch von der der Simultangleichungsmodelle, die das Gleichgewicht und keine Relationen im Zeitverlauf beschreiben und bei denen Veränderungen der internen Systemvariablen nur infolge Veränderungen der exogenen Variablen möglich sind.

Die Kybernetik geht davon aus, daß sich alle Variablen eines Systems in zwei grundlegende Kategorien unterteilen lassen: in Niveaus und Raten. Diese Dichotomie entspricht eng der Unterscheidung zwischen Beständen und Strömen in der Ökonomie oder der Unterscheidung zwischen Bilanz und Gewinn- und Verlustrechnung in der Buchhaltung. Niveauvariablen beschreiben den Zustand eines Systems zu einem beliebigen Zeitpunkt. Im Gegensatz dazu sind Ratenvariablen augenblickliche Strömungsraten, die die Systemniveaus verändern.

Zu den Merkmalen der Ratengleichungsstruktur eines kybernetischen Modells gehören:

(a) Ratengleichungen werden aufgrund der Beobachtung der grundlegenden realen Entscheidungsprozesse formuliert. Alle Informationseingaben in eine Ratengleichung sind Informationsquellen, die dem Entscheidungsträger tatsächlich zur Verfügung stehen und beim Entscheidungsprozeß verwendet werden.

Ratengleichungen sollten nicht auf einer Gleichgewichtstheorie oder einer Theorie optimalen ökonomischen Verhaltens beruhen.

(b) In einem gut formulierten Modell hat jeder Parameter eine eindeutige und unabhängige reale Bedeutung . . . Ein typischer Parameter könnte »die durchschnittliche Zeitspanne für die Diskussion und Planung vor Auftragserteilung für ein Investitionsgut« darstellen. Parameter sollten für alle anderen im realen System proportionale und nicht bloß abstrakte statische Bedeutung haben. Parameter sollten nie eingefügt werden, nur um Meßeinheiten zu korrigieren oder Gleichungen besser an die Daten anzupassen.

(c) Gute Formulierungen von Ratengleichungen sollten alle Einflüsse auf die entsprechende reale Handlung umfassen, einschließlich nicht erfaßbarer oder meßbarer Variablen. Nicht gemessene Variablen oder solche, für die wenig Daten vorhanden sind, sollten bei beschränkten Daten so sinnvoll wie möglich formuliert und in das Modell eingebaut werden. In einem späteren Stadium sollten dann Simulationsexperimente durchgeführt werden, um die Empfindlichkeit des Modellverhaltens und der Strategieergebnisse für die exakte Messung und Spezifizierung nicht greifbarer oder nicht meßbarer Einflüsse einzuschätzen. Derartige Simulationsexperimente können eine Anleitung für weitere Bemühungen um Sammlung von Daten und Spezifizierung von Parametern sein.

(d) Formulierungen von Ratengleichungen sollten robust sein und unter Extrembedingungen oder außerhalb des Bereichs beobachteten Systemverhaltens nicht zusammenbrechen. Eine derartige Robustheit von Ratengleichungen ist wichtig, da selten *a priori* vorausgesetzt werden kann, daß zukünftiges Verhalten oder Verhalten aufgrund Anwendung einer neuen Strategie nur in den Bereich vergangenen Verhaltens fallen wird.[8]

Die Raten/Niveau-struktur kybernetischer Modelle hat bedeutende Folgen. Zum einen macht sie sie zu leistungsfähigen Werkzeugen für die Darstellung dynamischer Rückkopplungsprozesse. Kybernetiker stehen unter den sozialwissenschaftlichen Modellkonstrukteuren fast einzig dar, weil sie routinemäßig das Verhalten ihrer Modelle auf positive und negative Regelkreise analysieren.* Zum anderen macht es sie gut geeignet für Darstellung von Problemen, bei denen die zeitliche Abfolge kumulativer Ereignisse weit verzweigte Auswirkungen auf das

* Positive Regelkreise sind selbstverstärkende Verhaltenstrends wie z. B. »Teufelskreise« oder »Schneeballeffekte«, bei denen Zunahmen eines Bestands zur Steigerung des Strömungsvolumens führen, das diesen Bestand vermehrt. Daß das Bevölkerungswachstum zu einer Zunahme der Geburtenzahl pro Zeiteinheit führt, ist ein bekanntes Beispiel dafür. Positive Rückkopplung führt entweder zum exponentiellen Wachstum oder zum exponentiellen Verfall.' Negative Rückkopplung ist Gleichgewichts- oder Zielsuchverhalten, bei der Veränderungen einer Variable, die sich von dem Gleichgewichtswert entfernen, Kräfte anregen, die die Variable wieder zu ihrem Gleichgewichtswert zurückbewegen. Ein negativer Regelkreis kann auch als Kontrollmechanismus bezeichnet werden. Der Thermostat ist ein klassisches Beispiel für einen negativen Regelkreis. Doch läßt sich feststellen, daß negative Rückkopplung viele Dinge kontrolliert, die im Gleichgewicht bleiben und nicht völlig träge sind.

Systemverhalten hat, wie z. B. bei den Spätfolgen von Giftstoffen auf biologische Systeme.

Die Betonung auf Einbeziehung nicht gemessener Variablen, auf operationale (im Gegensatz zu abstrakter oder statischer) Bedeutung, auf Robustheit unter extremen Bedingungen können kybernetische Modelle seltsam, wenn nicht gar ketzerisch für konventionelle Analytiker erscheinen lassen, deren Modelle sich auf vorhandene Theorie stützen und sich für den empirischen Wahrheitsbeweis auf statische Validierung verlassen. Dieselbe Eigenschaftskonstellation jedoch macht kybernetische Modelle anziehender für ein nichtakademisches Publikum, indem sie diese von der Künstlichkeit abstrakter Theorie befreit und mit dem Realitätsgehalt ausfüllt, der sich aus der Einbeziehung vertrauter Terminologien und Prozesse ergibt, die in anerkannter Weise aufeinander einwirken.

Ein wesentlicher Teil der Verwendung operationaler Variablen bei der Konstruktion von Modellen, die unter extremen Bedingungen oder außerhalb des beobachteten Systemverhaltensbereichs nicht zusammenbrechen, ist die Verwendung nichtlinearer funktioneller Relationen. Bei der funktionellen Relation ist es üblich, daß sie unter extremen Bedingungen zu steigendem oder abnehmendem Extrazuwachs führt. Daher kommt das innere Gefühl, daß man in vielen Situationen die »Dinge nicht zu weit treiben« darf, ohne auf eine Veränderung der Reaktion des Systems gefaßt sein zu müssen. Kybernetiker übertragen unbekümmert die beschreibende Information über solche Situationen in nichtlineare funktionale Relationen. Wenn dem Modellkonstrukteur z. B. von einer mit einem System vertrauten Person gesagt wird, daß nach Überschreiten eines gewissen Punkts nicht mehr viel passiert, wenn man diesen oder jenen Faktor erhöht, wird er vermutlich eine abnehmende Ertragskurve zeichnen, die ungefähr beim angegebenen Punkt abflacht. Die Werkzeuge des Kybernetikers sorgen für eine einfache Einbeziehung dieser Art Darstellung und fördern sie daher. Wie alle Mathematiker wissen, macht die Einbeziehung von Nichtlinearitäten Gleichungssysteme intuitiv unvorhersagbar. Daher zeigen kybernetische Modelle, wenn man sie in extremen Wertebereichen kritischer Parameter operieren läßt – oder wenn ihre eigene Strukturtendenzen sie im Laufe der Zeit in extreme Bereiche treiben –, häufig ungewöhnliche Verhaltensweisen. Hieraus ergibt sich das »anti-intuitive Verhalten«, das die Kybernetiker als einen der erkenntnisförderndsten Beiträge ihrer Modelle ansehen – als den Ort, wo die Computeranalyse, zumindest theoretisch, die Analysefähigkeit des menschlichen Gehirns übertreffen kann.

Struktur

World 3 ist ein Strukturanalog zu World 2 mit höherer Detailliertheit und weiterer Untermauerung über Parametrisierung und struktureller Rechtfertigung aus wissenschaftlicher Literatur. Eine Zunahme der Detailliertheit führt zu einer Zunahme des Umfangs. World 2 enthält etwa 40 Gleichungen auf fünf Ebenen, und World 3 umfaßt 150 Gleichungen und 21 Niveauvariablen.* Tab. 15-1 zeigt, in welcher Richtung World 2 erweitert wurde, um zu World 3 zu gelangen.

Eine ausführliche Beschreibung der Struktur jedes Modells ist hier nicht angebracht. Wer eine solche Beschreibung sucht, kann sie in der Dokumentation der Systemanalytiker nachschlagen.[9] Die vorliegende Analyse führt zu einer gewissen Begriffsverzerrung, in dem sie die beiden Modelle als Darstellungen der ökologischen Belastbarkeit beschreibt.

Als Belastbarkeitsmodelle können World 2 und 3 als Systeme betrachtet werden, die zwei Populationen umfassen, von denen jede eine zum Teil von der anderen Population und zum Teil von Umweltfaktoren anderer Art bestimmte Belastbarkeit aufweist. Die zwei Populationen, die menschliche Bevölkerung und die Maschinenpopulation (die in den Modellen als Kapitalinvestition oder Industrie- und Dienstleistungskapital beschrieben wird) sind von Natur aus in positive Regelkreise eingebunden und neigen daher zum exponentiellen Wachstum. Bevölkerungszunahmen führen zu Zunahmen der jährlichen Geburtenzahl, was wiederum zu einem weiteren Bevölkerungszuwachs führt. Zunahmen bei Maschinen führen zu erhöhter Ausbringung, die mehr Mittel für Investitionen und damit mehr Maschinen produziert. Beide Wachstumstrends neigen dazu, exponentiell zu sein.

Die Grundbeziehung zwischen Menschen- und Maschinenpopulationen könnte als symbiotisch bezeichnet werden. Es gibt funktionelle Relationen in den Modellen, nach denen Bevölkerungszunahmen potentiell das Wachstum der industriellen Infrastruktur steigern und nach denen das Wachstum der industriellen Infrastruktur tendenziell die Bevölkerungszuwachsraten beschleunigt. Strukturbeobachtungen könnten einen Systemanalytiker zu der Annahme führen, daß die Relation zwischen Kapitalzuwachs und Bevölkerungszuwachs sehr stark ist (erhöhte Industriekapazität kann die Belastbarkeit für Menschen außerordentlich ausweiten), während die Beziehungen zwischen Bevölkerungswachstum und Industriewachstum relativ schwach ist (Zunahmen der menschlichen Bevölkerung erhöhen die Belastbarkeit für Maschinen nicht besonders stark). Die Beobachtung

* Mathematische Definitionsprobleme für »Gleichung« und »Niveauvariable« machen es unmöglich, ohne genaue Begriffsbezeichnung genaue Zahlen anzugeben.

Tab. 25-1
Vergleich der Niveaus in World 2 und World 3

World 2	World 3
Bevölkerung	Alter: 0-14 15-44 44-64 65+ 5 Verzögerungen*
Natürliche Ressourcen	Nicht-erneuerbare Ressourcen
Kapitalinvestition	Industrielles Kapital Dienstleistungskapital 7 Verzögerungen
Anteil des in der Landwirtschaft investierten Kapitals	Anbaufähiges Land Potentiell anbaufähiges Land Städtisches, industrielles Land Bodenfruchtbarkeit 2 Verzögerungen
Verschmutzung	Bleibende Verschmutzung

* Eine Verzögerung ist eine gebräuchliche strukturelle Einheit in dynamischen Systemmodellen, die dazu dient, die Auswirkungen von Veränderungen innerhalb des Systems zu verzögern. Strukturell gesehen, sind Verzögerungen Niveaus. Eine einzelne Verzögerung kann aus ein, zwei, drei oder mehr Niveaus bestehen.

des Modellverhaltens wird diese Schlüsse bestätigen: In Modelläufen setzt sich das industrielle Wachstum tendenziell auch dann fort, wenn das Bevölkerungswachstum im Gleichgewicht ist, während ein Zusammenbruch der industriellen Struktur zu einem ähnlich großen Zusammenbruch der Bevölkerung führt.

Diese scheinbare Symbiose liegt nicht auf der Hand. In gewisser Weise sind Maschinen- und Menschenpopulationen antipathisch und hemmen einander im Wachstum. Die Maschinenpopulation erzeugt Umweltverschmutzung, die die Sterbeziffern der Menschenpopulation erhöhen kann. Wenn die Menschenpopulation überproportional zum Nahrungsangebot steigt, werden Investitionen vom industriellen zum Agrarsektor umgeleitet, was sich im Sinne einer Senkung der Wachstumsrate des Industriekapitals auswirkt.

Jenseits des Systems wechselseitiger Hemmnisse und Anreize und zwischen den Populationen von Mensch und Maschine liegt eine Reihe von Hemmnissen, die von natürlichen Systemen besetzt werden. Vorrangig unter diesen sind die Wachstumsgrenzen der Agrarproduktion durch die begrenzten Ressourcen an anbaufähigem und potentiell anbaufähigem Land, und die Wachstumsgrenzen infolge des endlichen Angebots an nicht erneuerbaren natürlichen Ressourcen. In beiden Fällen gehen diese in die Modellkonstruktion nicht als absolute Grenzen, sondern als Situationen ein, in denen die Kosten der Ressourcenerschließung in dem Maße exponentiell steigen, wie das verfügbare Gesamtangebot erschöpft wird.

In der Modellstruktur des Agrarsektors ist eine weitere Schwierigkeit enthalten. Seine Belastbarkeit kann ausgehöhlt werden. Übermäßig intensive Nutzung der landwirtschaftlichen Ressourcen führt zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und zu sinkender landwirtschaftlicher Produktion. Abnahmen der Agrarproduktion stimulieren zusätzliche Investitionen auf dem Agrarsektor und weitere Intensivierung der Agrarproduktion. Diese wiederum beschleunigt den Verfall der Bodenfruchtbarkeit. Sofern nicht starke Kräfte diesen Trends entgegenwirken, ist ihr Nettoeffekt ein exponentieller Rückgang der Agrarproduktion und ein massives Verhungern der Menschenpopulation, für die die Agrarproduktion eine Belastbarkeitsgrenze setzt.

World 2 und 3 tendieren außerdem dazu, strukturell instabil und anfällig für Zusammenbruch zu sein, weil die Symbiose zwischen Mensch und Maschine bei beiden Populationen ein Wachstum über die natürlichen Grenzen der Bodenressourcen und der natürlichen Ressourcen hinaus erlaubt und fördert. Die Trägheit, die den Menschen- und Maschinenpopulation darstellenden Niveaus innewohnt (weder die menschliche Bevölkerung noch der Maschinenbestand reagieren rasch auf Veränderungen ihrer Außenumwelt) hindert sie daran, rasch zu reagieren, wenn sie sich ihren jeweiligen natürlichen Grenzen nähern. Daher neigen beide dazu, über ihre Belastbarkeit hinauszuschießen. Dieses Überschießen ist im Zusammenhang mit dem Überschießen infolge Aushöhlung der landwirtschaftlichen Belastbarkeit für den Zusammenbruch der menschlichen Bevölkerung und der industriellen Infrastruktur verantwortlich, der die Weltmodelle in ihren Prognostizierungen so verblüffend und ernüchternd macht.

Schlußfolgerungen

Die Schlüsse, die die Modellkonstrukteure selbst aus ihren Modellen ziehen, werden am besten in ihren Worten aus *Dynamics of Growth in a Finite World* wiedergegeben, dem Methodenbericht über World 3:

Der dominante Verhaltensmodus von World 3 wird von drei Grundannahmen über das System von Bevölkerung und Kapital verursacht:

1. Das vorherrschende soziale Wertsystem begünstigt stark das Wachstum von Bevölkerung und Kapital. Daher neigen diese Größen zum Wachstum, sofern sie nicht durch physische Grenzen stark unterdrückt werden. Ihr Wachstum ist wegen des inhärenten positiven Regelkreises zwischen Industrieproduktion und menschlicher Reproduktion exponentiell.
2. Rückmeldungen über die negativen Folgen des Wachstums werden von den Umweltsystemen gegeben, die Bevölkerung und Kapital tragen. Diese Signale

nehmen die Form von Wachstumshemmnissen an, wie abnehmender Erträge von Investitionen in landwirtschaftliche Einsatzfaktoren, Ansammlung schädlicher Umweltschmutzstoffe, erhöhte Erschließungskosten für Neuland, gesteigerte Ressourcenkosten und weniger Nahrung pro Kopf der Bevölkerung. Die negativen Rückmeldungen werden in dem Maße stärker, wie sich Bevölkerungs- und Kapitalwachstum in Richtung auf die umweltspezifischen Grenzen entwickeln.

3. Verzögerungen bei den negativen Rückmeldungen ergeben sich aus zwei Gründen. Zunächst sind manche Verzögerungen, wie z. B. die bei Bevölkerungsalterung, Umweltschmutztransfers und Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit unausweichliche Folge physikalischer oder biologischer Gesetze. Zweitens werden einige Verzögerungen durch die Zeitspannen verursacht, die die Gesellschaft braucht, um neue Umweltsituationen wahrzunehmen und ihre Werte, Institutionen und Technologien entsprechend zu korrigieren.

Ein System, das diese drei Merkmale aufweist – rasches Wachstum, Begrenztheit durch die Umwelt und Rückmeldungsverzögerungen – ist in sich instabil. Weil das rasche Wachstum anhält, während die entgegengerichteten Rückmeldungen verzögert werden, kann das physische System zeitweilig weit über seine letztendlich erträglichen Grenzen hinaus expandieren. In dieser Zeit des Überschießens ist es besonders wahrscheinlich, daß die kurzfristigen Bemühungen zur Erhaltung der Übergrößen an Bevölkerung und Kapital die Ressourcenbasis aushöhlen oder erschöpfen. Die Belastbarkeit der Umwelt kann so stark reduziert werden, daß sie nur noch eine sehr viel kleinere Bevölkerung und sehr viel geringeren materiellen Lebensstandard tragen kann, als vor dem Überschießen möglich gewsen wäre. Das Ergebnis ist ein nicht beherrschbarer Rücksturz auf niedrigere Niveaus von Bevölkerung und Kapital.

Mit diesem Verständnis der Systemmerkmale, die zur Instabilität führen, fällt es relativ leicht, alternative politische Strategien zur Erhöhung der Stabilität und Herbeiführung eines erträglichen Gleichgewichtes zu formulieren, z. B. die folgenden:

1. Kurzfristige Technologien, die die Anfangssignale bevorstehender Grenzen verschleiern und weiteres Wachstum anregen sollen, werden langfristig nicht wirksam bleiben. Statt dessen überdecken sie die Notwendigkeit der Veränderung sozialer Werte, verlängern die Reaktionszeiten des Systems und erhöhen Wahrscheinlichkeit, Tempo und Größenordnung des letztendlichen Überschießens und Zusammenbruchs.
2. Politische Strategien, mit denen die Aushöhlung der Ressourcenbasis der Welt bekämpft wird, werden mit Sicherheit die Schwere des Rücksturzes nach einem Überschießen abmildern. Doch kann die Ressourceneinsparung als solche ein Überschießen noch nicht verhindern, solange immer noch der Schwerpunkt auf

Wachstum gelegt wird, und Rückmeldung weiterhin verzögert wird. Außerdem ist es möglich, daß das überbeanspruchte System in einer Periode des Überschießens die Kosten für Einsparungsmaßnahmen nicht mehr aufbringen kann.

3. Von großer Wirkung bei der Reduzierung der Instabilität des Systems können soziale Wertveränderungen sein, die die wachstumsverursachenden Kräfte in ihre Schranken weisen. Institutionelle Neuerungen, die das Tempo der technologischen oder sozialen Anpassung beschleunigen, und langfristige Vorhersagemethoden, die die Rückmeldungsverzögerungen abkürzen.
4 Eine sorgfältig abgewogene Kombination politischer Strategien zur Verhinderung der Aushöhlung der Ressourcen, Vorhersage der Auswirkungen näher kommender Grenzen und absichtlichen Beendigung des materiellen und demographischen Wachstums können die Phase des Überschießens völlig umgehen und zu einem erträglichen Gleichgewicht führen.

Obwohl diese Schlußfolgerung einfach und selbstverständlich zu sein scheint, beruhen die meisten politischen und ökonomischen Entscheidungen von heute implizit auf einer ganz anderen Weltsicht als der hier dargelegten. Das herrschende zeitgenössische Modell enthält die Annahmen, daß das physische Wachstum weitergehen kann und soll; daß Technologie und Preissystem Verknappungen kurzfristig beheben können; daß die Ressourcenbasis erweitert, aber nie eingeschränkt werden kann; daß die Lösung kurzfristiger Probleme erwünschte langfristige Ergebnisse bringen wird; und daß eine Stabilisierung von Bevölkerung und Kapital, sofern sie überhaupt notwendig ist, automatisch auf dem optimalen Niveau erfolgt.[10]

Die Schlüsse, zu denen Leser von *Die Grenzen des Wachstums* gelangen, schwanken je nach dem Erfahrungsstand des Lesers. Menschen, die zuvor noch nie mit der Problemreihe konfrontiert waren, mit denen sich die Weltmodelle befassen, reagieren häufig emotional und finden das Werk deprimierend. Die folgende Bemerkung ist dafür typisch: »Im Grunde lautet die Prognose, daß die Menschheit vielleicht noch 40 oder 50 Jahre vor sich hat . . . Die Menschheit wird bis zum Jahre 2100 fast oder vollständig ausgestorben sein.«[11] Menschen, für die das Grenzproblem nichts Neues ist, reagieren eher weniger emotional. Andere haben so einfache Abwehrmechanismen gegen das Grenzargument wie: »Ja, aber sie haben die Technologie nicht berücksichtigt« »Man kann ein Modell so manipulieren, daß es jedes gewünschte Ergebnis erbringt« oder »Ich glaube nicht, daß ihre Zahlen stimmen«. Andere wiederum stehen der Konzeption, daß das materielle Wachstum aufhören muß, wohlwollend gegenüber und werden inspiriert, sich für ein Weltgleichgewicht einzusetzen.

World 2 und 3 sind vielleicht die am häufigsten getesteten Computermodelle von allen je entwickelten. Nicht nur wurden sie von den Modellkonstrukteuren

selbst ausführlich getestet, sondern sie wurden auch von Kritikern des Modells und von wohlwollenden Forschern und Studenten verschiedener Universitäten umfangreicher Überprüfung unterzogen. Es gibt zwei Hauptgründe für diese zahlreichen Überprüfungen der Weltmodelle: (1) Sie sind weithin sichtbar und stellen eine Herausforderung für die Benutzer dar, die das System dazu bringen wollen, andere Ergebnisse zu produzieren, und (2) sind sie von jedem leicht zu testen, der Zugang zur geeigneten Computer-*hardware* hat. Ihre Computerprogramme sind veröffentlicht und so kurz, daß sie ohne Schwierigkeiten auf jedes System mit einem DYNAMO-Kompilierer übertragen werden können. Wenn sie erst im System sind, sind sie leicht zu prüfen, denn DYNAMO wurde in einer Form geschrieben, die das Überprüfen absichtlich fördert.

Die Überprüfer des Modells sind zu verschiedenen Schlüssen darüber gekommen, wie die Modelle funktionieren. Forrester und die Mitglieder des Meadows-Teams sind allgemein beeindruckt, wie robust sich das Modell verhält. Sie stellen fest, daß das Verhalten von Überschießen und Zusammenbruch entgegen zahlreicher Maßnahmen anhält, die es mit Gewißheit auszulöschen schienen. Starke Maßnahmen zur Einschränkung des Wachstums von Bevölkerung und Ressourcennutzung und des extensiven Industriewachstums sind die einzigen Maßnahmen, die sie als wirksam zur Abwendung des berüchtigten Zusammenbruchs erkannten. Andererseits kann eine Reihe von Forschern vom Science Policy Research Institute der Sussex University in England nach Überprüfung der Empfindlichkeit des Modells gegenüber Veränderungen der Parameter zu dem Schluß: »Das Modell scheint äußerst empfindlich auf Eingabeparameter zu reagieren, die einen breiten Fehlerbereich enthalten, und es hat nach World 3 sogar den Anschein, daß eine hohe Wachstumsrate genauso wahrscheinlich ist wie ein katastrophaler Zusammenhang.«[12] Zum größten Teil beruhten die Parameterveränderungen der Sussex-Gruppe auf der Erwartung, daß der technologische Wandel die globalen Grenzen im Zeitverlauf eher weiter hinausschieben würden und daß der hauptsächliche Hemmfaktor das Tempo sei, mit dem sich die Technik fortentwickle. Insbesondere stellten sie fest, daß eine Abflachung der Kostenkurven (die die Kosten der Gewinnung von Ressourcen und die Kosten der landwirtschaftlichen Neulandgewinnung zu den jeweiligen Anteilen dieser Faktoren in Relation setzen, die unerschlossen oder ungenutzt bleiben) ein weiteres Wirtschaftswachstum weit weniger problematisch machen, als aus den Studien von Forrester und Meadows hervorgeht. Der Leser, der selber beurteilen will, was diese beiden Argumente für sich haben, wird auf Kap. 9 von *Models of Doom*[13] und auf Kap. 7 von *Dynamics of Growth of a Finite World*[14] verwiesen.

Bisweilen werden Aussagen gemacht, die dahingehen, daß *Die Grenzen des Wachstums* widerlegt sei und daß Fehler in den Weltmodellen gefunden worden seien. Um gegenüber den Modellkonstrukteuren fair zu bleiben, muß gesagt

werden, daß es kaum ein Modell eines sozialen Systems gibt, das nicht von Kritikern widerlegt werden könnte, die die Annahmen des Modells verändern oder seine Datenbasis anzweifeln. Wenn die in den folgenden Kapiteln beschriebenen anderen Modelle ebenso den umfangreichen Prüfungen unterzogen worden wären, die den Modellen World 2 und World 3 zuteil wurden, so wären zweifellos auch sie »widerlegt« oder als fehlerhaft befunden worden.

Dokumentation

World 2 und World 3 sind klar und gründlich dokumentiert. Die Gleichungen, auf denen sie beruhen, sind alle veröffentlicht, und jedermann mit Zugang zu einem DYNAMO-Kompilierer kann die Ergebnisse ohne Schwierigkeiten reproduzieren. Die Gleichungen sind auch in zwei der unten zitierten Bücher erklärt.[15] Und natürlich hat das populäre und flüssig geschriebene Buch *Die Grenzen des Wachstums* eine beeindruckende Zahl von Lesern erreicht – da bisher in mehr als 20 Sprachen mit als 4 Mio. Exemplare davon gedruckt worden sind.[16]

Die Berühmtheit, die die Modelle World 2 und 3 erreicht haben, ist vermutlich ebenso sehr dem klaren und provokanten Stil ihrer Dokumentation als auch den aufmerksamkeitsheischenden Überschriften der Dokumente selbst zuzuschreiben: »MIT-Studie« und »Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit«.

Anmerkungen

1. Aurelio Peccei, *The Human Quality*, Oxford: Pergamon, 1977, p. 2.
2. Ibid., p. 62.
3. Ibid., p.73.
4. Jay W. Forrester, *World Dynamics*, Cambridge, Mass.: Wright-Allen, 1971.
5. Donella H. and Dennis L. Meadows et al., *The Limits to Growth*, Washington: Potomac Associates, 1972
6. Peccei, p. 78.
7. Meadows et al., p. 185.
8. Nathaniel J. Mass and Richard H. Day, "Economics and System Dynamics," undated memo D-2426, circulated in the MIT System Dynamics Group.
9. Dennis L. Meadows et Al., *Dynamics of Growth in a Finite World*, Cambridge, Mass.: Wright-Allen, 1974; Forrester, *World Dynamics*.
10. Meadows et al., 1974, pp. 561–63.
11. Theodor H. Nelson, *Computer Lib*, Chicago: Hugo's Book Service, 1974.
12. H. S. D. Cole, ed., *Models of Doom*, New York: Universe, 1973, p. 130.
13. Ibid., Ch. 9.
14. Meadows et al., 1974, Ch. 7.
15. Forrester; Meadows et al., 1974.
16. Peccei.

26 Das Weltmodell von Mesarovic-Pestel (WIM)

Die von Jay Forrester und der Meadows-Gruppe konstruierten Modelle World 2 und World 3 waren hervorragende Zielscheiben der Kritik. Sie wurden weithin publiziert und waren so dokumentiert, daß ihre Annahmen ziemlich klar waren, und es war offensichtlich, daß ihr Einsatz im Widerspruch zu vielen anerkannten Verfahren der Problemanalyse stand, besonders zu denen der Ökonomen. Aber keines der Merkmale von World 2 und World 3, die unter Beschuß kamen, wurde so heftig angegriffen wie die Tatsache, daß die Modellkonstrukteure alle Nationen des Erdballs in eine einzige operative Einheit zusammenfaßten. Die Auftraggeber des Modells störten sich daran ebenso wie die Kritiker. Aurelio Peccei und Alexander King, die Gründer des Club of Rome, schrieben dazu:

»Eine der absichtlichen Einschränkungen der früheren Forschungen (von Forrester und Meadows) war die Entscheidung für weltweite Aggregate. Diese Entscheidung ging auf das Ziel zurück, das Projekt rasch abzuschließen, und bot gleichzeitig eine erste Gesamtperspektive der Trends und Hemmnisse, die der Dynamik des gesamten Systems innewohnen. Wir wußten natürlich, daß die Heterogenität der Welt mit ihrem zahllosen kulturellen und umweltspezifischen Unterschieden, verschiedenen Entwicklungsniveaus und ihrer ungleichen Verteilung der natürlichen Ressourcen bedeutet, daß die Folgen des Wachstums an verschiedenen Orten ebenso heterogen sind. Daher könnten die *durchschnittlichen* Kurven und Trends, wie sie im ersten Bericht zitiert sind, nicht als Leitfaden für detaillierte politische Strategieentscheidungen in einem beliebigen Land übernommen werden.

Wir schätzen daher ein, daß ein dringendes Bedürfnis danach bestand, diesem ersten Weltmodell aufgegliederte Studien folgen zu lassen, die zu einem tieferen Verständnis des weiten Bereichs weltweiter, regionaler und nationaler Aussichten und zu ihrer Koppelung mit der praktischen Politik führen würde. Daher unterstützten wir die Studie von Mesarovic-Pestel, die genau dies beabsichtigt.«[1]

Die Datenbasis für die Modelle World 2 und 3 hat ebenfalls schwere Kritik auf sich gezogen. Die Kritiker gebrauchten Adjektive wie »unwissenschaftlich« und »zweifelhaft« zur Beschreibung der empirischen Basis, auf der die Modelle ruhen. Mihaljo Mesarovic und Eduard Pestel waren erkennbar bemüht, die Billigung des skeptischen Teils der Intelligenz zu erhalten und ihre Arbeit von denen Forresters

und Meadows abzugrenzen. In der Einführung zu ihren Modellen betonen Mesarovic und Pestel, daß ihr Modell wissenschaftlich ist und auf realen Zahlen beruht.[2]

Trotz der Versuche der Modellkonstrukteure, sich von früheren Versuchen der Modellbildung abzusetzen, war das Weltmodell von Mesarovic-Pestel von ungefähr denselben Beweggründen wie World 2 und World 3 inspiriert. Wiederum wurde ein Versuch gemacht, Probleme in weltweitem Maßstab zu betrachten, einen Sinn in den verwirrenden wechselseitigen Verbindungen der Dinge zu finden, die entweder gegenwärtig falsch laufen oder die es bald tun könnten, um Mittel und Wege zu finden, das weltweite System auf Ziele auszurichten, die dem Wohl der Menschheit zugute kommen.

Mihaijlo Mesarovic und Eduard Pestel waren beide Kybernetiker. Als Gründungsmitglieder des Club of Rome hatten sie die Entwicklung der Modelle World 2 und 3 beobachtet und waren offenbar zu dem Schluß gelangt, daß sie es besser könnten. Sie ließen das durchblicken, unterhielten die Unterstützung des Club of Rome und sicherten sich die Finanzierung durch die Stiftung Volkswagenwerk, die auch das Projekt World 3 finanziert hatte. Die Arbeiten am Mesarovic-Pestel Modell (das auch als world integrated model oder WIM bekannt ist) wurden in Hannover begonnen und später an die Case Western Reserve University in Cleveland, Ohio, übertragen.

Methode

In der Kybernetik gibt es eine Einheit zwischen der Weltanschauung der Modellkonstrukteure und den mathematischen Konstrukten zum Aufbau der Modelle. Forrester und Meadows betrachten die Welt als Mechanismus – nicht als Uhrwerkmechanismus, aber als geschlossenes, zustandsbestimmtes System voller Nichtlinearitäten, das zu komplex ist, als daß der menschliche Verstand folgen könnte. Das Weltmodell von Mesarovic-Pestel enthält nicht ganz dieselbe buchstäbliche Übersetzung der Weltanschauung in mathematische Methoden. Statt dessen bestimmt die Weltsicht der Modellkonstrukteure – die sie als »hierarchische Kybernetik« bezeichnen – ihre Begriffsauffassung des Weltsystems, und mathematische und Computerverfahren werden eklektisch angewandt, um das Wesen ihrer Konzeptualisierung einzufangen.

Von Interesse sind sowohl die Weltanschauungen der Modellkonstrukteure als auch ihre mathematischen Methoden, erstere wegen ihres Einflusses auf die Gesamtkonzeptualisierung des Modells, und letztere, weil sie bestimmen, was passiert, wenn ein Computerlauf mit dem Modell gemacht wird.

Die Weltanschauung

Die Weltanschauung der Modellkonstrukteure wird ausführlich – wenn auch nicht auf eine Art und Weise, die ein klares Verständnis der hierarchischen Kybernetik vermittelt – in der populären Fassung ihrer Arbeit mit dem Titel *Mankind at the Turning Point* erörtert. Im Grunde sehen sie die Welt als in mehreren Ebenen geschichtet, von denen jede mit einer gewissen Autonomie funktioniert. Diese Schichten, wie sie die Modellbildner nennen, sind hierarchisch angeordnet wie in Fig. 26-1. Ganz oben ist die Schicht des Individuums; darunter, in absteigender Reihenfolge, befinden sich die Gruppen-, die demographisch-ökonomische, die technologische und die Umwelt- (ökologische und geophysikalische) Schicht. Die Dokumentation sagt nichts darüber aus, warum die Schichten voneinander getrennt sind, und erklärt ihre Anordnung genausowenig.

In der Praxis sind die Schichten im Modell nicht gleichberechtigt dargestellt. Die demographisch-ökonomische Schicht und die Umweltschicht (anscheinend eine Legierung aus der geophysikalischen Schicht und der ökologischen Schicht) sind am explizitesten dargestellt und nehmen den größten Teil des Modellinhalts ein.

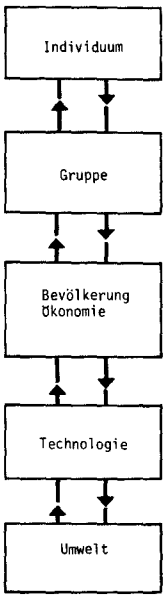

Fig. 26-1. Die fünf interrelierten Ebenen, nach denen das Mesarovic-Pestel-Weltmodell die Welt schichtet.

Die Modellbildner versuchten, die Gruppenschicht – d. h. politische und institutionelle Faktoren – dadurch zu berücksichtigen, daß sie das Modell interaktiv machten und die Aufgabe der Einschätzung des sozialen Gruppenverhaltens dem Modellbenutzer überließen. Wie die Technologieschicht eingebaut wurde, ist unklar, obwohl technologische Einflüsse an vielen Stellen durch demographisch-ökologische Modelle implizit vorhanden sind.

Hier ist eine Bemerkung zur Frage des »anti-intuitiven Verhaltens« angebracht. Wie in der Methodenbeschreibung von World 2 und 3 in Kap. 25 erwähnt, vertreten Jay Forrester und die meisten anderen Kybernetiker die Ansicht, daß komplexe Systeme häufig innerlich so strukturiert sind, daß der menschliche Verstand nicht in der Lage ist, richtig zu erfassen, wie sie sich verhalten. Das heißt, daß komplexe Systeme – mit den in Forresters Weltanschauung nichtlineare Systeme höherer Ordnung gemeint sind – sich auf anti-intuitive Art und Weise verhalten. Die Hypothese des anti-intuitiven Verhaltens sozialer Systeme ist kein triviales oder esoterisches Argument – auf ihr beruht die grundlegende Rechtfertigung für Modellsimulationen von Systemen – die Behauptung nämlich, daß uns die Computersimulation die komplexen logischen Schrittfolgen bewältigen hilft, die unserer intuitive Wahrnehmung verblüffen oder irreleiten.

Wie Forrester haben Mesarovic und Pestel soziale Systeme auf eine Art und Weise strukturiert, die außerhalb des Horizonts der unbewaffneten menschlichen Intuition liegt. Doch bieten sie verschiedene Erklärungen dafür an, wie solche Systeme unsere Fähigkeit zum intuitiven Verstehen überfordern. Das Problem, wie sie es sehen, ergibt sich aus der hierarchischen Konstruktion dieser Systeme. In normalen Zeiten verhalten sich unterschiedliche hierarchische Schichten fast völlig unabhängig voneinander. Doch können bestimmte Bedingungen bewirken, daß die getrennten Schichten in starke Wechselbeziehungen zueinander treten. Diese Bedingungen, teilen uns die Modellkonstrukteure mit, sind das, was wir gemeinhin als »Krisen« bezeichnen; in derartigen Krisen kann das System Verhaltensweisen annehmen, die sich so weit von denen unserer normalen Erfahrung unterscheiden, daß sie unsere Intuition überfordern.[3] Die Botschaft von Mesarovic und Pestel scheint zu lauten, daß das von ihnen produzierte Modell uns dabei helfen kann, das Verhalten unserer gegenwärtigen wie unsere zukünftigen Krisen auszuloten.

Wenn wir versuchen, die Schichten von Mesarovic-Pestel unter vertraute Begriffe einzuordnen, stellen wir fest, daß sie sich an systematische Unterscheidungen halten, die andere vor ihnen benutzten. Die »Umweltschicht« scheint der »Belastbarkeit« der Natur zu entsprechen. Die ökonomischen und demographischen Teilschichten sind zwar in eine einzige Schicht zusammengefaßt, aber deckungsgleich mit den Menschen- und Maschinenpopulationen, die in World 2 und World 3 in einer Mischung von Symbiose und Antipathie nebeneinander

bestehen. Und Mesarovic und Pestel fanden die technologische Schicht und die Gruppenschicht (den sozialen Aspekt) genausoschwer zu spezifizieren wie anderen Modellkonstruktuere vor ihnen.

Eine weitere von den Modellkonstrukteuren strapazierte Vorstellung ist die des organischen Wachstums im Gegensatz zum undifferenzierten. Das organische Wachstum sehen sie als von innen geregelt, integriert, gesteuert und erhaltbar an. Das undifferenzierte Wachstum betrachten sie als ungesteuert, nicht erhaltbar und gefährlich. An mehreren Stellen in *Mankind at the Turning Point* heben sie hervor, wie wünschenswert Bewegung in Richtung auf eine organische Form des Wachstums für das Weltsystem ist. Zur Veranschaulichung ihres Arguments ziehen sie als Beispiel organischen Wachstums das Abflachen der Wachstumsprozesse einer Eiche heran[4] – eine beklemmende Analogie, wenn man bedenkt, daß Alter und Tod für alle Organismen typisch sind, daß auf die Verlangsamung organischen Wachstums Niedergang und Tod folgen. Die Analogie ist jedoch nicht allzu wichtig, da nicht ganz klar ist, ob oder wie sie die Modellstruktur beeinflußt oder ihre Begriffsentwicklung gestaltet.

Die mathematische Methode

Mathematisch und nicht begrifflich betrachtet, ist das Modell von Mesarovic-Pestel etwas Ähnliches wie ein kybernetisches Modell, in dem die Bestandsvariablen durch Matrizen von Bestandsvariablen ersetzt sind und die nötige Ausstattung hinzugefügt wird, um die Interaktion zwischen den Elementen zu beschreiben, in die die Einzelvariablen aufgelöst worden sind. (z. B. kann man sich die Regionalisierung des Modells so denken, daß zuerst eine einzelne regionale Modellstruktur konstruiert und diese dann 10- oder 12mal unter Verwendung von Parameterdifferenzen und vielleicht von Unterprogrammen wiederholt wird, um das einzelne Regionalmodell an die Merkmale der Weltregionen anzupassen.) Danach war es erforderlich, die Regionen in einem Handelsnetz miteinander zu verbinden. Dies erforderte noch mehr Kopfzerbrechen, noch mehr Gleichungen und noch mehr Daten.

Dieselbe Art von Desaggregierungsprozeß bei der Entwicklung regionaler Darstellungen ist an vielen anderen Stellen des Modells abgelaufen. Bevölkerungen werden in 85 einzelne Altersgruppen aufgeteilt. Energieressourcen werden in 5 Typen kategorisiert. Wenn die Daten es zulassen, sind regionale Volkswirtschaften nach Sektoren aufgelöst, wobei jeder Sektor seinen eigenen Kapitalbestand hat. Und so fort.

Der Nettoeffekt (in beiden Bedeutungen des Wortes »netto«) ist schwer zu verfolgen. Es gibt vermutlich nur wenige Menschen auf der Welt, die einen Computerausdruck des Modells ansehen und dann sagen könnten, daß ein

bestimmtes Verhaltensmuster des Modells von diesem oder jenem Merkmal der Modellstruktur verursacht wurde. Und da die Komplexität des Modells zuzunehmen anstatt abzunehmen scheint, wird die Anzahl Menschen, die das Modell derart verstehen können, vermutlich klein bleiben. Das Modell enthält mehrere Regelkreise, doch die Informationsströme, die diese Regelkreise steuern, fließen durch zahlreiche einander kreuzende Kanäle. Sie zu verfolgen, kann recht verwirrend sein. Wenn man das aber nicht kann, ist schwer zu sagen, ob das Modellverhalten eine getreue Darstellung der Weltprozesse ist, oder das Ergebnis irgendeines Zufalls in der Schaltung des Modells.

Kurzum, das Mesarovic-Pestel-Modell ist ein desaggregiertes Regelkreismodell. Die Struktur ist ziemlich komplex. Ihre Komplexität erfordert, daß man entweder Wochen – oder Monate – darauf verwendet, die Struktur zu begreifen, oder es fraglos akzeptiert und darauf vertraut, daß die Verfasser getreu dargestellt haben, wie die Welt funktioniert.

Relevanz

Es gibt keine Zweifel an der grundsätzlichen Relevanz des Modells von Mesarovic-Pestel für die Untersuchung langfristiger Interaktionen, zumindest zwischen Bevölkerung und Ressourcen. In vielerleic Weise scheint es mehr als jedes andere vorhandene Modell den detaillierten, integrierten und politisch orientierten Planungsmodell nahezukommen, nach dem Projekte wie *Global 2000* suchen. Es bewegt sich in Richtung auf eine Zusammenfügung der Äquivalente der zur Erstellung der Prognosen in Teil II dieses Bandes verwendeten Modelle. Das bedeutet, daß es nahe an eine Kombination von GOL, SIMLINK, IEES und eines demographischen Modells herankommt. Es macht Aussagen über den Handel zwischen den getreide- und ölreichen Ländern ebenso wie über den Hunger jener, die weder Getreide noch Öl haben.

Vom Standpunkt des Umweltschützers läßt das Modell viel zu wünschen übrig. Es schließt Waldungen, Fischerei und Ressourcen von Boden, Wasser und Luft entweder aus oder behandelt sie sehr oberflächlich. Es versucht, die ökologische Zerstörung nachzuvollziehen, die in dem Maße zu erwarten ist, wie Grenzböden und mineralische Ressourcen verbraucht werden. Offenbar berücksichtigt es nicht einmal die zunehmenden Kosten der Gewinnung von Rohstoffen und der Landerschließung. Demnach stellt es das nicht dar, was als Wachstumsschmerz in der Welt bezeichnet werden könnte.

Vieles von dem, was die Modellkonstrukteure ausließen, könnte eingefügt werden, wenigstens im Prinzip, aber nicht ohne das Modell viel größer, komplexer und noch weniger verständlich zu machen. Bereits jetzt wirft der Umfang des Modells so viele Probleme auf, daß die Modellbildner es bisweilen unangebracht

finden, einen Lauf mit dem kompletten System zu machen. Statt dessen lassen sie es in zwei Abschnitten laufen, von denen der eine den anderen treibt (also keine Rückkopplung), wobei sie in einigen Fällen getrennt vom System Korrekturen vornehmen, um die Regelkreisverbindungen zu kompensieren, die bei stückweisen Läufen des Modells amputiert werden.

Aus Gründen der Fairneß gegenüber den Konstrukteuren sollte bemerkt werden, daß die Komplexitätsprobleme beim Einspeisen dynamischen Feedbacks in ein detailliertes Modell unvermeidlich sind. Jeder Modellkonstrukteur würde beim Versuch, eine mathematische Struktur mit ähnlicher Detailliertheit und Interdependenz der Variablen zu bauen, vor denselben Problemen bei Handhabung, Verständnis und Erklärung seines Modells stehen. Es spricht für die Modellkonstrukteure, daß sie gegenwärtig alles versuchen, um die Modellstruktur zu vereinfachen und sie für konventionelle Analytiker leicht verständlich zu machen. Ob sie dabei Erfolg haben, bleibt abzuwarten.

Die vielen ökologischen Merkmale, die man vielleicht einfügen müßte, würden große Schwierigkeiten aufwerfen. Sie erstrecken sich über Ökosysteme, deren Grenzen sich nicht dem im Modell definierten politisch-regionalen Grenzen decken. Sonderprobleme bei ariden Regionen, Regenwäldern, Tundra oder Maisgürteln liegen jenseits der Fähigkeiten des Modells, da sein Regionalisierungsschema quer über ökologische Großzonen aggregiert. In ähnlicher Weise wären Probleme wie die Brennholzkrise der Dritten Welt schwer darzustellen, da das Modell keine getrennte Berücksichtigung der sozialen Schichten enthält, die ihren Brennstoff in ihrer natürlichen Umwelt sammeln.

Auch hier wiederum kann man den Modellkonstrukteuren nicht die Schuld geben. Die Welt, in der sie operieren, wird nicht von Begriffen der Ökologie oder der sozialen Schichtung beherrscht. Ihre Daten sind in politischen Kategorien zusammengefaßt, nicht nach Einkommensgruppen oder ökologisch aussagefähigen Einheiten. Die Fragen, die von Kritikern am häufigsten an die Modellkonstrukteure gestellt wurden, waren vermutlich nicht sehr auf Ökologie oder soziale Gleichheit gerichtet. Unter den obwaltenden Umständen müßte man schon auf eine eigensinnige Art persönliche engagiert für soziale Gleichheit oder Umweltschutz sein, um auf Darstellungen zu bestehen, die Aussagen zu Fragen wie Schicksal armer Bauern, Brennholzkrise oder Zerstörung landwirtschaftlicher Böden durch unzureichenden Umweltschutz machen.

Es gibt jedoch andere Umweltfragen, für deren Behandlung das Modell angepaßt werden könnte. Hierzu gehören Berechnungen der Mengen an erzeugten Umweltschmutzstoffen, die Bodenzerstörung durch Bergbau und die Auswirkung von Klimaveränderungen. Vermutlich würden diese Fragen in das Modell aufgenommen, wenn sich ein interessierter Klient findet, der die notwendigen Arbeiten finanziert.

Struktur

Wie die Modelle World 2 und World 3 kann das Weltmodell von Mesarovic-Pestel als ein Belastbarkeits-Weltmodell mit Populationen von Menschen und Maschinen betrachtet werden. Allerdings enthielten World 2 und 3 nur eine Menschenpopulation und eine oder zwei Maschinenpopulationen. Im Gegensatz dazu umfaßt das Modell von Mesarovic-Pestel etwa ein Dutzend geographisch differenzierte menschliche Bevölkerungsgruppen (die exakte Anzahl schwankt in verschiedenen Versionen des Modells), von denen jede in 85 Alterskategorien aufgeteilt ist. Es enthält etwa ein halbes Dutzend Maschinenkategorien, zwei Quellen für Agrarkapital, Kapital für Fischerzeugung, Kapital für Gewinnung von Bodenschätzen, usw. Die meisten dieser Kategorien sind geographisch differenziert, und manche werden wiederum in Verbrauchskategorien aufgegliedert. So z. B. werden in jeder Region fünf Spielarten des Energiekapitals erkannt, und bis zu 19 Arten von Industriekapital.

Dementsprechend ist auch die Belastbarkeit des Modells viel komplexer als die von World 2 und World 3. Seine stärksten Hemmfaktoren scheinen Öl (Erdöl), die Verfügbarkeit von Substitutionsgütern für Öl und anbaufähiges Land zu sein. Das Modell berücksichtigt, daß der Markt Korrekturen am Energieverbrauch zwischen der einen oder anderen Quelle vornimmt und den Transfer von Energie- und Agrarprodukten zwischen den Regionen besorgt. Daher kann die Belastbarkeit einer Region, wenn sie im Handel etwas anzubieten hat, über die von ihrer eigenen Ressourcenbasis gesetzten Grenzen hinaus erweitert werden.

Obwohl sie komplexer sind, sind die Belastbarkeitseinschränkungen im Modell von Mesarovic-Pestel weniger vielfältig als die in World 3, und vielleicht auch weniger aussagekräftig. Die Umweltverschmutzung führt im Modell zu keinem Rückgang der landwirtschaftlichen Produktivität, intensive Anbaumethoden untergraben auch dann nicht das Agrarpotential, wenn ihnen keine Investitionen zur Bodenerhaltung gegenüberstehen, die Energie scheint durch das Tempo, in dem neue Reserven erschlossen werden können, ernsthafter beschränkt als durch absolute Verknappung, und Mangelerscheinungen an anderen natürlichen Ressourcen außer Energie wirken nicht so auf den ökonomischen Sektor zurück, daß die Wachstumsstrukturen verändert würden. Außerdem scheint die Symbiose von Mensch zu Maschine im Mesarovic-Pestel-Modell ausgeprägter dargestellt. Arbeit und Maschinenausstattung werden als komplementäre Einsatzfaktoren der volkswirtschaftlichen Produktion aufgeführt (d. h., es wird eine Produktionsfunktion nach Cobb-Douglas benutzt, wie unten beschrieben). Allerdings haben Mesarovic und Pestel eine neue Möglichkeit hinzugefügt, wie biologische Grenzen menschliche Wirtschaftssysteme einschränken können – die in den unterentwik-

kelten Ländern bösartig wird. Hohe Hungerraten senken den Kapitalkoeffizienten. Da die Agrarproduktion unzulänglich und wenig zum Handeltreiben vorhanden ist, wird also eine Zunahme der Bevölkerung eine Verringerung der industriellen Erzeugung auslösen – zum Schaden der Investition und der Kapitalakkumulation. Daher kann erwartet werden, daß das Modell empfindlich reagiert, wenn es darum geht, ein Gleichgewicht zwischen Bevölkerung, Industriearbeit und landwirtschaftlicher Arbeit herzustellen (und ein Teil dieser Empfindlichkeit könnte eine Widerspiegelung der realen Weltsituation sein).

Unter Gesichtspunkten der Belastbarkeit jedoch wird das Modell gewöhnlich nicht betrachtet. Gemeinhin wird es durch die Brille des Ökonomen gesehen. Von diesem Standpunkt aus ist das Modell eine Sammlung von Regionalmodellen. Jedes stellt die volkswirtschaftliche Produktion unter Verwendung einer Produktionsfunktion nach Cobb-Douglas dar*. Das Kapital für die Cobb-Douglas-Funktion wird endogen durch Investitionsprozesse generiert. Endogen generiert wird auch die Bevölkerung, die die Arbeitskräfte stellt. Der Bevölkerungsstand ist eine Funktion der Altersstruktur der Bevölkerung. Für die Regionen, wo dies möglich war, wurden input-output Tabellen benutzt, um eine detailliertere Darstellung der volkswirtschaftlichen Produktion zu ermöglichen. Diese Detailliertheit gestattet größere Exaktheit bei der Schätzung von Verbrauchsstrukturen für Ressourcen. So z. B. werden die Modelle vollständiger gemacht, in dem die Bruttoregionalprodukte nach energieintensiveren, arbeitsintensiveren, weniger arbeitsintensiven usw. aufgeteilt werden.

Grob gesprochen ergibt sich die Agrarinvestition im Modell als Nebenprodukt des Wirtschaftswachstums – wobei die Investitionsrate vom Preis landwirtschaftlicher Produkte geregelt wird. Die Agrarinvestition steigert über die Förderung der Urbarmachung und Begünstigung mechanisierter und kunstdüngerintensiver Methoden die landwirtschaftliche Erzeugung und den Nahrungsmittelverbrauch pro Kopf. Somit ist das landwirtschaftliche Angebot langfristig eine Funktion einer von Bodenressourcen gehemmten Kapitalinvestition.

Die Nachfrage nach Agrarprodukten ist eine Funktion des Pro-Kopf-Einkommens. Das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage bei Agrarprodukten bestimmt die Preise, die wiederum Agrarinvestitionen anordnen oder abweisen können.

Energieproduktion und die Ressourcenproduktion werden wie die ökonomische Erzeugung allgemein und die Akkumulation des Kapitalbestands angetrieben. Auch hier wiederum wird die Investition teilweise vom Preis gesteuert – je

* In ihrer Standardform:
Output = Arbeitskraft$^{\alpha}$ × Kapital$^{1-\alpha}$ × Faktor^{r}. Der Zeitfaktor α und r sind statistisch geschätzte Konstanten. Der Zeitfaktor wird häufig mit dem technologischen Fortschritt gleichgesetzt.

höher der Ressourcenpreis, desto höher die Investition in das Ressourcenkapital. Und wiederum wird der Preis durch die Kräfte von Angebot und Nachfrage bestimmt. Die Nachfrage nach Energie in Form von Ressourcen ist eine Funktion der volkswirtschaftlichen Erzeugung.

Sowohl bei den Agrar- als auch bei den Ressourcenstrukturen sind es schließlich die Kapitalakkumulation und die Verstreutheit ungenutzter Ressourcen, die das System schließlich an seine natürlichen Grenzen stoßen lassen. Im Agrarsystem versetzt die Investition das System schließlich in einen Zustand, in dem weitere Investitionen rasch abnehmenden Ertragszuwachs zur Folge haben. Damit wird das weitere landwirtschaftliche Wachstum erstickt. Bei den Teilmodellen für Energie und Ressourcen werden die Reserven von der Produktuion aufgebraucht. Zwar können die Reserven durch weitere Funde wieder aufgefüllt werden, doch irgendwann kommt der Zeitpunkt, wenn keine unentdeckten Reserven mehr erschlossen werden können. In Wirklichkeit werden die unentdeckten Reserven der Formulierung zufolge nie völlig erschöpft, da das Modell so strukturiert ist, daß die Rate der Ressourcenfunde proportional dem Anteil ursprünglichen Gesamtbestands an Reserven ist, die unentdeckt geblieben sind. Daher nähern sich die Funde in dem Maße Null, wie alle unentdeckten Reserven allmählich gefunden werden.

Das Abfallen der Fundrate bedeutet, daß die Reserven nicht aufgefüllt werden und Angebotsverknappungen den Preis in die Höhe treiben. Da das Modell die Substitution zwischen den von Kreuzpreiselastizitäten regierten Brennstofftypen berücksichtigt, veranlaßt der Preismechanismus im Fall eines Steigens der Energiepreise infolge Ressourcenerschöpfung eine Verlagerung auf andere Energiequellen als die erschöpfte. Verknappungen des Energieangebots ändern auch das Wirtschaftswachstum, so daß das Kapitalverhältnis des Modells im Falle eines Energiemangels nach oben geht. Höhere Kapitalkoeffizienten verringern offensichtlich die Erzeugung.

Der größte Teil des soeben Beschriebenen wird durch den internationalen Handel abgemildert. In den meisten Fällen stimulieren Rückgänge von Angebot und Nachfrage den internationalen Handel. Güter fließen dann, gehemmt durch handelspolitische Barrieren und Einschränkungen durch Zahlungsbilanzen, von Region zu Region. Geeignete Korrekturen werden zur Kompensierung der Transportkosten und zur Berücksichtigung regionaler Preisunterschiede hinzugefügt.

Außer unter Gesichtspunkten der Belastbarkeit und der Ökonomie kann die Modellstruktur auch als Rechenschrittfolge betrachtet werden, wie in Fig. 26-2. Von dieser Sequenz wäre vielleicht zu erwarten, daß es sich an die hierarchische Ordnung hält. Dies scheint jedoch nicht der Fall zu sein.

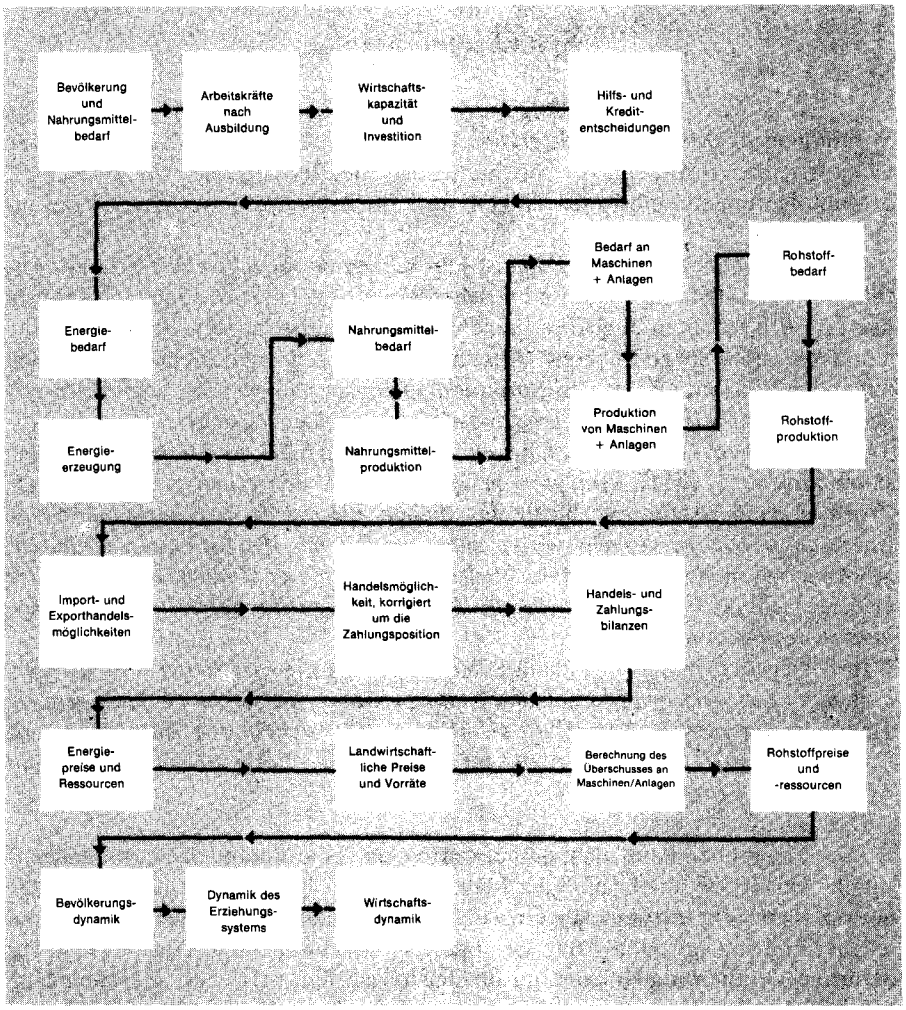

Fig. 26-2. Rechensequenz des Mesarovic-Pestel-Weltmodells. *(Case Western Reserve University, Systems Research Center).*

Schlußfolgerungen

Es ist schwer, die Schlußfolgerungen zusammen zu fassen, die aus dem Weltmodell von Mesarovic-Pestel zu ziehen sind. Die Modellkonstrukteure haben vielerorts über ihre Schlüsse berichtet, doch die Berichtsstile, wenn nicht die Schlußfolgerungen selbst, schwanken stark je nach der jeweiligen Verwendung.

In *Mankind at the Turning Point* ist sehr schwer zu sagen, welche Schlußfolgerungen ins Modell eingebaut und welche daraus abgeleitet wurden. Viele der in diesem Buch betonten Begriffe scheinen *a priori*-Schlüsse zu sein. So schließen die Verfasser im kursiv gedruckten* Abschnitt der Vorrede zu diesem Buch mit den folgenden Worten: *»Es ist diese Struktur des unausgeglichenen und undifferenzierten Wachstums, die den Kern der dringendsten Probleme ausmacht, vor denen die Menschheit steht – und ein Pfad, der zu ihrer Lösung führt, ist der des organischen Wachstums«*[5] ... *»Die Analysen in diesem Buch erstrecken sich über einen Zeitraum von 50 Jahren. Wenn aus diesem künftigen Halbjahrhundert eine lebensfähige Welt hervorgeht, wird sich ein organisches Wachstumsmuster durchgesetzt haben, an das sich die Menschheit danach für alle Zeit halten muß. Wenn sich kein lebensfähiges System entwickelt, sind Prognosen für das Jahrzehnt danach unter Umständen müßig.«*[6]

Im Nachwort ziehen sie sodann Schlußfolgerungen wie *»diesen ›Grenzkrisen‹ liegt eine Kluft zwischen Mensch und Natur zugrunde, die sich in beunruhigendem Tempo erweitert. Um diese Kluft zu überbrücken, muß der Mensch eine neue Einstellung zur Natur gewinnen, die auf harmonischen Beziehungen und nicht auf Eroberungen beruht.«*[7]

Das Schlußwort fährt fort:

»Die Menschheit kann nicht darauf warten, daß eine Veränderung spontan und zufällig eintritt. Vielmehr muß der Mensch selbst rechtzeitig Veränderungen von notwendiger, aber erträglicher Größenordnung einleiten, um unerträgliche und massive und von außen bewirkte Veränderungen zu vermeiden. Eine Strategie für derartige Veränderungen kann nur im Geiste wahrhaft weltweiter Zusammenarbeit entwickelt, in freier Partnerschaft der verschiedenen Regionalgemeinschaften der Welt gestaltet und von einem vernünftigen Gesamtplan für langfristiges organisches Wachstum geleitet entwickelt werden. Alle unsere Computersimulationen haben ziemlich eindeutig gezeigt, daß dies das einzige vernünftige durchführbare Verfahren zur Vermeidung größerer regionaler und letztendlich weltweiter Katastrophen ist und daß die Zeit, die vor Entwicklung eines derartigen

* Die kursiven Abschnitte hier und im folgenden sind auch im Original hervorgehoben.

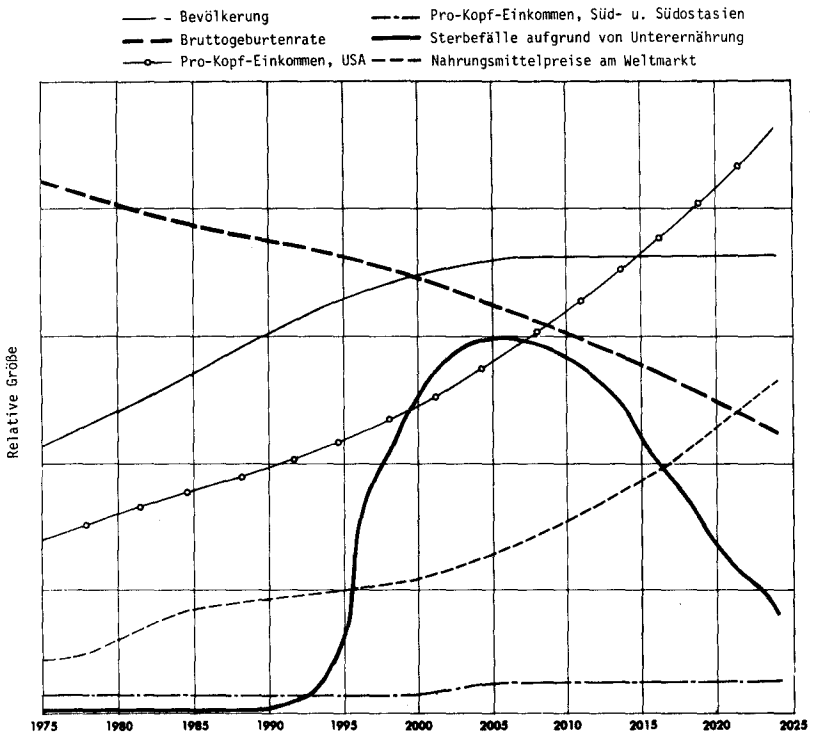

Fig. 26-3. Szenario: Bisherige Struktur – keine Veränderung, 1975-2020. (Case Western Reserve University, Systems Research Center).

globalen Weltsystems noch vertan werden kann, immer knapper wird. *Die einzigen Alternativen sind eindeutig Spaltung und Konflikte, Haß und Vernichtung.*«[8]

Leider wird nur wenig von den für diese Schlußfolgerungen herangezogenen Rechendaten des Computers im Buch gezeigt, und dieses Wenige wird nicht so identifiziert, daß der Leser feststellen kann, welche Teile des Modells an der Erstellung dieser Rechendaten beteiligt waren.

An anderer Stelle sind die Modellkonstrukteure in der Mitteilung von Schlußfolgerungen über ihr Modell prosaischer und buchstabengenauer. In einem für das U. S. Association of the Club of Rome Systems Research Center vom Juni 1977 teilen sie Schlußfolgerungen wie die folgenden mit:

»*Das historische Szenario* (Fig. 26-3) zeigt zwei beklemmende Eventualitäten für die Welternährungssituation: (a) eine Zunahme der Weltnahrungsmittelpreise

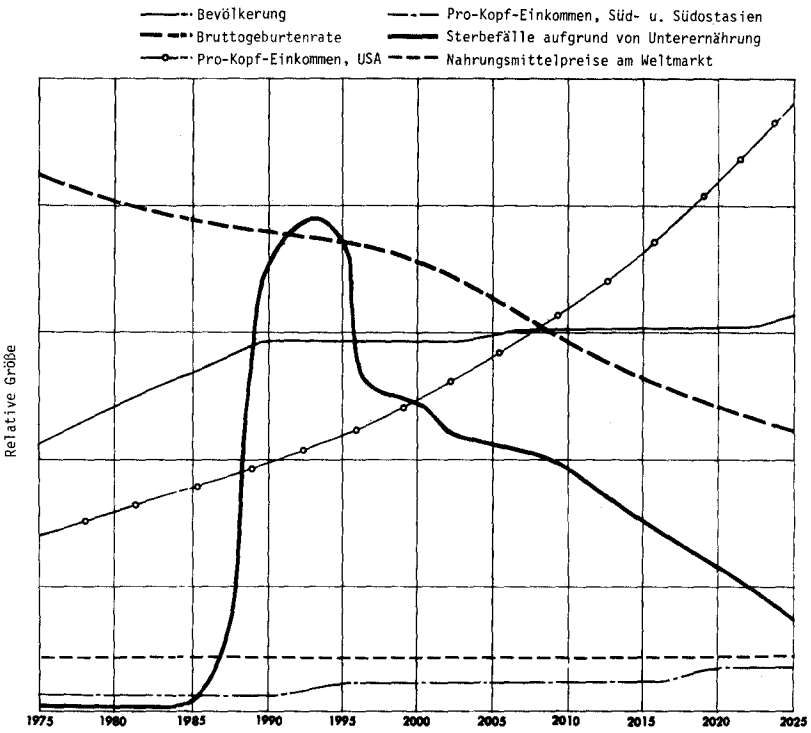

Fig. 26-4. Isolationistisches Szenario, 1975-2020. *(Systems Research Center).*

(auf Vergleichsbasis) um ein Mehrfaches, die fast mit Sicherheit die Inlandspreise für Nahrungsmittel unerträglich hoch treiben würden. (b) Eine starke Möglichkeit von Perioden der Nahrungsmittelverknappung in verschiedenen Weltregionen, die zu Hungersnöten von katastrophalem Umfang führen könnten.[9]

Das isolationistische Szenario Zwei (Fig. 26-4): Die Inlands-Nahrungsmittelpreise könnten durch Beschränkung der Nahrungsmittelexporte niedrig gehalten werden. Die Folgen eines derartigen isolationistischen Szenarios wären wahrhaft katastrophal. Weitere Dutzende von Millionen könnten verhungern (unter günstigen, aber möglichen Bedingungen der Nahrungsmittelversorgung), weil die USA keine Nahrungsmittel mehr produzieren oder exportieren.«[10]

Die Modellkonstrukteure haben das Modell zur Überprüfung einer großen Anzahl politischer Strategien verwandt, und die Liste der Schlußfolgerungen geht immer weiter. Das Modell ist vielseitig, und die Liste könnte fast ins unendliche

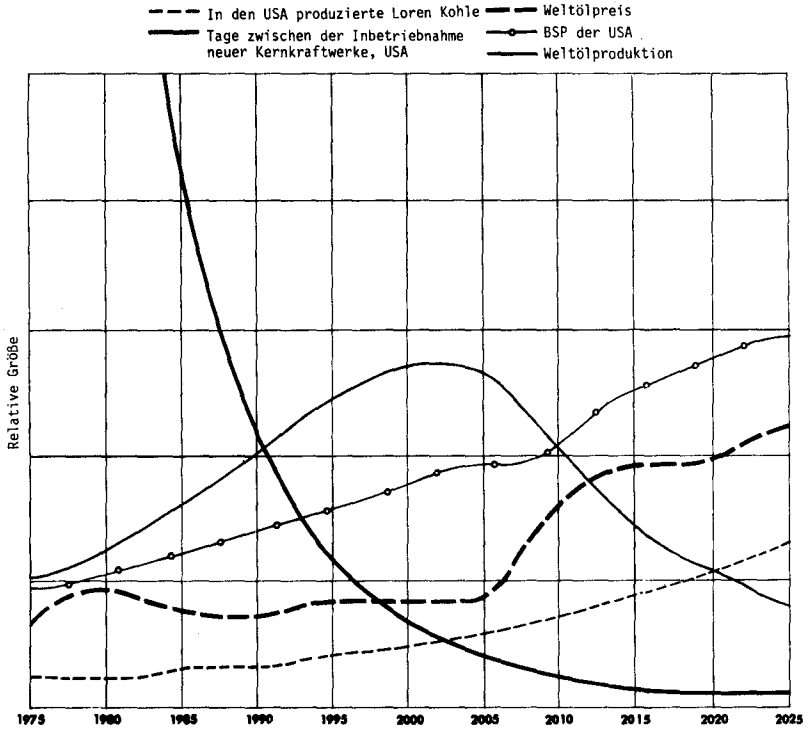

Fig. 26-5. Szenario mit Energieautarkie und rascher Entwicklung der Kernenergie, 1975-2020. *(Systems Research Center).*

verlängert werden, solange jemand die Forschungen der Modellkonstrukteure finanziert.

Wie die aus *Mankind at the Turning Point* entnommenen Schlußfolgerung sind die obigen nicht durch eindeutige Bezugnahmen auf die zu ihrer Erzeugung verwendete Modellform gestützt. Dies scheint ein Finanz- und Prioritätsproblem zu sein. Eine adäquate Spezifizierung wäre ein teurer und zeitraubender Prozeß, und die Anzahl der Leute, die diese näheren Angaben lesen würden, wäre sehr klein.

Vermutlich sind die exakten Spezifizierungen, die zur Verwendung aller veröffentlichten Rechendaten des Modells benutzt werden, irgendwo archiviert, so daß einer stark motivierten Person mit entsprechendem Status, eine Einblicknahme möglich wäre, um festzustellen, welchen Annahmen in dem Prozeß gemacht wurden, der zu diesen Schlußfolgerungen führt. Und es ist natürlich

immer möglich, die Modellkonstrukteure persönlich zu fragen, was nun eigentlich unterstellt wurde. Aber keine dieser Lösungen ermöglicht die Art aktiver Kritik unter Kollegen, die Qualität der wissenschaftlichen Arbeit erforderlich ist, ganz zu schweigen von der Überprüfung durch die Öffentlichkeit.

Das Problem, die Annahmen zur Überprüfung zur Verfügung zu stellen, ist sowohl politisch als auch intellektuell kritisch. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie Modelle wie das von Mesarovic-Pestel absichtlich oder zufällig so manipuliert werden können, daß sie ein bestimmtes Rechenergebnis hervorbringen. Es wird z. B. in der verfügbaren Dokumentation nicht darauf hingewiesen, daß die für die Läufe für die US Association for the Club of Rome benutzte Modellversion von der Annahme ausgeht, daß Rohstoffe für Kernkraft in unbeschränkter Menge zur Verfügung stehen oder daß deren Verwendung keinerlei bedeutsame Probleme aufwirft. Dennnoch müssen diese Annahmen das in Fig. 26-5 dargestellte Szenario mit Energieautarkie und rascher Zunahme der Kernkraft beeinflußt haben. Es könnte zu politisch ernsten Fehleinschätzungen führen, wenn dieser Lauf ohne Kenntnis der dahinterstehenden Annahmen interpretiert würde. Und es ist durchaus denkbar, daß im Computerprogramm des Modells ein halbes Dutzend genauso zweifelhafter Annahmen unidentifiziert ihr Unwesen treiben.

Die Modellkonstrukteure haben außerdem angefangen, sich selbst in unmittelbare Konkurrenz zu anderen Futurologen zu setzen, in dem sie ihre Modelle zur Überprüfung von Szenarien und Annahmen anderer Autoren benutzten. In einem für die US Association for the Club of Rome erstellten Systems Research paper vom September 1977 berichteten sie darüber, wie sie Szenarien aus Herman Kahns Buch *The Next Two Hundred Years* überprüften. Sie fanden heraus, daß die Schlußfolgerungen des Hudson Institut von Fehlern wimmelten, z. B.:

Es ist unmöglich, irgendein Energieprogramm für Westeuropa oder Japan zu entwerfen, das im Verlauf eines Zehnjahreszeitraums die Energienachfrage senken und die Energieproduktion aus ölunabhängigen Quellen so steigern könnte, daß der Verlust des Persischen Golfs bis 1987 ausgeglichen werden könnte. Die Berichtsaussage des Hudson Institute in bezug auf die leichte Anpassung an ein abruptes Verschwinden der Ölreserven ist daher irrig.[11]

Szenarien des MIT Workshop on Alternative Energy Strategies wurden ähnlich getestet und in einem System Research Center von November 1977 dokumentiert.[12]

Überprüfung und Validierung

Daß das Weltmodell von Mesarovic-Pestel ausführlich für die Überprüfung politischer Strategien benutzt wurde, ist bereits dargelegt worden. Neben diesen Prüfläufen geben die Modellkonstrukteure an, daß ihr Modell einer geeigneten historischen Validierung unterzogen wurde. Doch bietet die verfügbare Modelldokumentation wenig oder gar kein Material über die Validität des Modells. Weder statistische Testergebnisse noch Material über die Fähigkeit des Modells zur Replizierung historischer Verhaltensmuster sind in der üblichen Dokumentation enthalten.

Damit soll nicht gesagt werden, daß das Modell keinem Validitätstest unterworfen wurde. Gholamreza Mirzakhani, ein Student unter Mesarovic an der Case Western Reserve University, hat seine Magisterarbeit über die historische Validierung des Volkswirtschaft- und Handelsmodells geschrieben.[13] Durchschnittsfehler und Standardabweichungen für Anteile von Prognosefehlern bei der Gegenüberstellung von Modellprognosen und historischen Daten wurden für Schlüsselparameter des Modells errechnet. Einige ziemlich hohe (10-30%) Durchschnittsfehlerquoten wurden identifiziert. Die größten Schwierigkeiten

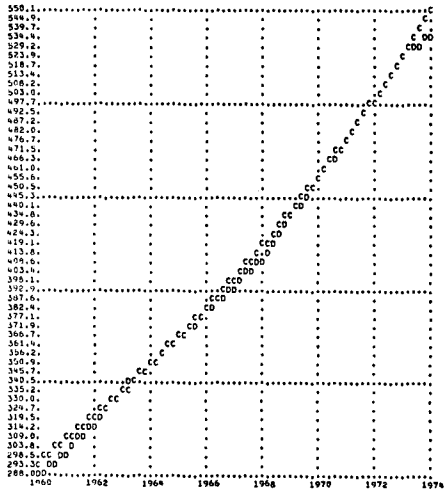

Fig. 26-6. Tatsächlicher (D) vs. prognostizierter (C) Verbrauch für Westeuropa; eine der besten Voraussagen des Modells. *(G. Mirzakhani, Case Western Reserve University thesis).*

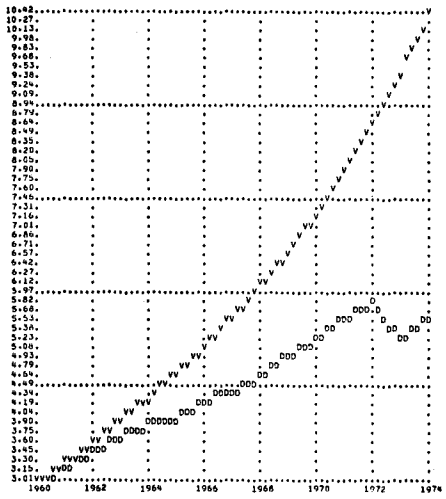

Fig. 26-7. Tatsächliche (D) und prognostizierte (V) Wertschöpfung der japanischen Montanindustrie; eine der schlechtesten Vorhersagen des Modells. *(G. Mirzakhani).*

schienen bei Prognosen über Investitionsimporte, -exporte und in manchen Regionen bei der Wertschöpfung in Sektoren II und IV aufzutreten (die leider im Text nicht namentlich genannt werden). Außer auf diesen Problemengebieten lagen die meisten Durchschnittsfehler unter 10% und viele waren unter 5%. In der graphischen Darstellung des Vergleichs von tatsächlichen und prognostizierten Ereignissen paßten beide zu manchen Zeiten wie angegossen, während zu anderen Zeiten die Abweichung beträchtlich war und das Modell eine völlig andere Verhaltensweise zu zeigen schien als der historische Trend (Fig. 26-6 und 26-7).

Wenn es Themen gibt, bei denen das Modell beträchtliche Fehler bei der Replizierung historischer Trends macht, ist es wichtig, daß diese aufgezeigt werden. Ansonsten wird die verständige Kritik des Modells blockiert. Darstellungen der empirischen Stärken und Schwachstellen des Modells sind bei den gedrängten Terminplänen und knappen Budgets der Modellkonstrukteure keine Priorität gewesen. Also muß die Öffentlichkeit bei der Beurteilung des Modells ohne eine Darstellung der Validität auskommen.

Dokumentation

Eine gründliche Dokumentierung des Weltmodells von Mesarovic-Pestel wäre eine herkulische, um nicht zu sagen undankbare Aufgabe. Der größte Teil des erforderlichen Materials, wie z. B. Konstruktionsbeschreibungen der verschiedenen Parameter aus den dünnen verfügbaren Daten, wäre mühsam zu lesen und zu schreiben. Die Dokumentationsaufgabe wird dadurch noch weiter kompliziert, daß das Modell seine endgültige Form noch nicht erreicht hatte. Was heute über das Modell geschrieben wird, kann morgen nicht mehr zutreffen, und in zwei Jahren geradezu irreführend sein. Schlimmer noch, bisher war niemand bereit, die Kosten einer sorgfältigen, gründlichen, geordneten Dokumentation zu tragen.

Die vorhandene Dokumentation umfaßt zahlreiche kurze Aufsätze, wie Szenario-Analysen und Modellzusammenfassungen, die jeweils für ein bestimmtes Publikum gedacht waren; eine ziemlich vollständige, wenn auch etwas veraltete Beschreibung der Modellgleichungen[14]; und Handbücher für verschiedene Benutzer zu verschiedenen Zeitpunkten.

Das Weltmodell von Mesarovic-Pestel ist schwer zu verfolgen. Es ist nicht eine einzige Einheit, sondern ein in Entwicklung begriffener Fluß von Integrationskonzepten. Wie bei den meisten umfangreichen Modellen besteht weder ein Druck noch ein Anreiz, diesen Fluß so zu dokumentieren, daß er auch für alle nicht am Modellkonstruktionsprozeß Beteiligten leicht zugänglich und verständlich ist.

Anmerkungen

1. Quoted in Mihajlo D. Mesarovic and Eduard Pestel, *Mankind at the Turning Point*. New York: Dutton, 1974, p. 202.
2. Ibid., pp. vii, viii, and x.
3. Ibid., p. 53.
4. Ibid., p. 8.
5. Ibid., p. 7.
6. Ibid., p. 17.
7. Ibid., p. 153.
8. Ibid., p. 156–57.
9. "A Computer Based Policy Analysis Tool (The API System) and Its Use for U.S. Policy Evaluation in a Global Context," Case Western Reserve University, Systems Research Center, June 3, 1977 (summary of demonstration at meeting of the U.S. Association for the Club of Rome).
10. Ibid., p. 29.
11. Barry B. Hughes and Mihajlo D. Mesarovic, "Testing the Hudson Institute Scenarios," Washington: U.S. Association for the Club of Rome, Sept. 1977 (mimeo), p. 22.
12. Barry B. Hughes and Patricia Strauch, "Scenario Analysis Using WIM System," Case Western Reserve University, Systems Research Center, Nov. 1977.
13. Gholamreza Mirzakhani, "Historical Validation of the World Economic and Trade Model," M.S. Thesis, Case Western Reserve University, June 1977.
14. Ram Dayal, "Equation-Specifications for the World Integrated Model (WIM)," Case Western Reserve University, Systems Research Center, Jan. 1977 (mimeo).

27 MOIRA: Modell internationaler Relationen der Agrarwirtschaft

1972 beauftragten Aurelio Peccei und der Club of Rome auf Empfehlung Jan Tinbergens eine von Hans Linnemann geleitete Forschungsgruppe an der Freien Universität Amsterdam, eine Untersuchung durchzuführen, welche Auswirkung eine Verdoppelung der Weltbevölkerung auf das Welternährungssystem haben würde. Das daraus entstandene Modell geht das uralte Problem der Armen und Hungrigen der Welt mit ausgereiften Analysetechniken an. Die Modellkonstrukteure waren von dem Gefühl, daß menschliches Leiden moralisches Unrecht ist, und vom dem Wunsch motiviert, den Hunger in der Welt kleiner zu machen. Ihre Untersuchung, die das Modell enthält, beginnt mit einem Zitat von Mahatma Gandhi:

Dem armen Mann wagt Gott nicht zu erscheinen, es sei denn in Form von Brot und dem Versprechen auf Arbeit.

Wer Anfang der siebziger Jahre solche Gefühle hatte, konnte von den düsteren Aussichten für die Zukunft nur verstört sein. Die schlechten Ernten von 1972 und 73 verstärkten die Warnungen vor Hungersnöten, die aus den Modellen des Club of Rome hervorgegangen und in so populären Büchern wie *Famine 1975* und *The Population Bomb* verbreitet worden waren. Die Modellkonstrukteure vermerken in ihrer Studie: »Die Chronik der Geschichte läßt darauf schließen, daß wir schon seit Jahrzehnten mit Hunger und Unterernährung zu tun haben, die mit fortschreitender Zeit immer mehr Menschen erfassen.« Dieser Bemerkung folgen Fragen: Warum ist das so? Stimmt es, daß die Welt gefährlich nahe an die Grenzen ihrer Fähigkeit gelangt ist, Nahrung zu erzeugen? Oder ist es ein Verteilungsproblem? Gibt es Mittel und Wege, wie die ärmeren Nationen ihre Ernährungssituation in Stabilität und Autarkie verbessern können?[1]

Das sind die Fragen, denen sich das Modell von Linnemanns Forschungsgruppe mit der Bezeichnung MOIRA (model of international relations in agriculture) zuwendet. In den eigenen Worten seiner Konstrukteure »versucht es zunächst, die Weltsituation nach den ihr zugrundeliegenden Kausalfaktoren zu beschreiben . . . (und zweitens) überlegte Urteile über die politischen Maßnahmen abzugeben, die die zukünftige Entwicklung in Richtung auf eine Verbesserung der Welternährungssituation beeinflussen können, unter besonderer Betonung internationaler Maßnahmen.«[2]

MOIRA wurde über das holländische Universitätssystem von der Regierung der Niederlande unterstützt. Bis 1973 waren in Holländisch mehr Exemplare des vom Club of Rome veröffentlichten Buchs *Die Grenzen des Wachstums* verkauft worden als in jeder anderen Sprache,[3] und die Finanzierung des MOIRA-Projekts scheint auf das echte Interesse der holländischen Bevölkerung und Regierung am Schicksal der Welt und ihrer Menschen zurückzugehen. Das Anfang 1973 begonnene Projekt war keineswegs großzügig mit Mitteln ausgestettet. Finanzen und Arbeitskräfte waren knapp, die Arbeit ging langsam vorwärts. Im großen und ganzen war sie bis Ende 1976 abgeschlossen, konnte jedoch wegen der geringen Ausstattung mit Arbeitskräften nicht vor 1978 erscheinen.

Methode

Wenn alle Computer der Welt den Geist aufgeben würden, wäre MOIRA von allen in *Global 2000* dargestellten Modellen vermutlich als einziges auch dann noch ein brauchbares Analysewerkzeug. Die Modellkonstrukteure selbst bezeichnen es als algorithmisches Modell. Die Struktur des Modells besteht aus einer Reihe miteinander verbundener, im allgemeinen nichtlinearer mathematischer Beziehungen, die statistisch aus den Daten ermittelt wurden, die die Modellkonstrukteure finden konnten. In der Dokumentation ihrer Arbeit finden sich immer wieder analytische Ansätze, die in keinem anderen in *Global 2000* dargestellten Modell auftauchen, wie z. B. die *Teilableitung* nichtlinearer Funktionen. Viele der verwendeten Funktionen entstammen direkt einer ökonomischen Theorie. Graphische Standardverfahren der Ökonomie, wie Angebots- und Nachfragenkurven und Gewinn- und Kostenkurven werden zur Erläuterung des Textes freizügig verwendet.

Der Computer wird in dem Modell als Mittel benutzt, eine Desaggregierung und Iteration von Funktionsrelationen zu ermöglichen, die vor dem Computer-Zeitalter postuliert wurden. Statt der Ein- oder Zwei-Nationen-Modelle, die in der Volkswirtschaftslehre vor der Computerzeit entwickelt wurden, werden 106 Nationen oder Nationengruppen betrachtet. Innerhalb jeder von diesen (mit Ausnahme der drei zentralen Planwirtschaften) werden 12 Einkommens- und Beschäftigungsschichten behandelt. Wenn also die klassische Relation – Konsum als Funktion des Einkommens – im Modell erscheint, wird sie nicht nur ein-, zwei- oder dreimal benutzt, wie etwa in einem manuellen Modell, sondern mehr als 1200-mal repliziert. Wie die Modellkonstrukteure formulieren, ist das Modell auch »zeitlich desaggregiert.« Es wird durch jährlichen Zuwachs gelöst, so daß diese 1200 Kurven in einer Simulation über 50 Jahre zur Lösung von etwa 60 000

Gleichungen anwachsen – offenbar keine Aufgabe, die von Hand bewältigt werden kann.

Bei der Modellkonstruktion scheint es ein Wechselverhältnis zwischen Detailliertheit und Geschlossenheit zu geben. Analytiker, die stark detaillierte Modelle schließen und auf exogene Variablen verzichten wollen, landen gewöhnlich in einem ziemlichen Schlamassel. Bei dieser Wechselbeziehung hat sich die Linnemann-Gruppe für Detailliertheit entschieden. Sie stellen eindeutig klar, daß ihr Modell als Teilmodell gedacht ist – als Modell des Agrarsektors. Kritische Variablen wie Zuwachs des nichtlandwirtschaftlichen Bruttoinlandsprodukts, Bevölkerungszuwachs und Kunstdüngerpreis werden als exogene Variablen belassen. Die eingegebenen Werte für diese Variablen bestimmen als kritische Faktoren das Verhalten des Modells. Daher kann das Modellergebnis als Untersuchung darüber betrachtet werden, was der Agrarsektor der Welt tun würde, wenn die Weltwirtschaft diese oder jene hypothetische Wendung nähme. Die Methodologiediskussion der Modellkonstrukteure legt auf Detailliertheit größten Wert. Aus ihrem Tonfall geht hervor, daß sie ein noch detaillierteres Modell konstruiert hätten, wären ihnen nicht durch den Datenmangel die Hände gebunden gewesen. Man spürt jedoch in Anbetracht der Mühe, die sie sich zur Überwindung des Datenmangels für die Einkommensverteilung gemacht haben, während sie andererseits unbekümmert die gesamte landwirtschaftliche Erzeugung trotz des Vorhandenseins umfangreicher Daten über einzelne Feldfrüchte in Einheiten pflanzlichen Eiweißes aggregiert haben, daß die Modellkonstrukteure in der Verwendung von Aufgliederungen sehr viel wählerischer sind, als dies aus der methodologischen Beschreibung hervorgeht. Die implizit enthaltene Botschaft lautet: Desaggregieren, wenn es für das Kernproblem wichtig ist, wenn nicht, Finger davon.

Ein gewisser Versuch zur statistischen Verifizierung scheint für fast jede Gleichung des Modells gemacht worden zu sein. Dabei wurden durchgehend Querschnittsdaten benutzt.

Es wurde sehr ernsthaft versucht, eine umfangreiche Verwendung von monetären Einheiten zu vermeiden und physische Einheiten zu benutzen, wo immer das möglich war. Ertragsfunktionen beruhen auf Analysen fotosynthetischer Relationen. Der Nahrungsmittelverbrauch wird in pflanzlichen Eiweißeinheiten gemessen.

Zusammengenommen ist MOIRA ein Versuch, alle Stücke der Weltagrarszene mit bewährten alten Methoden miteinander zu verknüpfen. Die Modellkonstrukteure erheben keinen Anspruch darauf, irgend etwas Anti-intuitives entdeckt oder eine neue Methode zur Weltbetrachtung entwickelt zu haben. Statt dessen haben sie sich das bescheidenere (vielleicht realistischere) Ziel gesetzt, die Bücher über das Thema Weltagrarwirtschaft zu berichtigen.

Relevanz

Auf den ersten Blick scheint MOIRA für die Zwecke von *Global 2000* irrelevant. Mit Sicherheit ist es nicht das ideale Modell langfristiger Beziehungen zwischen Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt. Die Bevölkerung ist exogen; die Ressourcen sind im großen und ganzen ausgelassen; und das Modell macht keine direkten Aussagen über die Umwelt. Probleme wie Erosion, Wüstenausbreitung, Versalzung und Umweltverschmutzung sind völlig beiseitegelassen. Doch trotz dieser Auslassungen ist das Modell alles andere als irrelevant. Es beruht offenbar auf der sorgfältigsten Analyse der weltweiten landwirtschaftlichen Belastbarkeit, die je durchgeführt wurde. Die Modellkonstrukteure begannen ihr Projekt, indem sie – aus aktuellen UNESCO-FAO Bodenkarten von 1974 – eine detaillierte Rechnung darüber anstellten, wieviel Biomassen-Wachstum die Nationen der Welt unterhalten könnten, und welche Kapitalkosten für die Erschließung von Landflächen zur Kultivierung erforderlich seien. Wie man sich aus der Erörterung der Modelle World 2 und 3 in Kap. 29 erinnern wird, sind Agrarkapazität und die Kosten ihrer Erweiterung kritisch für die Bewertung der vermutlichen Zukunftsaussichten der Welt; die Analysen, auf die sich frühere Studien in ihren Berechnungen stützten, beruhten in hohem Maße auf Mutmaßungen.*

Die Schätzungen der potentiellen Biomasse-Produktion und Bodenerschließungskosten von MOIRA sind eingestandenermaßen zwangsläufig grob. Für die Schätzungen der potentiellen Biomasse-Produktion wurde eine Formel für das fotosynthetische Potential benutzt, mit geeigneten Abwandlungen zur Berücksichtigung regionaler Unterschiede der Bodenqualität, des Klimas, der Verfügbarkeit von Bewässerung und ähnlicher Faktoren. Die Datenbasis für solche Näherungsprozesse ist ungenau und überdies spärlich. Für einen großen Teil der Landfläche der Erde haben noch keine sorgfältigen Bodenuntersuchungen stattgefunden. Zahlreiche Annahmen müssen bei Angaben darüber gemacht werden, wieviel Boden bewässert werden kann. Die quantitative Relation zwischen dem fotosynthetischen Potential und dem Potential zur Erzeugung von Nahrungsprodukten für den menschlichen Konsum kann nur vermutet werden. Außerdem bleiben nach eigener Aussage der Modellkonstrukteure »die ökologischen Auswirkungen einer derart massiven Expansion der Agrarproduktion ziemlich ungewiß.«[4] Kein Versuch wurde gemacht, die mit Monokulturen oder der

* Eine Studie dieses Typs wurde im Zusammenhang mit dem in Kap. 18 beschriebenen GOL(Getreide, Ölsaaten, Viehbestand)-Modell durchgeführt. Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen MOIRA und GOL werden in der *Anmerkung* am Ende dieses Kapitels dargelegt.

Aufrechterhaltung der Agrarproduktion in einer ökologisch instabilen Umwelt zusammenhängenden ökologischen Probleme zu berücksichtigen.

Nichtsdestoweniger beruhen die erstellten Berechnungen auf den besten verfügbaren Daten, verwenden konsistente Verfahren und könnten systematisch repliziert und verändert werden, wenn man die zugrunde gelegten Annahmen nicht übernehmen will.

Das Modell könnte sich auch insofern als höchst brauchbar erweisen, als auch logische Schlüsse daraus gezogen werden können. Ein Geographie-Biologe könnte aufgrund der Daten, die das Modell über Intensitäten der Kultivierung erzeugt, vermutlich ein ziemlich plastisches Bild davon entwerfen, wo und wann Umweltprobleme wie Wüstenausbreitung, Erosion und andere Symptome wie Überausbeutung von Bodenressourcen wohl auftreten.

Struktur

Nach Aussagen seiner Konstrukteure ist MOIRA »ein Modell der internationalen Beziehungen auf dem Gebiet von Ernährung und Landwirtschaft, das als Verknüpfung nationaler Modelle entwickelt wird. Es beschreibt den Nahrungsmittelsektor einzelner Länder und verknüpft diese Sektoren mittels eines Gleichgewichtsmodells des internationalen Nahrungsmittelhandels. Auf nationaler Ebene werden zwei Sektoren unterschieden: Landwirtschaft und Nichtlandwirtschaft; die Entwicklungsrate des letzteren Sektors ist (größtenteils) exogen. Der Interessenkonflikt zwischen der landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Bevölkerung wird explizit berücksichtigt. Die Agrarproduktionsentscheidung wird für den Agrarsektor (einer Nation) insgesamt beschrieben; die Nahrungsmittelverbrauchsentscheidung wird pro Land für 12 Einkommensschichten modelliert, wobei auf jeden Sektor sechs Schichten entfallen. Der durchschnittliche Nahrungsmittelverbrauch pro Einkommensschicht wird mit einer landesspezifischen Nahrungsverbrauchsnorm verglichen, aus der sich der Umfang von Hunger und Unterernährung ergibt. Auf der internationalen Ebene wird der Rolle politischer Strategien der Industrienationen besondere Aufmerksamkeit gewidmet.«[5]

Die Produktionsfunktion, die für jede Nation im Modell wiederholt wird, beruht auf der Annahme, der landwirtschaftliche Sektor insgesamt gehe so vor, daß sein erwartetes Einkommen maximiert wird. Allerdings kann das tatsächliche Einkommen vom erwarteten infolge unvorhergesehener Veränderungen der Produktpreise oder anomalen Wetters abweichen.

Die sektorale Einkommensmaximierung ist natürlich als Annahme mathema-

tisch vorteilhaft, denn die Analysis ist ganz gut für die Bestimmung von Maxima. Auf die reale Welt bezogen jedoch ist die Einkommensmaximierung eine starke und optimistische Annahme. Implizit setzt sie voraus, daß (1) die Erzeuger vollständig über die Situation informiert sind – was mögliche Fehlkalkulationen über Wetter und Preise ausschließt; (2) daß die Produzenten ungehindert, bereit und in der Lage sind, ausgehend von ihrer vollständigen Informiertheit zu handeln – das heißt, daß keine institutionellen Schranken die Bauern zu ökonomisch unangemessenen Verhaltensweisen veranlassen und daß der landwirtschaftliche Sektor nicht unter der Einwirkung sozialer Werte steht, die im Widerspruch zur Gewinnmaximierung stehen (z. B. Bevorzugung von Freizeit gegenüber Gewinn, der gewinnträchtigsten Anbaumethode entgegenwirkende Vorlieben und/oder religiöse Sanktionen); und (3) sich die Wirtschaftssubjekte so verhalten, daß der sektorale (nicht individuelle) Gewinn maximiert wird, obwohl beide häufig in Konflikt miteinander geraten.

Wenn man einmal die Frage beiseite läßt, ob die sektorale Gewinnmaximierung eine realistische Annahme ist, lautet die nächste: Wie wird das sektorale Optimum berechnet? Die maximal erwarteten Gewinne treten dann ein, wenn die Differenz zwischen Produktionskosten und Einkommen (Preis × Erzeugung) am größten ist. Die im Modell aufgeführten Kosten sind Kosten für Kunstdünger und Kapital. Die Preise beider werden exogen ins Modell eingesetzt. Die Mengen werden über das Optimierungsverfahren bestimmt und berücksichtigen eine Ertragsreaktionsfunktion, die gleich beschrieben werden wird. Arbeitskräfte und Boden werden als fixe Produktionsmittel betrachtet. Pachten und Agrarlöhne werden daher nicht als Kosten gezählt, sondern als Teil des Einkommens des Agrarsektors betrachtet.

Das erwartete Einkommen ist das Produkt aus dem erwarteten Erzeugerpreis und der sektoralen Erzeugung abzüglich der Produktionskosten. Der erwartete Erzeugerpreis ist der Durchschnitt der in den letzten zwei Jahren tatsächlich gezahlten Preise. Für die Produktionskosten wird kein Sinken infolge eines nicht näher bestimmten technischen Fortschrittes angenommen. Die Erzeugung ist eine nichtlineare Funktion des Einsatzkapitals (CE), des Einsatzes von Arbeitskräften (LE), des verfügbaren Bodens (A) und von vier Koeffizienten – von denen einer (YASY) das maximale fotosynthetische Potential der Region und drei (α, β, γ) die Gestalt der Kurve beschreiben, auf der sich die Erzeugung bei Anwendung geeigneter Einsatzfaktoren diesem Potential annähern wird.* Da Arbeit und

* Die verwendeten Gleichungen lauten:

$$Y = \frac{YASY\ Z}{YASY + Z}$$

$$Z = \alpha\left(\sqrt{\frac{CE}{A} + \beta} - \sqrt{\beta}\right) + \gamma\frac{LE}{A}$$

dabei sind Y = Erträge (yields), Z = Ertragsreaktionsfaktor, α, β, und γ sind Koeffizienten, A = Boden (land available), CE = Einsatzkapital (capital employed), LE = eingesetzte Arbeit (labor employed) und YASY = maximales fotosynthetisches Potential (im nationalen Durchschnitt).

Boden als fixe Einsatzfaktoren betrachtet werden, ist das Kapital der einzige Faktor, den die Erzeuger in ihrem Bestreben nach Einkommensmaximierung variieren können. (Der Kunstdüngerverbrauch wird im Modell als abhängige Funktion des Ertrags bestimmt; durch Variierung des Kapitals variiert automatisch auch der Kunstdüngerverbrauch).

Die Koeffizientenwerte für die Funktion wurden statistisch errechnet, doch waren die erwünschten Daten nicht immer verfügbar, und einige ziemlich skizzenhafte Stellvertreter mußten verwendet werden. So zum Beispiel mußten Daten über Traktoren zur Darstellung des Einsatzkapitals herhalten.[6]

Die Erzeugung, bestimmt durch die Produktionsfunktion des Erzeugers, wird außerdem vom Wetter verändert. Die vorgenommenen Veränderungen beruhen auf der Annahme, daß die zukünftigen Wetterstrukturen wahrscheinlich denen der Vergangenheit ähneln. Ergänzt wird die Annahme durch Verwendung exogener Dateneingaben, die den Produktionsfunktionen Ertragsschwankungen überlagern, die historisch beobachtete (hauptsächlich vom Wetter verursachte) jährliche Ertragsschwankungen replizieren.

Nach der üblichen Art von Marktmodellen gleicht MOIRA nach Erreichnung des Angebots dieses gegen die Nachfrage aus. Doch sind die Modellkonstrukteure nicht so naiv, dies direkt zu tun. Sie erkennen an, daß häufig ein großer Unterschied zwischen den landwirtschaftlichen Feldfrüchte-Produkten – der von ihrem Modell errechneten Erzeugung – und der realen Nachfrage nach Nahrungsmitteln besteht. Erstens wird ein großer Teil der Pflanzenerzeugung vieler Regionen als Viehfutter verwendet. Zweitens ist der Umfang der für die Nahrungsmittelverarbeitung in den entwickelten Volkswirtschaften auf dem entsprechenden Sektor entwickelten Wirtschaftstätigkeit vergleichbar mit der Wirtschaftstätigkeit in den landwirtschaftlichen Betrieben. Daher fügen sie die Nachfrage in zwei Stadien ins Modell ein: die Nachfrage nach Pflanzeneiweiß, und die Nachfrage für Verarbeitung. Beides sind Funktionen des realen Pro-Kopf-Einkommens. Da das Realeinkommen eine Funktion der Preise für Nahrungsmittel und andere Güter ist, ist die Nachfrage (die selbst eine Funktion des realen Einkommens ist) teilweise eine Funktion der Nahrungsmittelpreise. Die Nachfragefunktionen für Nahrungsmittelverarbeitung wurden getrennt für landwirtschaftliche und nichtlandwirtschaftliche Bevölkerungsteile in 103 Nationen errechnet. Die Eiweißnachfrage wird außerdem für jede der sechs Einkommensgruppen der landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Bevölkerungsteile errechnet, wodurch das Modell auf über 1000 Nahrungsmittelnachfrage-Gleichungen kommt.

In den verwendeten Formulierungen ist die Verbrauchsnachfrage statisch und die Verarbeitungsnachfrage dynamisch. Der Verbrauch, gemessen in Pflanzeneiweiß-Einheiten, wird durch das Realeinkommen zu dem Zeitpunkt bestimmt, für

den es errechnet werden soll. In dem Umfang, in dem Nahrungsmittel verarbeitet werden, werden Grenzen gesetzt durch das Tempo, in dem Nahrungsmittelverarbeitungsindustrie wachsen kann. Daher ist die Verarbeitungsmenge pro Einheit verbrauchter Nahrungsmittel in einem Jahr eine Funktion der Verarbeitungsmenge pro Nahrungseinheit im Vorjahr zusätzlich der durch mit Einkommensveränderungen zusammenhängenden Nachfrageveränderungen bewirkten zusätzlichen Verarbeitungsmenge. Zusammen mit den Kräften von Angebot und Nachfrage bewirken Steigerungen der Nahrungsmittelverarbeitung Veränderungen der Nahrungsmittelpreise. Steigerungen der Nahrungsmittelpreise wirken zurück im Sinne einer Senkung des realen Einkommens und reduzieren damit die Nahrungsmittelnachfrage. Um den Nahrungsmittelverbrauch in allen oben beschriebenen Funktionen in Relation zum Einkommen zu setzen, werden Quadratgleichungen benutzt.

Angebot und Nachfrage nach pflanzlichem Eiweiß wirken über den folgenden Modellmechanismus aufeinander ein. Die sechs landwirtschaftlichen Einkommensgruppen in jedem Land entnehmen von der von ihnen produzierten Gesamtmenge diejenigen Mengen, die sie ihren Einkommen nach verbrauchen sollten. Die verbleibenden Produkte werden auf den Markt gebracht. Binnenmärkte schotten sich gegenüber den internationalen Märkten durch Zölle oder Subventionen ab, die im Modell durch Kombination einer Reihe von Strukturkonstanten und -variablen bestimmt werden, die das Pro-Kopf-Einkommen im Agrarsektor, den Anteil der Landwirtschaft und das BIP angeben. Allerdings ist die Abschottung unvollständig, was einesteils daran liegt, daß importierte Nahrungsmittel Weltmarktpreise haben, und andrenteils daran, daß die Modellkonstrukteure einen »Sicker-Effekt« berücksichtigt haben, der die Binnenmarktpreise tendenziell in Richtung der Weltmarktpreise treibt. Der Weltmarkt bilanziert die Summe der Ziffern der Überschußproduktion aller Nationen gegen die Summe der Ziffern der unbefriedigten Nachfrage. Das Gleichgewicht bestimmt den Weltmarktpreis, der wiederum den Binnenmarktpreis beeinflußt. Das alles wird durch Simultangleichungen erreicht. Daher kann nicht gesagt werden, daß ein Faktor Rückwirkungen auf einen anderen hat, sondern alle sind simultan bestimmt und stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander.

Die Preisinformation wiederum wird zum Eingabedatum für die Produktionsentscheidung des Erzeugers, die wiederum das Angebot bestimmt. Dies erfordert eine echte dynamische Rückkopplung, da die Produktionsentscheidungen auf der Grundlage der Vorjahrespreise gefällt werden.

Der Produktmarkt wird durch einen Mechanismus für die Wanderung von Arbeitskräften ergänzt, der auf den Unterschied zwischen landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Einkommen reagiert. Tatsächlich vollführt dieser Mechanismus insofern, daß er das landwirtschaftliche Arbeitskräfteangebot in

einem Jahr mit dem landwirtschaftlichen Arbeitskräfteangebot im nächsten Jahr verbindet, einen negativen Regelkreis. Wenn das landwirtschaftliche Arbeitskräfteangebot zu knapp wird, führt es zu einer Verringerung der landwirtschaftlichen Produktion und damit zu einer Steigerung der Produktpreise. Höhere Preise erzeugen höhere landwirtschaftliche Einkommen, und diese bremsen tendenziell die Abwanderung von Arbeitskräften aus der Landwirtschaft, womit sie tendenziell die landwirtschaftliche Arbeitskraft stabilisieren und die landwirtschaftlichen Einkommen auf gleichem Niveau wie die anderen halten. Doch müßte für die Art und Weise, wie das Modell normalerweise gerechnet wird – mit einem exogen eingebrachten Einkommenszuwachs von 4% in den Industrienationen und von 7% in den unterentwickelten Ländern – der Regelkreis sehr stark sein, um das angestrebte Gleichgewicht zu erreichen. Der Regelkreis ist am stärksten, wenn die Erlöse für Einsatz von Arbeitskräften ziemlich hoch sind – d. h. in landwirtschaftlichen Sektoren mit Arbeitskräfteknappheit. Daher kann er seine Aufgabe, ein Gleichgewicht zwischen landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Einkommen herzustellen und damit der Abwanderung von Arbeitskräften aus dem landwirtschaftlichen Sektor Einhalt zu gebieten, in weniger dicht besiedelten Weltregionen mit geringerer Intensität der Landwirtschaft am ehesten erfüllen.

Das Schema der Modellkonstrukteure für die Hauptvariablen ihres Modells geht aus Fig. 27-1 hervor. Eingezeichnet in ihr Diagramm ist die umfassende Verallgemeinerung der in der Struktur implizit enthaltenen Kausalströme durch *Global 2000.*

In welche Operationsweisen fällt die Struktur? Wenn das Modell gerechnet wird, wird die Nachfrage regelmäßig durch das Bevölkerungswachstum und durch Einkommenssteigerung (die beide exogen generiert sind) nach oben gedrückt. Steigende Nachfrage führt zu steigenden Preisen, die ein zusätzliches Angebot simulieren; allerdings steigt das Angebot infolge der mit dem zusätzlichen Angebot zusammenhängenden Kosten langsamer als die Nachfrage. Weil das Modell die Einkommensverteilung berücksichtigt, wirkt sich das Steigen der Preise auf ganz verschiedene Menschen aus, von denen einige sich Nahrungsmittel zum geltenden Marktpreis leisten können – und andere nicht. Diese Situation führt dazu, daß viele Menschen weniger Nahrungsmittel »nachfragen«, als sie tatsächlich brauchen. Deutlicher ausgedrückt: in Relation zum Einkommen hohe Nahrungsmittelpreise führen dazu, daß Menschen hungern. Das Modell addiert die Gesamtmenge, um die die Nachfrage unter dem Bedarf liegt, und gelangt so zu einem Index der Größenordnung des Hungers in verschiedenen Nationen und in der Welt insgesamt.

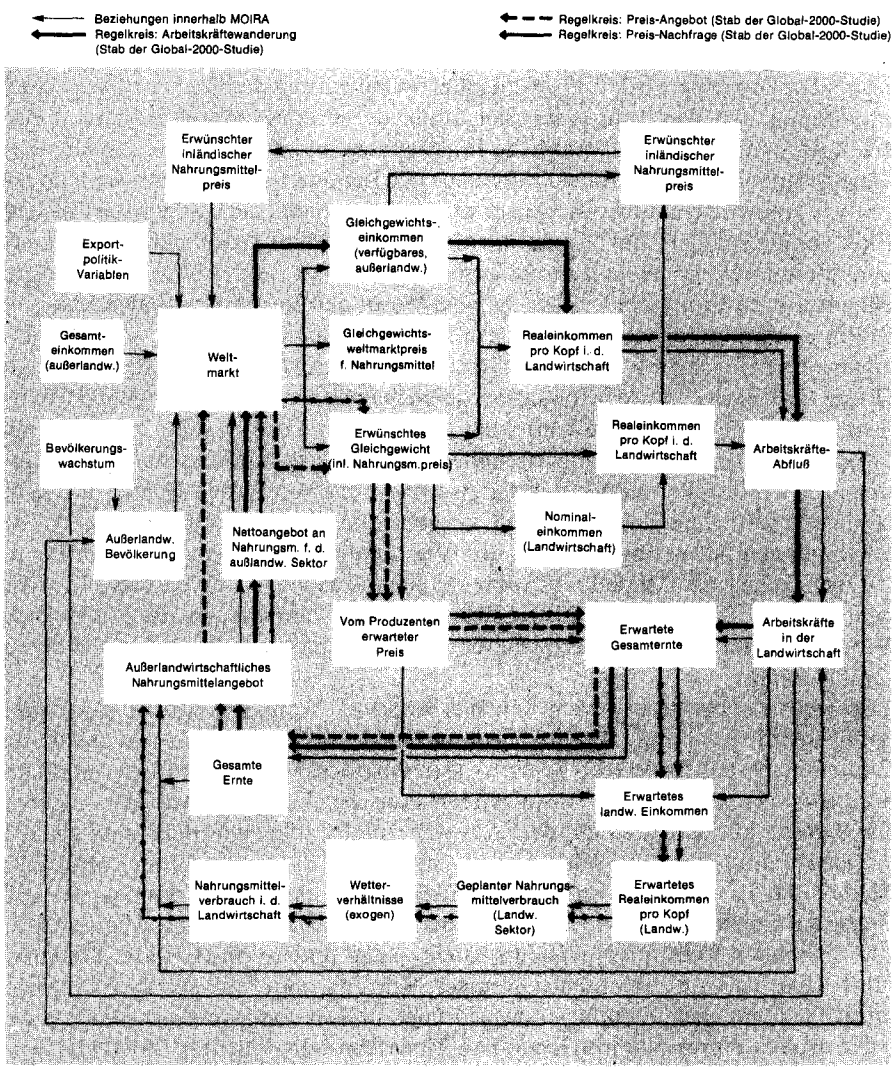

Fig. 27-1. Kanäle kausalen Einflusses und die wichtigsten Rückkopplungskontrollen in MOIRA. (*Hans Linnemann,* Moira: A Model of International Relations in Agriculture, *erscheint demnächst*).

Überprüfung und Validierung

Ein großer Teil von MOIRA ist um statistisch errechnete Parameter herumkonstruiert. Diese werden häufig im Text dargestellt, zusammen mit Parametern wie R^2 und t-Statistiken, die gewisse Anhaltspunkte für die statistische Validität geben, doch sind sie – zumindest in den für *Global 2000* zur Verfügung gestellten Entwurf – über den ganzen Text verteilt und nicht systematisch an einer Stelle dargestellt. Daher steht man beim Versuch, das Modell insgesamt auf seine statistische Validität zu beurteilen, vor einer mühsamen Aufgabe. Bei den Schätzungen des maximalen Agrarpotentials, das mehr oder minder deduktiv über theoretische Modelle des fotosynthetischen Potentials und nicht induktiv durch beobachtete Daten errechnet wurde, geschieht die Validierung durch Darstellung von Ernteertragsstatistiken aus verschiedenen Regionen, aus denen hervorgeht, daß der theoretisch berechnete Ertrag mit den beobachteten Tatsachen einigermaßen übereinstimmt. Das folgende Zitat ist repräsentativ: »Simpson (1967) berichtet einen maximalen Weizenertrag im Nordwesten der USA von 14,5 Tonnen pro Hektar, für die wir 15-18 Tonnen Getreideäquivalent errechneten«.[7] In dem für die vorliegende Studie durchgesehenen Entwurf wird das Modell nicht durch einen Vergleich seiner Rechendaten mit dem historischen Verhalten validiert. Das heißt, daß es keine Gewährleistung der Fähigkeit des Modells gibt, historisches Verhalten zu replizieren außer der Tatsache, daß es unter Verwendung der Zeitreihendaten 1965-72 für kritische Variablen justiert worden ist.

Keine Informationen waren zugänglich über den Gesamtumfang der Überprüfungen des Modells. In der vorhandenen Dokumentation werden zwei Arten von Prüfungen berichtet. Zunächst findet eine Überprüfung der Empfindlichkeit des Modells gegenüber angenommenen exogenen Veränderungen statt – insbesondere bei verschiedenen Zuwachsraten des Einkommens in der nichtlandwirtschaftlichen Bevölkerung und bei verschiedenen Zuwachsraten der Bevölkerung ebenso wie bei einer Veränderung der Einkommensverteilung.[8] Zweitens gibt es eine Überprüfung mit normativer Absicht – die insbesondere nach politischen Maßnahmen Ausschau hält, die geeignet wären, den Hunger in der Welt zu lindern. Zu den in diesen Simultationen getesteten Maßnahmen gehört eine Verringerung des Nahrungsmittelverbrauchs in den reichen Ländern, Nahrungsmittelhilfen in großem Maßstab, Marktstabilisierung, Handelsliberalisierung und Preisstrategien auf dem Weltnahrungsmittelmarkt.

Die Darstellung dieser Prüfungen des Modells auf Empfindlichkeit und politische Strategien durch die Modellkonstrukteure ist bei zwei Punkten anerkennenswert klar, wo viele ihrer Kollegen bei der Interpretation ihrer Modellergebnisse in die Irre gehen. Zunächst wird Genauigkeit nicht mit

Richtigkeit verwechselt. Die Modellkonstrukteure warnen ihre Leser sogar eindringlich:

»Angesichts der Unzulänglichkeiten von MOIRA als Modell der wirklichen Welt sollten die zahlenmäßigen Ergebnisse nicht zu *wörtlich* genommen werden. Die scheinbar *harten* Zahlen und ihre Variationen im Zeitverlauf dürfen nur als Hinweis auf Tendenzen interpretiert werden, die sich in der Welternährungssituation nur unter spezifischen Annahmen manifestieren werden – und dem Leser wird aufgefallen sein, daß viele ad hoc-Annahmen gemacht werden mußten.«[9]

Zweitens zeigen verbale Beschreibungen der Modellergebnisse ein klares Bewußtsein darüber, wie weit das Modellverhalten eine Funktion der Modellstruktur ist. Es ist erfrischend, daß die verbreitete Neigung fehlt, das Modell mit der Wirklichkeit zu verwechseln. So geben die Modellkonstrukteure zum Beispiel bei der Erörterung, warum hohe Preise in einer bestimmten Simulation in Lateinamerika nicht größere Produktionssteigerungen auslösen, als Grund dafür folgendes an: »Unter den Annahmen des Standardlaufs . . . kommt die lateinamerikanische Zuwachsrate der Produktion nahe an die Obergrenze des Produktionszuwachses von 4% jährlich heran, der in MOIRA eingebaut ist. Diese Grenze . . . beugt zusätzlichen Effekten aus weiteren Steigerungen des Produktionswachstums vor.«[10]

In einigen Fällen wurden auch analytische mathematische Verfahren benutzt, um die Empfindlichkeit des Modells zu prüfen. Insbesondere wurden teilweise Ableitungen einiger Funktionen des Modells zur Gewinnung von Informationen über Multiplikatoreffekte genommen. Dies erfolgt sporadisch durch die ganzen Kapitel zur Beschreibung der Modellstruktur und wird nicht systematisch so dargestellt, daß der Leser leichte Vergleiche anstellen oder systematische Schlüsse ziehen kann.

Annahmen und Schlußfolgerungen

Wenn man MOIRA auf die Wirklichkeit überträgt, geht das Modell von den folgenden Annahmen über die Eigenschaften der Welt aus:

- Die Landwirtschaft operiert unabhängig von der übrigen Welt mit Ausnahme der äußeren Einflüsse des nichtlandwirtschaftlichen BIP-Wachstums und des Bevölkerungszuwachses. Insbesondere wird die Landwirtschaft nicht von Schulden, Überschüssen und Handelsungleichgewichten beeinflußt, die sich aus Ölimporten und -exporten ergeben; außer den bereits in den historischen Ertragsreaktionsstatistiken ausgedrückten treten keine ökologischen Probleme

auf; und eine radikale Verschiebung der landwirtschaftlichen Technologie findet nicht statt.

- Die Weltmarktpreise für Nahrungsmittel werden durch Konkurrenzgleichgewicht festgesetzt. Die Binnenmarktpreise werden durch Zollpolitik verändert, spiegeln aber ebenfalls den Weltmarktpreis wieder.
- Der Nahrungsmittelverbrauch ist eine Funktion von Preis und Einkommen. Implizit werden die Armen, wenn sie reicher werden, das in den gegenwärtig wohlhabenden Nationen zu beobachtende Muster zunehmenden Fleischverbrauchs nachahmen. Außerdem werden die Reichen weiterhin tierisches Eiweiß dem pflanzlichen vorziehen.
- Das Schema der mathematischen Relationen, d. h. die von den Modellkonstrukteuren angenommenen konstanten Produktionsparameter, ist zutreffend und wird bis zum Jahre 2010 oder bis zum jeweils gewünschten Prognosejahr unverändert bleiben.
- Der landwirtschaftliche Sektor insgesamt funktioniert so, daß die erwarteten sektoralen Gewinne maximiert werden.

MOIRA ist auf zweierlei Art geprüft worden, was zu zwei Arten von Schlußfolgerungen führt. Empfindlichkeitstests führen zu Schlußfolgerungen über das Verhalten des Agrarsektors unter verschiedenen Strukturen des nichtlandwirtschaftlichen Einkommenszuwachses, des Bevölkerungswachstums und der Einkommensverteilung. Tests über politische Maßnahmen führen zu Schlußfolgerungen darüber, wie die verschiedenen Instrumente der Politik tendenziell Agrarpreise und -produktion und wichtiger noch die Linderung des Welthungers beeinflussen können.

Der Standardlauf, mit dem alle anderen Läufe verglichen werden, unterstellt eine »relativ hohe« Wachstumsrate des nichtlandwirtschaftlichen BIP. Dieser Lauf zeigt etwas mehr als eine Verdoppelung der Nahrungsmittelproduktion bis zum Jahre 2000, und eine Zunahme des durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauchs an Nahrungsmitteln von 50 kg eßbarem Eiweiß im Jahre 1975 auf 68 kg im Jahre 2000. Wie jedoch die Modellkonstrukteure betonen, geht mit diesem scheinbar vorteilhaften Ergebnis eine kräftige Zunahme der Anzahl von Menschen einher, die Hunger leiden (der als Aufnahme von weniger als zwei Dritteln des biologischen Eiweißbedarfs definiert ist). Die Anzahl Hungernder in der Welt wird sich von 350 Millionen 1975 auf 740 Millionen im Jahre 2000 und auf 1160 Millionen im Jahre 2010 vermehrt haben. Gleichermaßen wird das Gesamternährungsdefizit im Zeitraum 1975-2000, gemessen in nicht konsumiertem Eiweißbedarf, von 2,9 Mrd. auf 6,2 Mrd. Kilogramm zugenommen haben. Die obigen Trends sind von einer beträchtlichen Verstärkung der Rolle Nordamerikas als Nahrungsmittelexporteur und einem Rückgang der landwirtschaftlichen Autarkie in den meisten anderen Regionen begleitet.[11]

Empfindlichkeitstests wurden durchgeführt, indem abwechselnd die Zuwachsraten des nichtlandwirtschaftlichen BIP und die der Bevölkerung um die Hälfte reduziert wurden. Bei einem verlangsamten Zuwachs des nichtlandwirtschaftlichen Einkommens stiegen die nachgefragten Mengen an Nahrungsmitteln und damit die Nahrungsmittelpreise langsamer. Neben vielen anderen Verästelungen hatte dieses Szenario im Durchschnitt auch 35% mehr Hunger zur Folge als der Standardlauf.[12] Eine Halbierung der Bevölkerungszuwachsraten bei der Beibehaltung der zuvor angenommenen Wachstumsraten des BIP führte zu beträchtlich geringeren Nahrungsmittelpreisen als im Standardlauf und damit zu einer relativen Depression im Agrarsektor gegenüber dem Nichtagrarsektor. Allerdings ging damit auch der Hunger zurück. In diesem Szenario war der durchschnittliche Umfang des Hungers im Zeitraum 1975-2010 etwa 30% weniger als im Standardlauf.

Ein weiterer Empfindlichkeitstest wurde damit durchgeführt, daß die Ungleichheit des Einkommens im nichtlandwirtschaftlichen Sektor im Verlauf des Zeitraums 1975-2010 allmählich um etwa die Hälfte reduziert wurde. Diese Veränderung führte zu einer großen Steigerung der Nachfrage nach Nahrungsmitteln. Damit steigerte sie die Preise, stimulierte die Produktion in Regionen mit beträchtlichen landwirtschaftlichen Reservekapazitäten und erhöhte den Bedarf an Nahrungsmittelimporten in Regionen wie Südasien, wo die Kosten von Produktionssteigerungen außerordentlich hoch wären. In diesem Szenario wurde der Welthunger bis zum Zeitpunkt 1990 (bis zu dem die Einkommensunterschiede beträchtlich eingeebnet waren) auf etwa die Hälfte des Hungers im Standardlauf reduziert.[13]

In den Überprüfungen der politischen Strategie wurden vier grundlegende politische Maßnahmen ausprobiert und nach ihrem Erfolg bei der Milderung des Welthungers bewertet.[14] Hierzu gehörten zwei Maßnahmen, mit denen eine Umverteilung der verfügbaren Nahrungsmittel in der Welt erreicht werden sollte:

- Eine Verringerung des Nahrungsmittelverbrauchs durch die reichen Länder;
- Nahrungsmittelaufkäufe durch eine internationale Ernährungshilfe-Organisation (finanziert von den reichen Ländern), die diese Nahrungsmittel an die unterernährten Bevölkerungsgruppen verteilt.

Die anderen beiden Maßnahmen sollten die Nahrungsmittelproduktion in den unterentwickelten Ländern stimulieren:

- Regulierung des Weltnahrungsmittelmarkts durch Stabilisierung der internationalen Preise (das auf dem Weltmarkt angestrebte Preisziel war eine politische Variable, deren Einfluß getestet worden war);
- Der Effekt, den eine Liberalisierung des Welthandels auf die Entwicklung der Welternährungssituation haben würde.

Aufgrund der Ergebnisse der einzelnen Tests von politischen Strategien wurden Kombinationen politischer Maßnahmen entworfen, um das Maßnahmepaket zu finden, das dem Weltnahrungsmittelangebot am besten über den Simulationszeitraum hinweghelfen würde.

Um es kurz machen, man stellte fest, daß sowohl die Senkung des Nahrungsmittelverbrauchs der reichen Länder als auch die Liberalisierung des Welthandels zu niedrigeren Nahrungsmittelpreisen, abnehmenden Anreizen für landwirtschaftliche Produktion und Zunahmen des Welthungers insgesamt führen würden. Auf der anderen Seite wurde festgestellt, daß Ernährungshilfen auf einem Niveau, das etwa 0,5% des BSP der reichen Nationen in Anspruch nehmen würde, den Hunger vollständig beseitigen könnte, sofern die Nahrungsmittel zu geltenden Marktpreisen gekauft und dann verschenkt würden.[15] Außerdem ergab sich die Schlußfolgerung, daß die Beibehaltung hoher und stabiler Agrarmarktpreise die Produktion in den armen Ländern in einem Umfang anregen würde, der den Welthunger verringern, wenn auch nicht beseitigen könnte. Logischerweise tendierten hohe Nahrungsmittelpreise dahin, die Armut in der Landwirtschaft zu verringern, aber den Hunger in den nichtlandwirtschaftlichen Sektoren zu vermehren.

Das politische Maßnahmenpaket, das die Modellkonstrukteure als wirksamstes ermittelten, enthält drei Elemente; Preisstabilisierung, Ernährungshilfen und Preisniveaupolitik. Aus der Dokumentation geht eindeutig hervor, daß sich die Modellkonstrukteure bewußt waren, daß sie weit verbreiteten Vorstellungen in der Schlußfolgerung widersprechen, daß die Ernährungshilfe nicht auf die Agrarpreise drückt, wohl aber die Liberalisierung des Welthandels. Sie schließen eine längere Erörterung der operativen Effekt von Ernährungshilfe mit den folgenden einschränkenden Bemerkungen:

»Solange die reichen Länder fähig und bereit sind, die zum Aufkauf von Nahrungsmitteln für Unterstützungszwecke erforderlichen Mittel bereitzustellen, und sofern diese Transaktionen nicht einen großen Teil der gesamten Transaktionen des Weltmarkts ausmachen, gibt es wenig Möglichkeiten eines Konflikts zwischen dem Ziel eines stabilen und relativ hohen Weltmarktpreises für Nahrungsmittel einerseits und der (nur an Menschen unterhalb der Ernährungsnorm ausgegebenen) internationalen Ernährungshilfe andererseits.«[16]

Dokumentation

MOIRA hat zwei Dokumentationsschübe erlebt. Der erste erfolgte während der Erstellung eines Aufsatzes, der im September 1975 auf einem Symposium

über die gemeinsam vom United Nation Environment Programme und vom International Institute for Applied Systems Analysis finanzierten Symposien vorgelegt werden sollte.[17] Danach wurde die Dokumentation über MOIRA erweitert und revidiert und dürfte irgendwann 1978 in Buchform erscheinen. Die MOIRA-Studie steht vor einem weiteren Problem: um für mehr als die relativ kleine Zahl holländisch lesender Menschen zugänglich zu sein, muß sie erst noch übersetzt werden.

Das MOIRA-Manuskript wurde Global 2000 in verschiedenen Stadien der Fertigstellung vom ersten bis zum dritten Entwurf zur Verfügung gestellt. Zum größten Teil enthält es Faktenberichte über die Inhalte, Annahmen und Rechendaten des Modells. Versuche, eine MOIRA-Philosophie zu interpretieren, zu dramatisieren oder zu konstruieren, werden im Manuskript auf die Einleitung verwiesen, werden aber vielleicht später im Schlußkapitel aufgenommen. Der Hauptteil des Werks wendet sich an den Fachmann. Dennoch enthält er umfangreiche elementare Wirtschaftstheorie, mit der die meisten Leser bereits vertraut sein werden.

Obwohl der Text ein gutes Grundverständnis der Funktionsweise des Modells bietet, ist er zur Rekonstruktion des Modells und zur Überprüfung seiner Rechendaten alles andere als adäquat. Dafür müßte man sich vermutlich die Computerprogramme von den Modellkonstrukteuren holen, und es ist ungewiß, ob diese Programme dann so dokumentiert wären, daß sie von anderen Personen als ihren Entwerfern benutzt werden können. Zumindest im Manuskript ist die Dokumentation des Modells für die Zwecke des Benutzers nicht gut geordnet. So zum Beispiel fehlt eine vollständige Aufzählung der Gleichungen und Variablen-Definitionen, und der Leser muß streckenweise nachblättern, um die Definition für Variablen zu finden, deren Bedeutung er inzwischen vergessen hat.

Anmerkung: MOIRA hat starke strukturelle Ähnlichkeit mit dem in Kap. 19 beschriebenen GOL(Getreide, Ölsaaten, Viehbestand)-Modell. Der bedeutendste Unterschied zwischen den zwei Modellen liegt in den von ihnen vorgenommenen Desaggregierungen (Aufgliederungen). GOL desaggregiert Feldfrüchte, während MOIRA die gesamte landwirtschaftliche Erzeugung in Einheiten von Pflanzeneiweiß mißt. MOIRA desaggregiert die Verbraucher in 12 Einkommensgruppen, während GOL alle Verbraucher in eine einzige Einkommensschicht aggregiert. MOIRA befaßt sich mehr mit dem Wohlergehen der Menschheit, und GOL mehr mit den Einzelheiten des Produktenhandels. MOIRA unterscheidet sich von GOL auch insofern, als es mehr geographische Einheiten berücksichtigt – genau 106.

Abgesehen von diesen Unterschieden sind sich die beiden Modelle insofern ähnlich, als beide in multiple geographische Regionen aufgegliederte Weltmodelle darstellen. Beide sind Modelle des Agrarsektors. Beide gingen von Schätzungen

des maximalen Produktionspotentials für die von ihnen erfaßten geographischen Einheiten aus. Beide stützen sich in ihren Formulierungen stark auf ökonomische Theorien, und beide sehen die Welt kontrolliert durch Angebot, Nachfrage und Preise des Markts. Beide betrachten gleichermaßen den Zuwachs des nichtlandwirtschaftlichen Einkommens und der Bevölkerung als exogene Variablen.

Anmerkungen

1. Hans Linnemann, *MOIRA: A Model of International Relations in Agriculture*, forthcoming (probably Amsterdam: North Holland Publishing Co.), Ch. 1, pp. 2, 3. (Chapter and page references are to the drafts supplied to the Global 2000 Study by the Food for a Doubling World Population Project, Institute for Economic and Social Research, Free University, Amsterdam.)
2. Ibid., Ch. 1, p. 3.
3. Potomac Associates, Inc., Memorandum, June 20, 1973. Subject: Foreign editions of *The Limits to Growth*.
4. Linnemann, Ch. 1, p. 9.
5. Ibid., Ch. 1, p. 4.
6. Ibid., Ch. 4.
7. Ibid., Ch. 2, p. 51.
8. Ibid., Ch. 10.
9. Ibid., Ch. 10, p. 10.
10. Ibid., Ch. 10, p. 9.
11. Ibid., Ch. 1, appendix, p. 10a, run 111.
12. Ibid., Ch. 10, p. 4.
13. Ibid., Ch. 10, p. 10.
14. Ibid., Ch. 11, p. 5.
15. Ibid., Ch. 11, p. 8.
16. Ibid., Ch. 11, p. 21.
17. Gerhart Bruckmann, ed., "MOIRA: Food and Agriculture Model," *Proceedings*, Third IIASA Symposium on Global Modelling, Sept. 22–25, 1975, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Feb. 1977.

28 Das lateinamerikanische Weltmodell

Eine der beunruhigendsten Fragen, die die Arbeit von Donella und Dennis Meadows und Jay W. Forrester aufwarfen, war die folgende: »Was geschieht mit den Armen und den armen Nationen der Erde, wenn die natürlichen Grenzen das Wachstum bremsen?« Die Forschungsgruppe von Meadows war eindeutig beunruhigt über dieses Problem. Im letzten Kapitel von *Die Grenzen des Wachstums* meinen sie (S. 161), daß ein Gleichgewicht für die Armen vielleicht gar nicht so schlecht sei: »Es könnten sich auch neue Freiheiten ergeben; allgemeine und unbeschränkte Erziehung, Freizeit für schöpferische Tätigkeit und vor allem Freiheit von Hunger und Armut, die gegenwärtig nur ein recht kleiner Teil der Weltbevölkerung genießt.«[1] Das Modell von Mesarovic-Pestel läßt den Armen weniger Hoffnung. In ihm sind reiche und arme Nationen getrennt voneinander gruppiert. Bei dieser Darstellungsform und den Strukturannahmen des Modells scheint es kein realistisches Mittel zu geben, massive Hungerkatastrophen in Südasien zu vermeiden.

Das lateinamerikanische Weltmodell entsprang aus der Weigerung vieler Menschen in der Dritten Welt, Szenarien zu akzeptieren, welche nahelegen, daß genau das von ihnen als Rettung vor ihrer Armut erhoffte Wachstum bald an natürliche Grenzen stößt. Die Grundaussage dieses Modells lautet, Forrester, Meadows und Mesarovic-Pestel hätten die falschen Fragen gestellt. Die Kernfrage in den Augen der Entwerfer des lateinamerikanischen Weltmodells ist nicht »was geschieht, wenn die jetzt geltenden Strukturen in der Welt um 20 oder 100 Jahre weiter in die Zukunft geschoben worden sind?«, sondern vielmehr »wie können die Ressourcen der Welt am effektivsten eingesetzt werden, um das Los aller Menschen zu verbessern?«

Das Modell geht von der Annahme aus, daß eine gut funktionierende und auf den Menschen orientierte Gesellschaft in ihrer Bewirtschaftung der Ressourcen umsichtig genug sein wird, nicht an natürliche Grenzen zu stoßen. Nach Ansicht der Modellkonstrukteure sind die Ökologie- und Ressourcenprobleme, vor denen die Welt gegenwärtig steht, nicht naturnotwendig mit dem Prozeß der Erfüllung der Bedürfnisse einer wachsenden Bevölkerung verbunden, sondern das Ergebnis des westlichen Materialismus. Sie schrieben dazu:

»Die Hauptprobleme, vor denen die Welt steht, sind nicht physischer, sondern soziopolitischer Art. Diese Probleme beruhen auf der ungleichen Verteilung von Macht sowohl innerhalb der Nationen als auch zwischen ihnen. Das Ergebnis ist

Unterdrückung und Entfremdung, die hauptsächlich auf Ausbeutung beruhen. Der Verfall der physischen Umwelt ist nicht die unvermeidliche Folge des menschlichen Fortschritts, sondern das Ergebnis einer Gesellschaftsorganisation, die hauptsächlich auf destruktiven Werten beruht.«[2]

Die Ursprünge des lateinamerikanischen Weltmodells sind im Vorwort zur Dokumentation über diese Arbeit wie folgt beschrieben:

»Die Idee zum Bau dieses Modells entstand 1970 auf einer Konferenz unter Schirmherrschaft des Club of Rome und des Instituto Universitario de Pesquisas de Rio de Janeiro. Die Konferenz war zur Analyse und Diskussion von ›Model World III‹ abgehalten worden, das von einer von Dennis L. Meadows geleiteten Forschungsgruppe am Massachusetts Institute of Technology konstruiert worden war. Aus dieser Konferenz ging die Entscheidung der anwesenden Lateinamerikaner hervor, die Fondación Bariloche in Argentinien mit der Konstruktion eines Modells auf der Grundlage der während der Debatte geäußerten Standpunkte zu beauftragen.

Ein Ausschuß mit Carlos A. Mallmann, Jorge Sábato, Enrique Oteiza, Amilcar O. Herrera, Helio Jaguaribe und Osvaldo Sunkel wurde eingesetzt, um die allgemeinen Ziele des Projekts zu skizzieren und seine Durchführung zu veranlassen. Die ersten vier Ausschußmitglieder erstellten sodann Ende 1971 ein Dokument, in dem die im Modell zu benutzenden Hypothesen und Variablen festgehalten waren. Bei einer späteren Konferenz aller Ausschußmitglieder und allen Spezialisten wurden die allgemeinen Merkmale des zu bauenden Modells festgelegt.

Auf diese Weise wurden der Gesellschaftstyp – egalitär, unter demokratischer Beteiligung und nicht auf Verbrauch orientiert – der Begriff der Grundbedürfnisse und seine zentrale Rolle im Modell, die Vollendung einer Projektionsfunktion mit Substitution zwischen Kapital und Arbeit, die Kriterien zur Behandlung der Probleme von natürlichen Ressourcen, Energie und Umweltverschmutzung und die Aufteilung der Welt in zwei Regionen definiert.«[3]

Methode

Bei der Modellkonstruktion ist es wünschenswert, daß die Methoden zum Zweck passen. Es ist angemessen, daß das lateinamerikanische Weltmodell, das einen gangbaren Weg zur Erfüllung der menschlichen Grundbedürfnisse aufzeigen will, andere Methoden als seine Vorläufer benutzt, welche Verhaltenstendenzen der derzeitigen Weltordnung untersuchten. Das lateinamerikanische Modell verwendet optimale Regeltechniken, d. h. es ist ein mathematisches Hilfsmittel,

das sich den »besten« Pfad zu einem Ziel sucht – in diesem Fall Erhöhung der Lebenserwartung.

Vom Begriff her ist die Optimierung eine einfache Methode. Im lateinamerikanischen Weltmodell ist sie ziemlich komplex. Die mathematischen Formulierungen, die die Modellkonstrukteure zur Beschreibung des Funktionsmechanismus der Welt benutzen, machen es so gut wie unmöglich, die optimale Lösung auszumachen. Zur normalen Art, ein Optimierungsproblem zu lösen, gehört die Aufstellung analytischer Gleichungen für eine Reliefkarte möglicher Lösungen und die Verwendung eines Computers zum Absuchen der Hänge und Grate dieser Karte, um ihren höchsten oder tiefsten Punkt zu finden. Doch haben die Modellkonstrukteure ihre Darstellung der Welt so formuliert, daß sie rechnerisch weder differenzierbar noch ausdrückbar ist. Sie haben sich ein Relief vorgestellt, auf dem man nicht immer Hänge finden kann. Außerdem kann dieses Relief, zu dessen Spezifizierungen eine lineare Optimierungsroutine gehört, nicht unter Verwendung einer Reihe analytischer Gleichungen kartographiert werden.

Tatsächlich haben sie es nur um ein Haar vermieden, ein Problem zu definieren, das sie selbst nicht lösen können. Um eine Lösung errechnen zu können, mußten sie das Problem umformulieren, und es gibt Gründe für die Annahme, daß ihre Neudefinition des Problems dessen Lösung veränderte. Auch noch nach Vereinfachungen fanden es die Modellkonstrukteure notwendig, entlegene und esoterische mathematische Verfahren für die Rechnungen zu benutzen.

Optimale Regeltechniken sind zur Aufstellung von Parametern für das Modell ebenso wie zu seiner Lösung benutzt worden. Anstatt Regressionsverfahren zu benutzen, wie z. B. die gewöhnliche Methode der kleinsten Quadrate, postulierten die Modellkonstrukteure eine Reihe funktionaler Relationen zwischen ihren Variablen, schalteten die ihnen zugänglichen verstreuten Daten zu (z. B. Daten aus den Volkszählungen von 1960 und 1970) und entwickelten eine Optimierungsroutine zur Auffindung der Reihe von Parameterwerten, die bei simultaner Errechnung der enthaltenen Variablen die beste Paßform ergab. Diese Technik hat gegenüber Standardverfahren der Ökonometrie den Vorzug, daß sie weniger Daten erfordert und für falsche Schätzungen aufgrund ungenauer Daten nicht so anfällig ist. Sie vermeidet auch einige der statischen Schwierigkeiten, auf die man bei der Errechnung von Relationen zwischen den in starken Wechselbeziehungen zueinanderstehenden Variablensystemen stößt, indem sie eine funktionelle Relation nach der anderen untersucht.

Auf der anderen Seite hat das Verfahren einen Nachteil: Wenn die bei Aufstellung der Schätzung postulierte funktionelle Relation falsch ist, kann die Methode in die Irre führen. Wenn z. B. eine Produktionsfunktion nach Cobb-Douglas unterstellt wird, kann die Methode annehmbare Schätzungen für die Koeffizienten von Arbeit, Kapital und Technologie ausgehend von nur wenigen

Punktdaten machen – sofern das System die Art Substituierbarkeit und Komplementarität von Arbeit und Kapitel besitzt, die von einer Cobb-Douglas-Funktion vorausgesetzt wird. Oder, wenn die Fruchtbarkeit oder Lebenserwartung der Hypothese zufolge eine Funktion mehrerer miteinander verknüpfter ökonomischer und sozialer Indikatoren ist, können mit der Methode Parameter errechnet werden, die statistisch hervorragend zu den jeweiligen Punktdaten passen, die für die Indikatoren der Hypothese zur Verfügung stehen. Doch wenn sich die realen bevölkerungsstatischen Veränderungen nicht an die hypothetischen Regeln halten, die der Schätzung zugrunde liegen, führt dieses Verfahren nicht zu zuverlässigen Prognosen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die lateinamerikanische Forschungsgruppe optimal die Regelungstechnik als führende Methode benutzt hat. Sie hat die Optimierung sowohl auf der Suche nach einer optimalen Lösung als auch im Bestreben nach Optimierung der statischen Paßform ihrer Parameter verwendet. Das Verfahren eignet sich gut für das Problem. Die Optimierung ist einem normativen Modell angemessen, und optimale Anpassungsverfahren sind zulässig für die spärliche Datensituation, die bei Problemen der Dritten Welt häufig anzutreffen ist. Diese Vorzüge aber haben ihren Preis. Die dazugehörige Mathematik ist ziemlich esoterisch. Ein vollkommenes Verständnis der mathematischen Routine des Modells würde mindestens ein paar Semester Mathematikstudium erfordern. Als Minimum erfordert Verstehen ein bißchen Regeltheorie und etwas Topologie. Die methodische Seite des Modells kann sich der Kritik vielleicht aus dem simplen Grund entziehen, daß die Kritiker die im Modell verwendete Mathematik nicht verstehen.

Relevanz

Am relevantesten ist am lateinamerikanischen Weltmodell für das Problem von Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt der Geist, in dem es entwickelt wurde. Er betont, daß die Welt bestrebt sein sollte, mit ihren Ressourcen und ihrer Umwelt in einer Art und Weise hauszuhalten, die die Grundbedürfnisse aller ihrer Menschen erfüllt, und richtet das Modell auf dieses Ziel aus.

Während die anderen in dieser Studie betrachteten Modelle alle die Frage stellen »Wohin befördern uns die Mechanismen der Weltwirtschaft?« stellt das lateinamerikanische Weltmodell die positive formulierte Frage »welches ist der wirksamste Weg, dorthin zu gelangen, wo wir hinwollen?«. Anstatt die Kräfte zu untersuchen, die mit größter Wahrscheinlichkeit massive ökonomische Verelendung und Hungersnot herbeizuführen scheinen, untersucht das lateinamerikani-

sche Weltmodellverfahren, mit denen das Wohlergehen der Armen der Welt optimiert werden könnte.

Das Modell ist auch deswegen von Interesse, weil es eine explizite und ziemlich detaillierte Hypothese über die Kräfte aufstellt, welche Fruchtbarkeit, Sterblichkeit und Lebenserwartung regieren, und auch Parameter dafür. Die Postulierung dieser Hypothese ist wichtig, weil das Fehlen einer zuverlässigen Theorie bevölkerungsstatistischer Veränderungen einer der Hauptgrenzen für zutreffende Voraussagen über Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt ist. Wenn die Hypothese der lateinamerikanischen Forschungsgruppe gültig ist, bedeutet sie einen großen Fortschritt in der Aufstellung von Weltmodellen – aber leider besteht die offenbar einzige Möglichkeit zur Überprüfung dieser Hypothese darin, die weltweiten demographischen Variablen ein oder zwei Jahrzehnte länger zu verfolgen, um festzustellen, ob das Verhalten des Modells reproduziert wird.

Abgesehen von dem Geist, in dem das lateinamerikanische Weltmodell konstruiert wurde, und der Theorie, die hinter ihrem bevölkerungsstatistischen Sektor steht, ist das Modell fast die genaue Antithese dessen, was *Global 2000* anstrebt. Anstatt sich mit den Problemen von Ressourcen und Umwelt zu befassen, begannen die Modellkonstrukteure mit der Annahme, daß es keine Probleme gibt – insbesondere keine schwerwiegenden Ressourcenprobleme. Ihrer Analyse ähnelt sehr der von Herman Kahn in *The Next 200 Years.*

Einige elementare physische Grenzen sind in den landwirtschaftlichen Sektor eingefügt worden. Die Kosten der Landerschließung nähern sich in dem Maße an den Grenzwert, wie das gesamte bebaubare Land kultiviert wird.* Die Ertragsreaktion auf landwirtschaftliche Einsatzfaktoren flacht bei einem bestimmten maximalen Erzeugungsniveau ab. Ansonsten werden potentielle physische Probleme ausgeschlossen oder heruntergespielt. Die Kosten der Erosionsbekämpfung und Bodenerhaltung sind in den Kostenfunktionen des landwirtschaftlichen Sektors enthalten, doch da sie automatisch bezahlt werden, schließt das Modell jede Möglichkeit von Bodenverlusten oder -verschlechterung aus. Probleme der Energieressourcen, der mineralischen Rohstoffe, der Umweltverschmutzung, der ökologischen Endstabilisierung, der Entwaldung, der Wüstenausbreitung und andere biologisch/physikalische Ressourcenprobleme der heutigen Weltsituation werden mit der Modellformulierung nicht berücksichtigt.

Diese Auslassung ist bedauerlich. Es wäre sehr wünschenswert, daß ein Modell, das sich wie das lateinamerikanische Weltmodell mit den normativen menschlichen Bedürfnissen befaßt, mit einer realistischen Darstellung einiger der heutigen kritischen Ressourcen- und Umweltprobleme kombiniert würde.

* Dieser Punkt ist etwas fragwürdig. Die für mathematische Operatoren in der Modelldokumentation geltenden Interventionen sind im Text nicht definiert, und die Bodenerschließungsgleichungen sind daher nicht eindeutig definiert.

Struktur

Die allgemeinen Strukturmerkmale des lateinamerikanischen Weltmodells sind indirekt in den vorangegangenen Bemerkungen eingeführt worden. Das Grundkonstrukt des Modells ist ein Optimierungsproblem, bei dem die Lebenserwartung bei Geburt optimiert wird. Die Regelvariablen, deren Allokationen auf der Suche nach der Formel zur Maximierung der Lebenserwartung verändert wird, sind Arbeit und Kapital. Diese beiden Eingabedaten werden auf fünf volkswirtschaftliche Produktionssektoren aufgeteilt, von denen jeder direkt oder indirekt die Lebenserwartung beeinflußt. Drei der Sektoren hängen mit menschlichen Grundbedürfnissen zusammen: Nahrung, Wohnung und Bildung. Die verbleibenden zwei sind Investitionsgüter, die für das Wirtschaftswachstum erforderlich sind, und sonstige Güter und Dienstleistungen, die nur geringfügige und indirekte Auswirkungen auf das Verhalten des Systems haben. Produktion, Verbrauch und demographische Funktionen werden getrennt für vier Regionen betrachtet: Die Industrienationen, Lateinamerika, Afrika und Asien.

Die grundlegende Produktionsfunktion für alle Sektoren und alle Regionen ist die Produktionsfunktion nach Cobb-Douglas, derart formuliert, daß ein automatisches Wachstum infolge des technologischen Fortschritts angenommen wird. Von Sektor zu Sektor werden die folgenden technologiebewirkten Wachstumsraten angenommen: Investitionsgüter 1,5%; Nahrung 1%; Wohnung 1%; Bildung 0,5%; sonstige Güter und Dienstleistungen 1%.

Weil die Regelvariablen im Modell zur Maximierung der Lebenserwartung bei der Geburt verwendet werden, sind die Mechanismen, über die die Allokation von Kapital und Arbeit sich auf die Lebenserwartung auswirkt (mit anderen Worten: die Mechanismen im demographischen Sektor) für die Art und Weise, wie sich das Modell verhält, entscheidend.

Das ist der demographischen Struktur des Modells unterstellte Geflecht von Kausaleinflüssen geht aus Fig. 28-1 hervor. Diese anscheinend komplexe Formulierung stellt eine eindeutige Hypothese dar. In den Worten der Modelltheoretiker: »Die einzig wahrhaft adäquate Art der Kontrolle des Bevölkerungswachstums ist die Verbesserung der grundlegenden Lebensbedingungen.«[4]

Die Art und Weise, wie sich diese Hypothese in die Modellstruktur hineinzieht, ist aus der Abbildung zu ersehen, wenn man die Variablen untersucht, welche Geburtenziffern und Lebenserwartung beeinflussen. Ausgeprägt unter diesen sind die Niveaus der Befriedigung von Grundbedürfnissen – Nahrung, Wohnung und Bildung. Zunahmen jeder dieser Variablen erhöhen die Lebenserwartung und/oder senken die Geburtenziffern. Faktoren im Zusammenhang mit Arbeitsbedingungen sind ebenfalls berücksichtigt worden. Je höher der Anteil in der

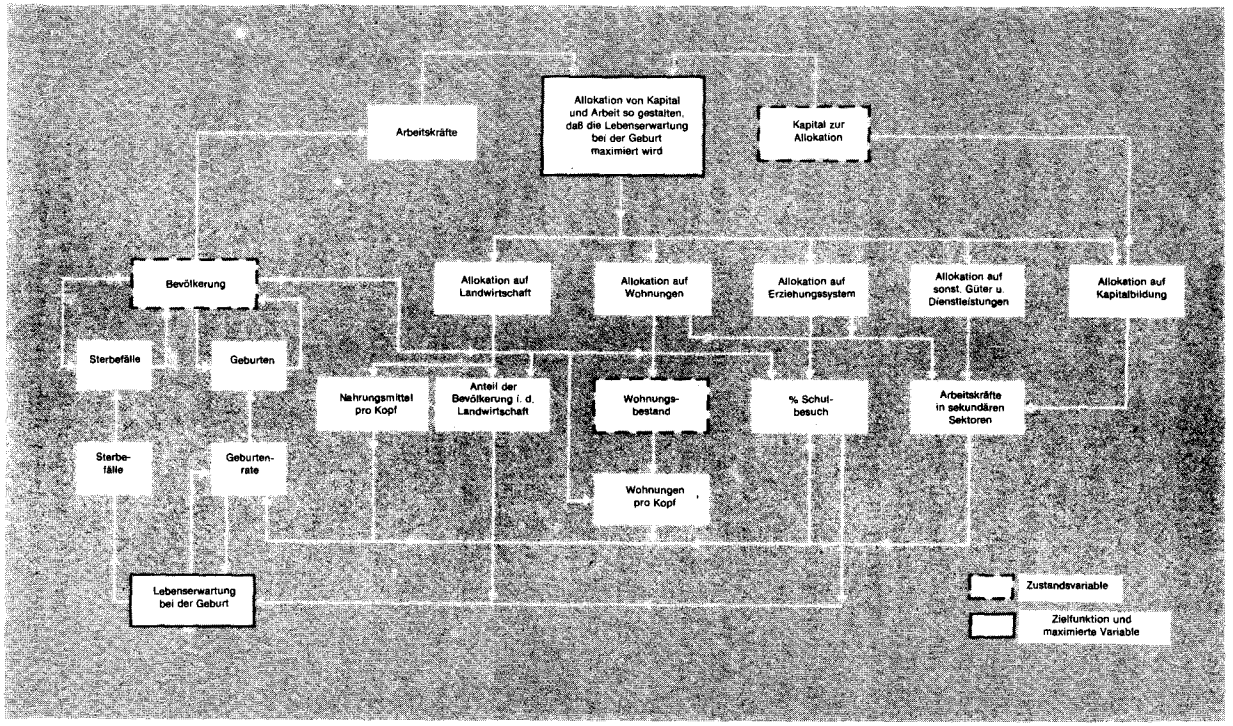

Fig. 28-1. Bevölkerungssektor und Zielfunktion des Lateinamerikanischen Weltmodells.

Landwirtschaft tätigen Bevölkerung, desto geringer die Lebenserwartung; je mehr Arbeitsplätze in sekundären Sektoren, desto größer die Lebenserwartung bei Geburt.

Diese Einflußströme werden insofern harmonisiert, als Steigerungen der Geburtenziffern zu Zunahmen der Lebenserwartung führen und Zunahmen der Lebenserwartung wiederum die Geburtenziffern senken. Weiterhin führen Abnahmen der Geburtenziffer schließlich (durch Verlangsamung des Bevölkerungszuwachses) zu Zunahmen der Verfügbarkeit des outputs der Grundbedürfnissektoren pro Kopf der Bevölkerung. Auf diese Weise führen sie zu weiteren Abnahmen der Geburtenziffern, in dem sie eine Bevölkerung mit höherer Lebenserwartung stabilisieren.

Kurzum, Investitionen in irgendeinem der Grundbedürfnissektoren und Verschiebungen in Richtung auf Industrieproduktion führen zu höherer Lebenserwartung bei geringeren Geburtenziffern. Das mathematische Problem des Modells ist die Berechnung derjenigen Verteilung von Ressourcen auf die einzelnen Sektoren, die in Richtung auf dieses Ziel am wirksamsten funktioniert. Doch sind die direkten Allokationen zur Erfüllung von Bedürfnissen nicht die einzigen Variablen der Gleichung. Es besteht auch das Bedürfnis und die Möglichkeit, Arbeit und Kapital auf den Investitionsgütersektor zu übertragen, wo sie das zur Produktion verfügbare Kapital an allen Sektoren erhöhen. Daher konkurriert in der Allokationsentscheidung des Modells auch das Kapital um Ressourcen.

Eindeutig wird auch die Art und Weise, wie das Modell Ressourcen zuweist, stark von Verlauf und Steigung der Kurven beeinflußt, die die Lebenserwartung in Relation zu den sie beeinflussenden Variablen setzen. Wenn z. B. alle lineare Funktionen wären, wäre es immer am effektivsten, derjenigen Variablen Ressourcen zuzuweisen, deren Auswirkung auf die Lebenserwartung die steilste Steigung hat. Doch wäre dieser Ansatz lächerlich, da damit die Lebenserwartung bis ins unendliche verlängert werden könnte, solange noch Ressourcen zur Investition vorhanden sind. Das System der von den Modellen verwendeten Gleichungen[5] ist nachstehend dargestellt:

$$LE = -0{,}052492531\ E^{2.5693255} + 0{,}054749165\ E^{2.5607114} - 0{,}006852093\ B^{1.8622645} - 0{,}096324172\ AG^{1.1816027} + 55153412.$$

$$B = -0{,}39895642.10^{-12}\ TK^{3.725411} - 0{,}16189216\ PS^{1.251819} - 0{,}17435076\ E^{0.838319} + 366\,18269\ LE^{-0.695212} - 0{,}62262631\ HR^{0.981753} + 29\,0057.$$

LE = Lebenserwartung bei Geburt (Life expectancy at birth)

E = Schulbesuch (Enrollment), definiert als 100 × (Schulkinder von 6-18/Gesamtbevölkerung von 6-18).

B = Geburtenziffer (Birth rate), definiert als Anzahl der Lebendgeburten pro 1000 Einwohner.
AG = Anteil der Arbeitskräfte in der Landwirtschaft
TK = Tägliche Pro-Kopf-Kalorienaufnahme
PS = Anteil der Arbeitskräfte im sekundären Sektor
HR = Wohnungsziffer (Housing rate), definiert als 100 × (Anzahl der Häuser/Gesamtbevölkerung).

Das Bemerkenswerte an der obigen Reihe von Gleichungen ist ihre Verwendung von *Exponentialen*, mit der bestimmt ist, daß der Beitrag jedes Faktors zur Lebenserwartung oder zu den Geburtenziffern dem Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses unterliegt. Dieses schafft einen Zustand, wo sich die Wirksamkeiten der verschiedenen Allokationsmuster ziemlich komplex verschieben, während das Modell durch die simulierte Zeit fortschreitet, und macht es zudem auch unter den idealsten Bedingungen unmöglich, daß die (durchschnittliche) Lebenserwartung sich weit über 70 Jahre verlängert.

Die Operationen des Allokationsverfahrens sind etwas komplizierter. In vielen Fällen ist das Modell eingegrenzt, damit nicht mehr als eine bestimmte Steigerung der Erzeugung eines Sektors in einem bestimmten Zeitabschnitt möglich ist. Die Begrenzungssituation wird dadurch noch weiter kompliziert, daß das Programm dem Modell gestattet, im Prozeß des Aussuchens optimaler Lösungen gegen einige seiner Grenzen zu verstoßen.

Im simulierten Zeitverlauf verschiebt sich die Allokation von Ressourcen zwischen den einzelnen Sektoren hin und her, je nach dem, welcher Sektor höhere Erträge pro Einheit von Arbeit oder Kapital erbringt, die zu seinen Produktionsprozessen hinzugefügt werden. Die Parametrisierung des Modells bestimmt die relative Bedeutung von Arbeit und Kapital sowohl für seine fünf Wirtschaftssektoren als auch für die Situation, in der jeder Sektor für die Allokation von Arbeit und Kapital Priorität erhält. Die Modellkonstrukteure sagen dazu: »Die Ergebnisse der Läufe des Modells zeigen, daß Bildung einer der wichtigsten Faktoren für die bevölkerungsstatische Entwicklung, insbesondere für die Lebenserwartung ist.«[6] Hieraus schließen wir, daß die geschätzte Parametrisierung des Modells der Bildung als eines die Lebenserwartung beeinflussenden Faktors großes Gewicht gegeben hat.

Obwohl der Bildungssektor für die Funktionsweise des Modells vielleicht der wichtigste ist, wird der Nahrungsmittel- und Landwirtschaftssektor von Beobachtern im allgemeinen als wichtiger betrachtet. Er ist bei weitem der komplizierteste Sektor des Modells. Er enthält drei Teilsektoren: Ackerbau, Viehhaltung und Fischerei. Darunter ist der Ackerbau der wichtigste und komplexeste, der in sich selbst eine Optimierungsroutine enthält, welche die für den Ackerbau verfügbaren Ressourcen für Landerschließung und Produktion landwirtschaftlicher Einsatz-

faktoren aufteilt. Er enthält auch Mechanismen zur Berücksichtigung des Prozesses der Urbarmaschung neuer Böden durch Investition zur Landerschließung. Die Landerschließungsmechanismen enthalten eine Komponente, die auf die Annahme abnehmender Investitionserträge bei zunehmenden Kultivierungen neuen Landes hinausläuft. Die Kosten der Landerschließung entwickeln sich in Form einer S-förmigen Kurve von 1200 $ auf 6000 $ pro Hektar bei *entsprechender Zunahme des Quotienten aus potentiellen Anbauflächen und kultivierten Flächen von null auf eins.**

Die alternative Verwendung des Ackerbaukapitals jedoch unterliegt ebenfalls dem abnehmenden Ertragszuwachs. Zusätzliche Mittel für landwirtschaftliche Einsatzfaktoren führen zu zunehmendem Einsatz pro Hektar, doch fallen die Ertragszuwachskoeffizienten nach exponentieller Zunahme jenseits eines bestimmten Niveaus auf Null. Über dieses Niveau hinaus sind weitere Investitionen in landwirtschaftliche Einsatzfaktoren nicht optimal, und der Anreiz zu weiteren Investitionen entfällt. Daß Landerschließung und Investition in landwirtschaftliche Einsatzfaktoren dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs unterliegen, wird es Zustände im Verhalten des Modells geben, wo die Agrarinvestition keine Erträge von Bedeutung mehr bringen. Wenn dies eintritt, findet es der Optimierungsmechanismus vorteilhaft, sein Geld woanders zu investieren – im Sektor Viehhaltung oder Fischerei, oder gänzlich außerhalb des Nahrungsmittelsektors.

Zwei optimistische Annahmen sind in den Formulierungen des Landwirtschaftssektors enthalten. Zunächst geht das Modell davon aus, daß die Kosten von Kunstdünger im Verlauf der Optimierungsperiode konstant bleiben. Zweitens setzt es voraus, daß die Verluste bei der Nahrungsmittelverarbeitung in den unterentwickelten Regionen durch das Optimierungsverfahren automatisch jedes Jahr abnehmen, bis sie die niedrigeren Ziffern der Industrienationen erreichen.

Die Teilsektoren Fischerei und Viehhaltung sind relativ einfach. Beide gestatten der Produktionsinvestition, Erträge bis zu einer maximalen Belastbarkeitsziffer zu steigern. Der Viehbestandsektor berücksichtigt auch, daß einige der nicht eßbaren Abfallprodukte des Agrarsektors als Futtermittel verwendet werden können. Er berücksichtigt auch, daß landwirtschaftliche Überschußprodukte als Futtermittel benutzt werden können, wenn die Ernährungsbedürfnisse der menschlichen Bevölkerung befriedigt sind. Abfälle der Nahrungsmittelerzeugung und Nahrungsmittel werden dann unter Verwendung eines biologischen Umwandlungskoeffizienten in Meßziffern des Fleischverbrauchs transformiert.

* Das scheint es zu sein, was die Dokumentation meint, doch ist schwer zu sehen, wie es funktioniert. Wenn die S-Kurve verwendet wird und die Kosten bei 6000 Dollar pro Hektar abflachen, müßte es dem Modell zufolge möglich sein, daß mehr als 100% des gesamten anbaufähigen Landes kultiviert werden.

Im Vorbeigehen sei bemerkt, daß der im Modell verwendete maximale potentielle Fischfang, der den Daten der Organisation für Ernährung und Landwirtschaft (FAO) entnommen ist, beträchtlich höher liegt als die in Kap. 7 dargestellte Maximalzahl (120 Mio. metrische Tonnen jährlich gegenüber 60 Mio.). Von Interesse ist auch, daß das Modell Probleme nicht berücksichtigt, die aus Überweidung entstehen können.

Die Sektoren Wohnung und Bildung sind klar und einfach. Die Kosten von Wohnungsbau und Bildung fangen beide an zu steigen, sowie die Grundbedürfnisse befriedigt sind. Der Bau neuer Häuser wird im Modell als Verstädterung definiert. Bildung ist definiert als Schulangebot für die Altersgruppe 6-18. Das Universitätswesen ist im Bildungssektor nicht enthalten, geht jedoch unter der Kategorie sonstige Güter und Dienstleistungen in die Annahmen ein.

Die Struktur des Kapitalsektors und des Sektors sonstige Güter und Dienstleistungen wird in der Dokumentation nicht erörtert. Nach der Dokumentation der Rechendaten des Modells wird jedoch eingegeben, daß der für sonstige Güter und Dienstleistungen zugewiesene Anteil des BSP begrenzt ist, so daß er nicht unter 45% der Gesamtproduktion fallen oder im Vergleich zum Niveau von 1970 nicht steigen kann, bevor nicht die Grundbedürfnisse befriedigt sind.[7] Im selben Text heißt es, daß die maximale Investitionsrate, d. h., die Allokation an den Kapitalsektor, mit 25% fixiert ist. Diese Grenzen dürften gesetzt worden sein, um das Modell daran zu hindern, alle Mittel aus dem Sektor sonstige Güter und Dienstleistungen abzuziehen (die im Modell wenig zur Erhöhung der Lebenserwartung beitragen) und es davon abzuhalten, unrealistisch große Summen von Investitionskapital (die über die Cobb-Douglas-Produktionsfunktion das ökonomische Wachstum treiben) zuzuweisen. Aus den anderen Informationen muß man annehmen, daß das Modell im Kapitalsektor und im Sektor sonstige Güter und Dienstleistungen eine Cobb-Douglas-Standardproduktionsfunktion verwendet.

Das Modell enthält auch einen vereinfachten Welthandelssektor. Die grundlegenden Annahmen der Modellkonstrukteure für den Welthandel im Modell sind die folgenden:

(a) Da die Daten für 1960 nicht vollständig sind, wird angenommen, daß das Welthandelsniveau jedes Blocks für dieses Jahr proportional seinem Gesamt-BSP ist, wobei 1970 als Basisjahr genommen wird. Das Handelsvolumen für jeden Sektor 1960 ebenso wie für die Jahre nach 1970 wird als proportional zu seinem Beitrag zum Gesamt-BSP angenommen, wobei ebenfalls 1970 als Basisjahr genommen wird.

(b) Das Ungleichgewicht in der Zahlungsbilanz der Regionen wird allmählich verringert, bis das Gleichgewicht 20 Jahre nach Wirksamwerden der vorgeschlagenen politischen Maßnahmen (1980) erreicht ist.

Obwohl das Modell, wie bereits bemerkt, ein Optimierungsmodell ist, hat es in der Praxis zwei Operationsmodi. Über die historische Periode verwenden es seine Konstrukteure als Simulationsmodell, wobei sie es zu Beginn eines Laufs ohne Verwendung der Optimierungsroutine rechnen und für etwa die ersten 20 Jahre des Modells die Annahme des Optimierungsverhaltens durch die Annahme der Einhaltung beobachteter Trends ersetzen. Dies geschieht im wesentlichen, um zu kontrollieren, ob das Modell zutrifft.

Kurz gesagt, hat das Modell unter der Perspektive von Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt die folgenden wichtigen Strukturmerkmale. (1) Das Modell stellt sich eine Gesellschaft vor, welche die Allokation von Kapital und Arbeit so vornimmt, daß die Lebenserwartung maximiert wird; (2) die Lebenserwartung ist eine Funktion der Befriedigung von Grundbedürfnissen und verschiedener sonstiger sozialer Indikatoren; (3) die volkswirtschaftliche Produktion ist eine Funktion des komplementären Einsatzes von Arbeit und Kapital und des durch den technologischen Fortschritt ausgelösten (exponentiell zunehmenden) Wachstums nach Sektoren; und (4) landwirtschaftliche Erträge und Investitionen in Landerschließung unterliegen abnehmendem Ertragszuwachs.

Von anderen Ressourcen wird angenommen, daß sie in unbeschränkten Mengen und zu konstanten Kosten verfügbar sind: (5) Formen der Umwelterhaltung wie Waldbewirtschaftung, Bodenpflege, Bekämpfung der Umweltverschmutzung sind automatisch und können nicht fehlbehandelt werden (mit der Bodenpflege sind Kosten verbunden; andere Formen der Umwelterhaltung sind implizit kostenlos); (6) technologische Verbesserungen tragen kostenlos mit einer Rate von 0,5-1,5% Zuwachs jährlich zur volkswirtschaftlichen Produktion bei, wobei die Größenordnung dieses Beitrags je nach dem volkswirtschaftlichen Sektor schwankt; und (7) innerhalb einer Wirtschaftsregion wird das Einkommen völlig gleich verteilt.

Prüfung

Wie kann man die Validität eines normativen Modells prüfen? Man kann es begrifflich prüfen, indem man die in seiner Struktur implizit enthaltenen Annahmen beobachtet und über diese Annahmen ein Urteil fällt. Man kann auch eine Art experimenteller Überprüfung vornehmen, indem man das Modell mit wechselnden Annahmen rechnet, um festzustellen, ob es sich vernünftig verhält.

In gewissem Umfang haben die Modellkonstrukteure Prüfschwierigkeiten umgangen, indem sie ein Modell prüfen, das sowohl in einem normativen

Optimierungsmodus gerechnet werden kann, als auch in einem Modus, der vergangenes Systemverhalten simulieren soll. Sie rechnen das Modell routinemäßig von 1960 bis 1980 unter Verwendung des historisch simulierenden Modus, bevor sie den Optimierungslauf durchführen. Da das Modell mit Daten aus 1960-70 justiert worden ist, läge es ernsthaft falsch, wenn es das beobachtete Verhalten über diesen Zeitraum nicht reproduzieren könnte. Also stellt der Lauf 1960-70 keine aussagefähige Prüfung dar. Die 1960-70-Simulation scheint hauptsächlich eine Betriebssicherheitsprüfung zu sein, um sicher zu gehen, daß im Modell nichts durch zufällige Veränderungen des Computerprogramms oder durch andere Mißgeschicke, die üblichen Plagen der Systemanalytiker, in Unordnung geraten ist. Andererseits stellen die historischen Simulationsphasen 1970-78, da sie außerhalb des Justierungszeitraums liegen, tatsächlich eine aussagefähige Überprüfung der Fähigkeit des Modells dar, im historischen Simulationsmodus genau zu funktionieren.

Da die grundlegende operationale Struktur des Modells verändert wird, wenn das Modell von der historischen Simulation zum Optimierungsmodus übergeht, ist nicht ganz klar, wie die Fähigkeit des Modells zur Prognose im Simulationsmodus die Validität seiner Ergebnisse beim Operieren im Optimierungsmodus bewegt.

In den meisten Läufen wird das Modell von 1960 bis 2060 gerechnet. Selbst wenn derselbe Operationsmodus des Modells über diesen gesamten Zeitraum angewendet würde, leuchtet nicht ein, wie weit die Fähigkeit der Zukunftsprognose über 8 Jahre als Grundlage für eine Beurteilung der Fähigkeit der Zukunftsprognose über 90 Jahre dienen kann, besonders wenn das Modell Energieprobleme und -grenzen, ökologische Überlebensfähigkeit oder andere Probleme nicht berücksichtigt, die bei der Aufrechterhaltung des Wirtschaftswachstums innerhalb unseres fixen natürlichen Ressourcenraums auftreten.

Obwohl es schwierige Fragen dabei gibt, wie ein normatives Modell validiert werden soll, gibt es keine Probleme bei seiner Verwendung für die Überprüfung politischer Strategien. Das lateinamerikanische Weltmodell ist in mindestens vier Prüfungen so verwendet worden. Beide in der verfügbaren Dokumentation dargestellten Prüfungen umfassen (1) einen Standardlauf, (2) einen Lauf mit technologischer Stagnation (in welchen die technologische Entwicklung, anstatt die volkswirtschaftliche Produktion um stetig 0,5, 1,0 oder 1,5% jährlich zu steigern,* zwischen den Jahren 1980 und 2000 auf Null zurückgeht – und danach dort verbleibt), und (3) einen Lauf, in dem die Industrienationen Kapital (Entwicklungshilfe) nach Asien und Afrika mit einer Anfangsrate von 0,2% BSP 1980 und danach einer jährlichen Zuwachsrate von 0,2% jährlich übertragen, bis

* Für verschiedene Sektoren gelten unterschiedliche Raten.

eine Rate des Kapitaltransfers von 2% des BSP erreicht ist. Das Modell ist außerdem umstrukturiert worden, um einen weiteren Test politischer Strategie durchzuführen, nämlich (4) des Effekts der Einkommensverteilung auf das Wirtschaftswachstum. In dieser Neuformulierung wurde das Modell getrennt nach 15 Regionen gerechnet, wobei in jeder die Bevölkerung in sechs Einkommensgruppen aufgegliedert war. In diesen Läufen wurde angenommen, daß die Grundbedürfnisse befriedigt sind, wenn das Einkommensniveau der ärmsten Gruppe so hoch geworden ist, daß deren Grundbedürfnisse befriedigt werden können. Der als Indikator der Befriedigung von Grundbedürfnissen verwendete Indikator ist das Pro-Kopf-BSP, bei dem die Grundbedürfnisse im Standardlauf befriedigt waren.[8] Ergebnisse aus diesen vier Strategietests werden nachstehend beschrieben.

Schlußfolgerungen

Der Standardlauf des Modells für die Industrienationen geht aus Fig. 28-2 hervor. Die Läufe für Lateinamerika ähneln stark denen für afrikanische Länder. Die Ergebnisse in diesen Simulationen entsprechen überraschungsfreien Prognosen wie den in Herman Kahns Buch *The Next 200 Years* gemachten. Das Wachstum des BSP ist stetig, der einfache Lebensstandard steigt bis zu einem Niveau, bei dem alle Grundbedürfnisse befriedigt werden, und die Wirtschaft bewegt sich stetig in Richtung auf Produktion weiterer *ökonomischer Neuartigkeiten* (sonstige Güter und Dienstleistungen). Sowie die Grundbedürfnisse befriedigt sind, beginnen sich die Zuwachsraten der Bevölkerung zu stabilisieren, was dazu führt, daß für jeden mehr übrig ist. Das einzige an diesen Läufen, was nicht ungefähr wie eine der Prognosen vom Kahns Hudson Institute aussieht, ist die sehr hohe Investitionsrate, die in Lateinamerika und Afrika erforderlich ist, um die Gezeitenwachstumsraten aufrechtzuerhalten. Beide Regionen bewegen sich rasch in die vom Modell gestattete maximale Investitionsrate, sobald dieses in den Optimierungsmodus eintritt und während der gesamten Simulation bei dieser Rate (25% jährlich) verbleibt.

In Asien jedoch gestattet sogar eine optimale Allokation von Ressourcen, wie aus Fig. 18-3 zu ersehen ist, keine anhaltende Verbesserung des Lebensstandards. Die Modellkonstrukteure beschreiben den Lauf:

»Das Problem in Asien entsteht auf dem Lebensmittelsektor. Bis 2010 sind alle verfügbaren Flächen kultiviert. Danach wenden sich die ökonomischen Anstrengungen auf diesem Sektor der Steigerung von Viehhaltung und Fischerei zu. Dies jedoch reicht nicht aus, um die wachsende Bevölkerung adäquat zu ernähren, und der Verbrauch sinkt rasch unter das Überlebensminimum.

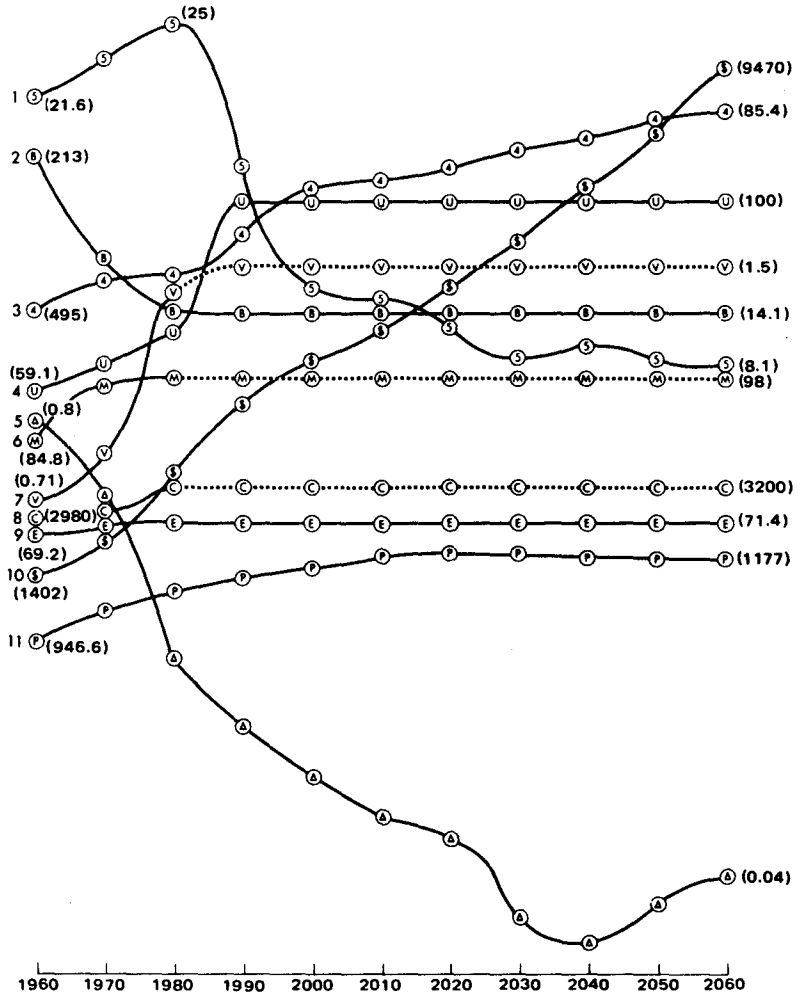

Fig. 28-2. Lateinamerikanisches Weltmodell – Standardsimulation für entwickelte Länder. (*Catastrophe or New Society?*, p. 84).

Zeichenerklärung:

1 (5) BSP-Anteil, der auf Sektor 5 entfällt.
2 (B) Geburtenrate
3 (4) BSP-Anteil, der auf andere Güter und Dienstleistungen entfällt.
4 (U) Verstädterung
5 (△) Bevölkerungszuwachsrate
6 (M) Schulbesuch
7 (V) Häuser pro Familie
8 (C) Gesamte Kalorien pro Kopf
9 (E) Lebenserwartung
10 ($) BSP pro Kopf
11 (P) Gesamtbevölkerung

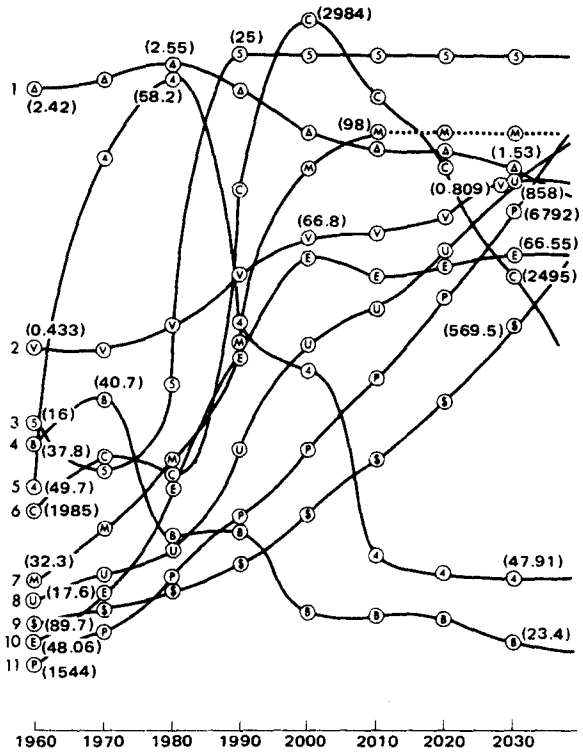

Fig. 28-3. Lateinamerikanisches Weltmodell – Standardsimulation für Asien. *(Catastrophe or New Society?,* p. 92).

Zeichenerklärung:

1 (△) Bevölkerungszuwachsrate
2 (V) Häuser pro Familie
3 (5) BSP-Anteil, der auf Sektor 5 entfällt
4 (B) Geburtenrate
5 (4) BSP-Anteil, der auf andere Güter und Dienstleistungen entfällt.
5 (C) Gesamte Kalorien pro Kopf
7 (M) Schulbesuch
8 (U) Verstädterung
9 ($) BSP pro Kopf, in Dollar zum Wert von 1960
10 (E) Lebenserwartung
11 (P) Gesamtbevölkerung

Der rasche Anstieg der Erzeugungskosten für Lebensmittel, der auf die Erschließung neuer Böden für die Landwirtschaft zurückzuführen ist, zieht Ressourcen von der übrigen Volkswirtschaft ab, verursacht damit Rückständigkeit und hemmt auch die Befriedigung der anderen Grundbedürfnisse. Insgesamt führt die Verzögerung beim Erreichen eines adäquaten Lebensstandards zu einer

anhaltend hohen Wachstumsrate der Bevölkerung, und es schließt sich ein Teufelskreis: Die zunehmende Bevölkerung und die steigenden Kosten der Nahrungsmittelproduktion machen es immer schwieriger, Grundbedürfnisse zu befriedigen.«[9]

Kurzum, die Wirtschaft Asien bricht in einer Art und Weise zusammen, die an den Zusammenbruch der Weltwirtschaft in den mit Nahrungsmittelgrenzen ausgestatteten Läufen von World 2 und 3 erinnert, und an den charakteristischen Kollaps der südasiatischen Wirtschaft im Weltmodell von Mesarovic-Pestel. Mit Rücksicht auf den starken Effekt, den die Bildung auf die Lebenserwartung (die im Modell optimierte Variable) hat, bleibt der Schulbesuch während des ganzen Laufs hoch (98%). Das Wohnwesen verbessert sich stetig, aber sehr langsam durch den ganzen Lauf bis etwa zum Jahr 2040, wo er abgebrochen wird. Ein schwerer Rückgang des Pro-Kopf-Verbrauchs an Nahrungsmitteln beginnt 2008. Mittlerweile setzt sich infolge der anhaltend hohen Investitionsrate von 25% das Wirtschaftswachstum fort. Die letzten 20 Jahre des Optimierungslaufs für Asien werden nicht wiedergegeben: »Die Läufe im Jahr 2040 wurden gestoppt, weil die Indikatoren (insbesondere die Lebenserwartung) nach diesem Datum keinerlei Aussagekraft mehr hatten.«[10] Außerdem erklären die Modellkonstrukteure: »Die Lebenserwartungsfunktion ist nur dann aussagefähig, wenn die Kalorienaufnahme ausreicht, einen Menschen am Leben zu erhalten und eine Körperbetätigung zu ermöglichen, wie sie in den ärmeren Gesellschaften derzeit üblich ist.« Offenbar fällt der Nahrungsmittelverbrauch im Modell auf Niveaus, die erwartungsgemäß zu steigenden Sterbeziffern führen müßten, doch dreht das Modell, dem Mechanismen zur Erhöhung der Sterbeziffern durch Verhungern fehlen, an diesem Punkt langsam durch.

Die Ergebnisse von Simulationen mit Stagnation des technolotischen Fortschritts sind für alle außer die Industrienationen katastrophal. In Lateinamerika »können die Grundbedürfnisse befriedigt werden, doch erst über einen längeren Zeitraum als im Standardlauf, besonders bei Nahrung und Wohnung.«[11] Dagegen können »in Afrika, in Asien die Minimalziele nicht erreicht werden, wenn der technologische Fortschritt aufhört; das Wirtschaftssystem bricht schließlich zusammen ... Von den Grundbedürfnissen erreichen nur Nahrungsmittel das Zielniveau, und dann nur für kurze Zeit.«[12] In einer Simulation mit technologischer Stagnation für Afrika z. B. nimmt die Investition in Kapitalgüter ab, und das Pro-Kopf-BSP geht sogar zurück, anstatt exponentiell zu wachsen, wie es dies beim Zusammenbruch des Standardlaufs für Asien tat. Die Bevölkerung nimmt unbarmherzig zu. Alle der Grundbedürfnissektoren einschließlich Bildung gehen irgendwann zwischen 1990 und 2020 in den Sturzflug über. Die Lebenserwartung erreicht ihre Spitze um 2010 und sinkt danach rasch.

Die Prüfläufe unter Berücksichtigung eines Kapitaltransfers aus den Industrie-

nationen nach Asien und Afrika haben die folgenden Ergebnisse: Die Industrienationen wachsen rascher, weil sie höhere Investitionsraten aufrechterhalten. Sie schließen mit einem beträchtlich höheren Pro-Kopf-Einkommen ab als im Standardlauf – 14 250 $ gegenüber 9670 $ (in US-Dollar). Dieser Kapitaltransfer hat aber keine große Auswirkung auf den Lebensstandard in Asien und Afrika. Er führt zu einem höheren BSP-Wachstum (was eine Kapitalspritze immer tut), doch hat er sehr geringfügige Auswirkung auf die Säuglingssterblichkeit oder die Lebenserwartung, und keinen großen Einfluß auf die Zeitspanne, die für die Befriedigung der Grundbedürfnisse nötig ist. Die unausgesprochene Schlußfolgerung lautet, daß der Kapitaltransfer nur eine geringfügige Wirkung auf das größte erkennbar werdende Problem der Menschheit in der Welt haben wird – die Nahrungsmittelknappheit in Asien.

Die Prüfläufe für Einkommensverteilung zeigen, daß eine egalitäre Verteilung zu einer sehr viel rascheren Erfüllung der Grundbedürfnisse führt. (»Wie zu ersehen ist, ist das zur Erfüllung der Grundbedürfnisse unter egalitären Bedingungen erforderliche Pro-Kopf-BSP etwa 3-5mal geringer als das unter Beibehaltung der gegenwärtigen Einkommensstrukturen erforderliche.«[13])

Die Schlußfolgerungen, die die Modellkonstrukteure ziehen, unterscheiden sich etwas von denen der obigen Beschreibung. Wir zitieren sie im Wortlaut:

»Die Ergebnisse des Modells . . . beweisen, daß die gesamte Menschheit im Fall einer Durchführung der hier vorgeschlagenen politischen Maßnahmen innerhalb eines Zeitraums von etwas mehr als einer Generation einen adäquaten Lebensstandard erreichen könnte. Die Befriedigung der unerläßlichsten physischen und kulturellen Bedürfnisse, die eines der wichtigsten Ziele des Menschen seit seinen Anfängen ist, könnte bis zum Ende des Jahrhunderts oder in den ersten Jahren des nächsten Jahrhunderts für die meisten Länder der Dritten Welt erreicht werden.

Das einzige Problem physischer Grenzen, das sich erhebt und lokalen Charakters ist, ist die Erschöpfung des Angebots an anbaufähigem Land in Asien um die Mitte des nächsten Jahrhunderts. Doch könnte dieses Defizit durch die großen Reserven solcher Flächen in anderen Regionen mit Leichtigkeit gedeckt werden. Da die Auswirkung dieser Grenze erst in 80 Jahren fühlbar würden, hat Asien genügend Zeit, nach eigenen Lösungen des Problems zu suchen, wie z. B. Steigerung der Erträge von Feldfrüchten, die als weit unter dem theoretisch möglichen Niveau angenommen wurde, Erzeugung von Nahrungsmittel aus nichtkonventionellen Quellen; Durchsetzung einer wirksamen Familienplanungspolitik, mit der die Bevölkerung in einem kürzeren als vom Modell vorhergesagten Zeitraum ein Gleichgewicht erreichen könnte; usw.

Das Modell zeigt außerdem, daß es möglich ist, das Bevölkerungswachstum bis zum Gleichgewichtspunkt unter Kontrolle zu bringen, in dem man den allgemei-

nen Lebensstandard besonders im Hinblick auf Grundbedürfnisse hebt. Dieses Gleichgewicht könnte im weltweiten Maßstab längst erreicht sein, bevor die Kapazität der Erde zur Nahrungserzeugung – die einzige vorhersehbare physische Grenze innerhalb des Zeithorizonts des Modells – voll ausgenutzt ist, sogar wenn die Nahrungsmittelproduktion sich weiterhin auf die derzeit verfügbare Technologie stützen muß.

Die Hindernisse, die gegenwärtig einer harmonischen Entwicklung der Menschheit im Wege stehen, sind strenggenommen nicht physischer oder ökonomischer, sondern im wesentlichen soziopolitischer Art. Tatsächlich sind die Wachstumsraten, mit denen die gewünschten Ziele erreicht werden, die in der gegenwärtigen Wirtschaftssituation als normal erachteten, wie aus dem vorigen Kapitel hervorgeht. Die Ziele werden daher nicht durch ein sehr hohes Wirtschaftswachstum erreicht, sondern durch eine Verringerung des nicht lebensnotwendigen Konsums, durch erhöhte Investitionen, Abschaffung sozioökonomischer und politischer Barrieren, die gegenwärtig die vernünftige Bodennutzung sowohl für Nahrungsmittelproduktion als auch für Stadtplanung verhindern, durch egalitäre Verteilung notwendiger Güter und Dienstleistungen, und, in unterentwickelten Ländern, die Durchführung einer aktiven Politik zur Beseitigung von Defiziten im Welthandel.

Die Wachstumsraten, die zur Erreichung dieser Ziele erforderlich sind, und ohne untragbare soziale Opfer erreicht werden können, stehen im Gegensatz zu jenen, die für ungefähr denselben Zeitraum für die Grundbedürfnisse im Rahmen der gegenwärtigen Einkommensstruktur oder bei derselben sozioökonomischen Organisation erforderlich sind. Die letzteren Raten des Wirtschaftswachstums, die für unterentwickelte Länder zwischen 10 und 12% schwanken, sind tatsächlich aus den im vorigen Abschnitt dargelegten Gründen unmöglich zu erreichen. Der Vorschlag dieser Art ›Lösung‹ läuft also nur auf eine Erhaltung des gegenwärtigen Status quo und auf ein falsches Verständnis der wahren Ursachen der Krise hinaus, von der die Welt gegenwärtig betroffen ist.

Eines der interessantesten Ergebnisse des Modells ist das Licht, das es auf die Auswirkung wirft, die eine mögliche internationale Entwicklungshilfe haben würde, insbesondere der Transfer von Ressourcen aus den Industrienationen zu den armen Ländern. Selbst wenn ein größeres Niveau der internationalen Wirtschaftshilfe als das von der UNO empfohlene erreicht wird, kann es zwar dazu beitragen, den Lebensstandard zum Zeitpunkt des Transfers zu erhöhen, allerdings in keiner Weise entscheidend. Was in bezug auf die Einkommensverteilung dargestellt wurde, beweist eindeutig, daß die internationale Wirtschaftshilfe unter den gegenwärtig in den meisten unterentwickelten Ländern herrschenden Bedingungen nur dazu beitragen würde, die Ausgaben privilegierter Sektoren zu steigern, und damit wenig oder gar keine Wirkung auf die Lebensbedingungen der

Mehrheit der Bevölkerung hätte. Der Effekt des Kapitaltransfers ist nur dann beträchtlich für den allgemeinen Lebensstandard, wenn ähnliche Bedingungen sozialer Gleichheit wie die im Modell vorgeschlagenen herrschen.

Die internationale Solidarität kann andere Formen annehmen als die Nettoübertragung von Ressourcen aus reichen auf arme Länder. Das Modell zeigt, welchen Aufschwung unterentwickelte Länder im Wirtschaftswachstum genau im kritischen Stadium der erreichten Befriedigung von Grundbedürfnissen durch die Beseitigung einer negativen Zahlungsbilanz nehmen können. Die Industrienationen können dazu beitragen, daß dieses Ziel erreicht wird, in dem sie gerechte Preise für die Produkte der unterentwickelten Länder anstelle der heute geltenden festsetzen, die nicht eine gerechte Verteilung zwischen den Produktionsfaktoren der beiden Produktionssektoren darstellen, in die die Welt geteilt ist, sondern die Folge einer ungleichen Verteilung ökonomischer, politischer und militärischer Macht sind. Außerdem könnten die reichen Länder mit einer Senkung ihrer Wachstumsraten entsprechend den Vorschlägen des Modells dazu beitragen, den Druck auf die vorhandenen Ressourcen zu lindern und den armen Ländern auf diese Weise indirekt zu helfen.

. . . Es wurde gezeigt, daß es auch noch im Jahr 2060 (wo die Computerläufe abgebrochen wurden) noch in ökonomischen Indikatoren sichtbare Ungleichheiten zwischen dem Niveau des Wohlstands in den Industrienationen und in den armen Ländern geben wird, besonders im Hinblick auf Asien. Um die Bedeutung dieser verbleibenden Lücke richtig bewerten zu können, sollte man im Gedächtnis behalten, daß die Ergebnisse des Modells über einen so langen Zeitraum sich bei relativ kleinen Fluktuationen einiger seiner Variablen beträchtlich verändern könnten; eine bescheidene Zunahme des Tempos des technologischen Fortschritts z. B. könnte die Lücke mit Leichtigkeit schließen.

Schließlich zeigt das Modell innerhalb der offensichtlichen Grenzen dieser Art Arbeiten, daß das Schicksal des Menschen letzendlich nicht von unüberwindlichen physischen Barrieren abhängt, sondern von sozialen und politischen Faktoren, die der Mensch verändern muß. Ihre Lösung ist nicht einfach, weil eine Veränderung von Organisation und Werten der Gesellschaft, wie die Geschichte lehrt, sehr viel schwieriger ist als die Überwindung physischer Grenzen. Diese Aufgabe anzugehen ist jedoch der einzige Weg zu einem besseren Leben für die Menschheit.

Es könnte vielleicht gesagt werden, daß dieser Vorschlag utopisch ist und daß es realistischer wäre, Lösungen vorzuschlagen, die weniger radikale Veränderungen der soziopolitischen Struktur der Welt erfordern. Wer diese Position vertritt, sollte an die mehr als ein Jahrhundert anhaltenden Worte von John Stuart Mill erinnert werden:

›Bei einem großen Übel schafft ein kleines Mittel keine kleine Abhilfe; es schafft überhaupt keine.‹«[14]

Dokumentation

Die verfügbare Dokumentation über das lateinamerikanische Weltmodell ist recht gut. Es gibt sowohl das nichtmathematische Buch *Catastrophe or New Society? A Latin American World Model*[2] als auch das 1977 erschienene mathematische *Handbook of the Latin American Model,* das in begrenzter Auflage von der UNESCO vertrieben wird.[5] Die erstere Veröffentlichung gibt keine Modellgleichungen wieder, sondern vermittelt begrifflich recht eindrucksvoll, wie das Modell funktioniert, und legt Rechendaten und zahlreiche theoretische Argumente vor, die die im Modell vertretenen Standpunkte unterstützen. Beschreibungen komplexer mathematischer Modelle sind zwangsläufig verwirrend. Doch ist dieses Buch so geschrieben, daß es einen nicht mathematisch orientierten Leser fast immer leicht wird, sich das Modell ohne Verwechslung der Probleme zu erklären.

Die Modellkonstrukteure sind humanistisch orientierte Sozialisten, und ihre Werte treten in der ganzen Dokumentation recht deutlich hervor. Häufig hat man das Gefühl, daß sie die Dinge durch die Brille ihres Wertsystems interpretieren. Doch sind diese Voreingenommenheiten offen und klar genug dargelegt, so daß ein Leser, der die Werte der Modellkonstrukteure nicht teilt, ihre normativen Aussagen ohne weiteres für sich interpretieren kann.

Das technische Handbuch ist geeignet für Mathematiker, Computerprogrammierer und mathematisch orientierte Wirtschaftswissenschaftler. Es beschreibt einige (nicht alle) der Modellgleichungen und dokumentiert ausführlich die Datenbasis und die Versuchsgrößen für seine begrifflichen Prämissen – bis auf gelegentliche Probleme mit undefinierten Gleichungen und schlecht identifizierten Symbolen. Es verfügt über eine sinnvolle Themenanordnung und eine Konsistenz der Anwendungen, die dem Leser viele der Frustrationen erspart, die häufig mit großen Sammlungen von Gleichungen verbunden sind. Das Computerprogramm wird zusammen mit der Modelldokumentation veröffentlicht und ist gut bibliographiert. Offenbar wäre es für Interessierte gegebenenfalls möglich, das Modell auf ein anderes System zu übertragen und es ohne äußere Hilfen von den Modellkonstrukteuren zu benutzen. Dies jedoch ist ein subjektiver Eindruck.

Eine Dokumentation, die eine Anwendung des Modells auf Brasilien und eine Kritik darüber von der Science Policy Research Unit der University of Sussex beschreibt, ist ebenfalls für UNESCO erstellt worden und wird in beschränkter Auflage verbreitet.[15]

Anmerkungen

1. Donella H. and Dennis L. Meadows et al., *The Limits to Growth*, Washington: Potomac Associates, 1972, p. 184.
2. Amilcar O. Herrera et al., *Catastrophe or New Society? A Latin American World Model*, Ottawa: International Development Research Center, 1976, p. 8.
3. Ibid., p. 5.
4. Ibid., p. 8.
5. *Handbook of the Latin American World Model*, Paris: UNESCO, July 1977, p. 25.
6. Ibid., p. 117.
7. Herrera, p. 85.
8. Ibid., p. 104.
9. Ibid., p. 93.
10. Ibid., p. 93.
11. Ibid., p. 97.
12. Ibid.
13. Ibid., p. 104.
14. Ibid., pp. 107–108.
15. H. S. D. Cole, "The Latin American World Model as a Tool of Analysis and Integrated Planning at a National and Regional Level in Developing Countries," UNESCO, Aug. 1977; Carlos Ruiz, Irene Louisean, and Hugo D. Scolnik, "Adaptation of the Banloche Model to Brazil," Paris: UNESCO, Oct. 1977.

29 Das Weltmodell der UNO

Die Schlußfolgerungen aus den Modellen World 2 und World 3 und aus dem Weltmodell von Mesarovic-Pestel waren offenbar ungenießber für die armen Nationen der Welt, die sich der Hoffnung hingeben, daß wirtschaftliches Wachstum ihnen am Ende aus ihrer Armut heraushelfen wird. Ebenso war die Vorstellung, daß die Wachstumsressourcen allmählich zur Neige gingen, beklemmend für die Behörden der UNO, die an der Formulierung von Strategien zur Verbesserung der Lage der armen Nation der Welt beteiligt sind.

Das Weltmodell der UNO kann als Ausdruck dieses Unbehagens verstanden werden. Ende 1972 wurde Wassily Leontief in Übereinstimmung mit der von der Vollversammlung der UNO 1970 beschlossenen internationalen Entwicklungsstrategie beauftragt, ein Modell der Weltwirtschaft zu konstruieren, um festzustellen, ob physische Grenzen des Wirtschaftswachstums den in der Strategie formulierten Ziele ein ernstzunehmendes Hindernis in den Weg stellen würden, die Finanzierung des Projekts erfolgte durch die Niederlande. Die Arbeit begann in einem guten Vorzeichen: Leontief erhielt 1973 den Nobelpreis für Ökonomie. In seiner Preisverleihungsrede beschrieb er die Strukturbegriffe, nach denen das Modell konstruiert werden sollte.[1] Die Aufgabe, die Grundstruktur in ein arbeitsfähiges Modell umzuwandeln, wurde von Anne Carter, Peter Petri und anderen von der Brandeis University übernommen. Joseph J. Stern von Harvard koordinierte das Projekt.

Methode

Das Weltmodell der UNO formuliert eine input-output-Sicht der Weltwirtschaft. Grundelemente dieser Sicht waren:

1. Wir können die Zukunft der Weltwirtschaft nicht vorhersagen. Doch können wir aus unseren Erwartungen zukünftige Szenarien ausscheiden, die innerlich unverträglich und damit unmöglich sind.

2. Um innerlich unverträglich Erwartungen ausscheiden zu können, müssen wir ein Modell konstruieren, das innere Konsistenz garantiert. Dies können wir tun, indem wir uns die Welt als ein System wechselseitig abhängiger Prozesse vorstellen, in welchem jeder Prozeß, die Herstellung von Stahl, die Erziehung der Jugend oder das Führen eines Familienhaushalts einen bestimmten output erzeugt

und eine spezifische Kombination von input absorbiert. Eine direkte wechselseitige Abhängigkeit zwischen zwei Prozessen entsteht dann, wenn der output des einen zum Input des anderen wird: Kohle als output des Kohlebergbaus, ist ein input für den Sektor Stromerzeugung. Die chemische Industrie verwendet Kohle nicht direkt als Rohmaterial, sondern auch indirekt in Form von Strom. Ein Netz solcher Verbindungen kompliziert das System von Elementen, die direkt, indirekt oder auf beide Weisen voneinander abhängig sind.[2]

3. Wenn es bei unserer Modellbildung um die Welt geht, können wir die obige Darstellung noch erweitern, indem wir die Welt in Regionen einteilen und Ströme innerhalb einer Region und Ströme zwischen Regionen getrennt darstellen.

Mathematisch gesehen, ist die zur Darstellung der obigen Schilderung verwendete Struktur recht simpel, wenn auch ungeheuer umfangreich. Es handelt sich um ein riesiges System simultaner linearer Gleichungen mit mehr Unbekannten als Gleichungen. Dieses System wird unter Verwendung exogen angegebener Werte für Schlüsselvariablen gelöst, um die Zahl der Gleichungen gleich der Zahl der Unbekannten zu machen. Um einen Blick auf die Entfaltung des Systems im Zeitverlauf zu erhaschen, werden sowohl die exogenen Variablen als auch einige der Koeffizienten der Gleichung in die Zukunft projiziert – in diesem Fall in Fünfjahresschritte bis zum Jahr 2000 – und das System wird erneut gelöst. Das System bietet einen gewissen Spielraum im Hinblick darauf, welche Variablen in einer bestimmten Simulation als endogen und welche als exogen zu behandeln sind.

Vermutlich der anspruchsvollste Teil der Konstruktion eines solchen Modells ist das Sammeln von Daten und das Auffüllen von Lücken, wo es keine Daten gibt. Wenn man Aktualisierungsdaten als Strukturkoeffizienten zählt, beträgt die Koeffizientenzahl des Modells mehr als 10 000. Ein großer Teil davon wird aus anderen Datengrundlagen übernommen. Viele davon, insbesondere die input-output-Koeffizienten einiger unterentwickelter Regionen der Welt mußten aus Kreuzvergleichen bekannter Daten für andere Regionen errechnet werden. Ausführlicher Gebrauch wurde von statischen Methoden gemacht, um die Daten zu überarbeiten und zu gewährleisten, daß die Daten aus einer Quelle mit Daten aus einer anderen verträglich sind.

Viele der Koeffizienten, die in das Modell eingehen, beruhen auf dem Fachurteil anderer Personen. Beispielsweise sind die Schätzungen der input-output Koeffizienten für zukünftige Jahre aus den Werken zahlreicher Technologieprognostiker entliehen.

Obwohl sie in gewisser Weise stark empirisch ist, erfordert die Methode außerdem eine ganze Menge Beurteilungen. Viele wichtige Entscheidungen darüber, wie Statistiken zu verwenden sind – z. B. die Entscheidung darüber, wie Handelsmatrices für die VR China zu prognostizieren sind – erfordern einen

großen Anteil subjektiver Beurteilungen. In ähnlicher Weise hängt auch die Konstruktion von Szenarien ziemlich stark von einem »Gefühl« für die Fähigkeiten des mehr künstlerisch als wissenschaftlich zu benutzenden Modells und dafür ab, was in der Wirklichkeit von Bedeutung ist.

Relevanz

Das Weltmodell der UNO kann Aussagen über folgende Fragen machen: Wieviel von welchen mineralischen Ressourcen wird bis zum Jahr 1980, 1985, 1990 oder 2000 bei einem bestimmten Szenario des Zuwachses von Bevölkerung und BSP bei einem angegebenen Niveau der Bekämpfung von Umweltverschmutzung verbraucht sein? Wie viele Umweltschmutzstoffe verschiedener Art werden in diesen Jahren erzeugt worden sein? Das Modell sagt uns auch, was wir im Hinblick auf veränderte sektorale Zusammensetzung der Erzeugung wachsender Volkswirtschaften zu erwarten haben; es teilt uns die Größenordnung der erwartenden Handelsströme unter einer Reihe vereinfachender Annahmen über die den Welthandel regierenden Mechanismen mit. Der stärkste Anspruch des Modells lautet, daß es konsistente Prognosen erstellen kann. Das heißt, es gestattet keine Prognose des Wachstums eines Segments der Volkswirtschaft, ohne die Anforderungen zu berücksichtigen, die dieses Segment an andere Sektoren dieser Wirtschaft stellt. Ebenso wenig gestattet es seinen Benutzern, die Importe und Exporte einer bestimmten Region zu prognostizieren, ohne sich zu vergewissern, daß diese gegen die Importe aus Exporte anderer Regierungen aufgerechnet werden – d. h., für jedes Produkt sind die weltweiten Importe gleich den weltweiten Exporten für alle Regionen. Fragen der wirtschaftlichen Entwicklung kann es ebenfalls mit großer Detailliertheit nachgehen – einer Detailliertheit, die die Aufmerksamkeit auf die expliziten Struktureinzelheiten der Wirtschaftsentwicklung lenkt. In gewissem Sinne erstellt das Modell eine Art weltweiter und volkswirtschaftlicher Einkaufsliste für alle Elemente, die für das Weltwachstum erforderlich sind.

Derartige Berechnungen sind ziemlich relevant für die Planung langfristiger Wechselbeziehungen zwischen Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt. Unsere Prognosen schreien nach innerer Konsistenz. Und es ist wichtig, daß wir die Dinge sachlich, Stück um Stück konkret betrachten. Wenn nicht jemand sorgfältig und detailliert Buch führt, ist es schwierig, Doppelzählungen und Auslassungen zu vermeiden.

Doch beantwortet das Weltmodell nicht alle relevanten Fragen. Als sie gefragt wurde, wie das Modell die Umwelt behandelt, antwortete Anne Carter recht offen,

es sei ziemlich oberflächlich.[3] Sie behauptete nicht, daß die Aufzählung der Umweltschmutzstoffe und der Ressourcen an mineralischen Rohstoffen und fossilen Brennstoffen durch das Modell adäquate Indices für den Zustand der Umwelt ergebe. Das Modell sagt nichts darüber aus, wie ökologische Systeme von der von ihm prognostizierten Entwicklung betroffen sein werden. Es behält den Zustand von Wäldern, Grasland, Wasserflächen, Boden und anderen natürlichen Systemen nicht im Blick. Mit der Brennholzkrise kann es nichts anfangen.

Anne Carter war der Meinung, daß das Modell für einige dieser Zwecke sehr viel relevanter gemacht werden könne, wenn man zwischen städtischen und ländlichen Wirtschaften unterschiede. Dies würde ihrer Meinung nach zu besseren Schlußfolgerungen über die Beanspruchung des Bodens durch intensive Kultivierung und andere Formen der Bodennutzung führen und wäre außerdem ein besseres Mittel, Probleme wie die Konzentration von Umweltschmutzstoffen anzugehen, die in erster Linie urbane Gebiete betreffen.

Struktur

Das Modell besteht aus 15 regionalen Modellen, die zusammengenommen die ganze Welt darstellen. In ihrer Struktur sind diese 15 Teilmodelle identisch. Jedes verfügt über 175 Gleichungen und 229 Variablen. Die 15 regionalen Teilmodelle sind miteinander durch Welthandelsgleichungen verbunden. Im folgenden Text wird zunächst die Struktur der regionalen Weltmodelle beschrieben und sodann die Art ihrer Verknüpfung. Das gesamte Weltsystem von Gleichungen wird jedoch simultan gelöst, so daß aus keiner der Beschreibungen eine kausale Schrittfolge abgeleitet werden darf.

Jedes Regionalmodell (Fig. 29-1) läßt sich als ein Apparat denken, der zunächst die Gesamtnachfrage der Volkswirtschaft nach den Produkten jedes der 40 Wirtschaftssektoren errechnet und dann aus dieser Gesamtnachfrage den Ressourcenverbrauch, die erzeugte Umweltverschmutzung, den Beschäftigungsstand und den Kapitalbedarf. In Wirklichkeit ist das etwas komplizierter, da die Umweltverschmutzung zu Beseitigungstechniken führt, die wiederum die Gesamtnachfrage erhöhen. In ähnlicher Weise führt der Kapitalbedarf zu Investitionen, und auch diese kommen zur Gesamtnachfrage hinzu.

Die Gesamtnachfrage nach den Produkten des Sektors wird normal durch Summierung der Nationaleinkommenskonten errechnet. Zunächst wird die Endnachfrage errechnet, indem Verbrauch, Regierungsausgaben und Investitionen addiert werden. Der Endnachfrage werden dann diejenigen Nachfragearten zugeschlagen, die im Prozeß der Befriedigung der Endnachfrage entstehen

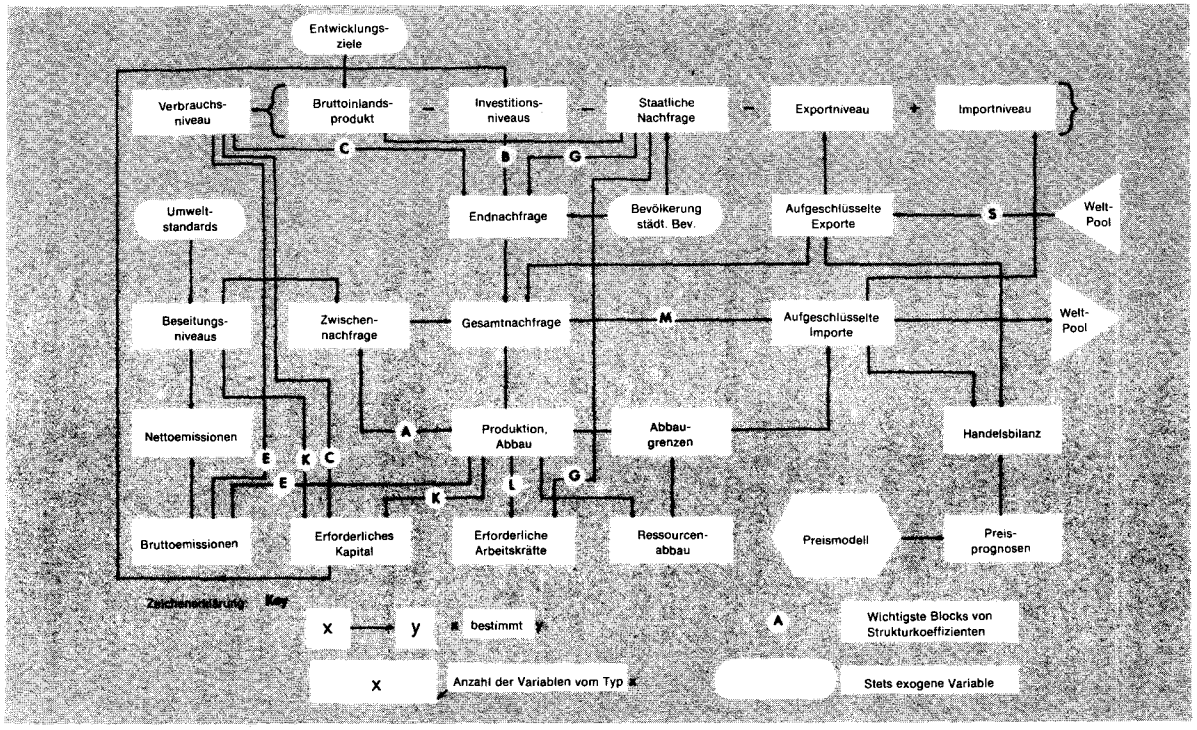

Fig. 29-1. Interne Struktur einer Region. Wichtigste Struktur-Koeffizienten; A, interindustrielle Eingaben; B, Zusammensetzung der Investition; C, Zusammensetzung des Verbrauchs; E, Bruttoverschmutzung; G, Zusammensetzung der staatlichen Nachfrage; K, Kapitaleingaben; L, Arbeitskraft in Import-Abhängigkeit-Verhältnissen; S, Anteile an Weltexportmärkten. *(Peter A. Petri, »An Introduction to the Structure and Application of the United Nations World Model«,* Applied Mathematical Modeling, *Juni 1977).*

(Zwischennachfrage), und der Nettobetrag aus Exportnachfragen minus Importnachfragen. (Zur Errechnung der Zwischennachfrage aus der Endnachfrage wird die input-output-Matrix verwendet.)

Das Modell ermöglicht zwei grundlegend verschiedene Betrachtensweisen der Bestimmung des Einkommens. Man kann exogene Zielraten des BSP-Wachstums für die verschiedenen Regionen des Modells angeben, und dann das Modell den Verbrauch endogen als die Leistung berechnen lassen, die nach Abzug der angegebenen Investitionen, Regierungsausgaben usw. übrigbleibt. Oder man kann spezifische Grenzen der allgemeinen Umwelt festsetzen (Grenzen der Zahlungsbilanzdefizite, verfügbare Ersparnisse oder Arbeitskräftepotential) und das Modell bestimmen lassen, welche Wachstumsraten innerhalb der gesetzten Grenzen möglich sind.

Das Modell berechnet die Investitionsraten, die entweder zur Schaffung der für das als Zieldatum gesetzte BSP-Wachstum benötigte Industriekapazität oder zur Ermöglichung der von den angegebenen Entwicklungsgrenzen bestimmten Wachstumsraten erforderlich sind. Die Investition wird in die folgenden Kategorien unterteilt: Produktionsstätten, Ausrüstungen, Bewässerung und Boden. Die in jede Kategorie investierten Summen werden durch eine Reihe mathematischer Koeffizienten bestimmt, die den Investitionsbedarf in Relation zur Endnachfrage für alle Modellsektoren setzen.

Importe und Exporte als verbleibende Kategorien, die zur Endnachfrage beitragen (oder davon abgehen), sind die Brücke, die die regionalen Volkswirtschaften mit dem Welthandelsmodell verbindet. Die Modellkonstrukteure haben ihre Darstellungen von Importen und Exporten fast schon gewollt einfach gehalten, um das komplexe Problem des Welthandels so transparent wie möglich zu machen und Spielraum für spätere Veränderungen der Annahmen zu lassen. Die meisten Regionalimporte werden über Importabhängigkeitskoeffizienten bestimmt, die exogen im Zeitverlauf variiert werden und die erforderlichen Importe Sektor für Sektor in Relation zur Erzeugung setzen. »Die Importbedürfnisse werden dann für die Regionen summiert, und die daraus entstehenden Weltnachfragearten werden den Regionen als Exporte zugewiesen. Diese Allokationen werden durch Exportanteilkoeffizienten für jede gehandelte Ware bewerkstelligt. Die regionalen Exportanteile werden sodann mit Regressionsstudien aufgrund von historischen und Querschnittsdaten prognostiziert.« Bei den Importen an Fertigwaren sind die Abhängigkeitskoeffizienten konstant und werden durch Regressionsanalyse ermittelt. Bei erschöpfbaren gehandelten Rohstoffen wie Mineralien werden »den Importregionen Erzeugungsniveaus zugewiesen, die sich mit der Menge noch verfügbarer regionaler Ressourcenreserven vertragen, und die Importe dienen zum Ausgleich der verbleibenden unbefriedigten Nachfrage.«[4] Daher führt die Erschöpfung mineralischer Reserven

zum zunehmenden Import mineralischer Rohstoffe und zu einem gesteigerten internationalen Rohstoffhandel.

Mineralische Rohstoffe, Umweltschmutzstoffe und Agrarprodukte werden mengenmäßig behandelt. Fertigwaren und Dienstleistungen werden in Preisen eingesetzt. Die Verwendung physischer Einheiten anstelle monetärer bietet Vorteile für den Modelltheoretiker. Sie gestattet die Verwendung physischer Daten wie der Schätzungen über Reserven und imeralische Rohstoffe, während sie ihm gleichzeitig ermöglicht, sich physische Realitäten wie das Gesetz von der Erhaltung der Materie und biologische Tatsachen über Ernährungsbedarf zunutze zu machen. Um diese Vorteile bemüht, sind die Modellkonstrukteure von den rein monetären Strömen der meisten input-output-Modelle abgewichen und haben sie durch ein gemischtes Abrechnungssystem ersetzt, das sowohl reale als auch physische Einheiten verwendet.

Die Preise werden in einem getrennten Modell generiert. Grundsätzlich wird der Preis der sektoralen Erzeugung den sektoralen Produktionskosten gleichgesetzt. Produktionskosten verändern sich mit Strukturveränderungen innerhalb der Industrie (input-output-Strukturen). Sie berücksichtigen Dinge wie Veränderungen der Produktivität, Substitution bei Einsatzfaktoren (z. B. Plastik für Holz und Metalle) und entsprechend der allmählichen Erschöpfung der Rohstoffreserven einen höheren Bedarf an Einsatzfaktoren für die Erzeugung mineralischer Stoffe. Für manche Simulationen werden die Rohstoffpreise außerhalb des Modells prognostiziert und exogen eingesetzt. Sodann werden konsistente Preise für alle Sektoren errechnet.

Exogene Vorhersagen des technologischen Wandels in jeder der Regionen werden ebenfalls in das Hauptmodell eingegeben. Diese Prognosen wurden unter Verwendung von Querschnittsuntersuchungen der Relation zwischen Pro-Kopf-Einkommen und interindustrieller Struktur ermittelt, um Schätzungen darüber zu gewinnen, wie die Ströme zwischen den Industrien sich verändern, wenn sich in den Regionen ein Wirtschaftswachstum vollzieht. Diesen Schätzungen wurden Technologieprognosen überlagert. In diesen Technologievorhersagen gehen unweigerlich zahlreiche Annahmen ein, darunter umstrittene Probleme wie Annahmen über den Umfang, in dem Kernkraft an die Stelle konventioneller Energiequellen treten wird. Die riesige Anzahl der Annahmen, die bei der Errechnung der Zeittrends der input-output-Matrices gebraucht wurde, schafft Verwirrung, wenn es darum geht, das Modell als Ganzes zu betrachten. Es gibt so viele Annahmen, daß man sich schwer tut, die Angemessenheit des Gesamtbildes zu bewerten. Obwohl uns die Modellkonstrukteure mitteilen, daß sie sich in ihrer Auswahl von Annahmen zurückhielten und durchgehend die offenbar besten Vermutungen anerkannter Experten verwendeten, dürfte eine einfache Möglichkeit zur Prüfung der verwendeten Annahmen immer noch wünschenswert sein.

Prüfläufe

Das Weltmodell der UNO erfordert eine Menge Parameterprüfungen und könnte für einen weiten Bereich der Überprüfung politischer Strategien dienen. Die knappe Zeit und die beschränkten Finanzen seiner Konstrukteure haben ihnen kaum gestattet, die Oberflächen der Prüfläufe anzukratzen, die gemacht werden könnten und sollten. Das Modell enthält eine ungeheure Anzahl etwas willkürlich gewählter Parameter. Man hätte sehr viel mehr Zutrauen zum Modell, wenn es durch Prüfläufe erwiesen wäre, daß diese Parameter nicht übermäßig empfindlich sind. Auch wäre die Feststellung sinnvoll, welche Parameter empfindlich *sind,* um sicher zu gehen, wo die Gebiete der größten Ungewißheit liegen. Dieses Mittel könnte als Grundlage dafür dienen, die Prioritäten für weitere Datensammlungen und Forschung zu setzen. Das heißt, daß ein sorgfältiges Vorgehen bei der Erforschung der Parameter, auf die das Modell empfindlich reagiert, wesentlich wichtiger ist als die Untersuchung von Dingen, die nicht viel zu sagen haben.

Die politischen Strategieüberprüfungen, für die das Modell verwendet wurde, richtete sich im allgemeinen nach den Interessen der Organisation, die den Einsatz des Modells in Auftrag gaben. Real bedeutet dies, daß das Modell für folgende Aufgaben verwendet wurde: (1) Prüfungen der ökonomischen und – soweit das Modell Vorgänge in der Umwelt zeigen kann – der umweltspezifischen Konsequenzen der von der internationalen Entwicklungsstrategie festgelegten Wachstumsziele; (2) Untersuchungen der weltweiten Auswirkungen der Rohstoffsicherungsstrategien für den Economic Council of Canada der kanadischen Regierung; (3) Untersuchung der Folgen der Energieeinsparung für die weltweite Wirtschaftsentwicklung im Auftrag des US-Wirtschaftsministeriums; und (4) Untersuchung einer Anzahl Szenarien, die die Modellkonstrukture selbst für brauchbar und aussagefähig hielten. Die Ergebnisse der kanadischen Untersuchungen sind nicht öffentlich dokumentiert; die Ergebnisse der drei anderen Prüfläufe werden nachstehend geschildert.

Die dokumentierten Arbeiten für die UNO operieren mit acht politischen Szenarien.[5] Wie von der Internationalen Entwicklungsstrategie vorgeschrieben, beruhen die meisten davon auf exogen gegebenen Prognosen des Bevölkerungswachstums und des Zuwachses des Pro-Kopf-Einkommens. Die drei behandelten Alternativen für den Zuwachs von Bevölkerung und Einkommen sind in Kap. 29-1 gezeigt. Der Basisfall oder die Standardprognose, in der Tabelle mit UN/B bezeichnet, ist der Fall mit mittlerem Zuwachs der Bevölkerung und hohem Pro-Kopf-Zuwachs des Bruttoinlandprodukts (BIP) in den Entwicklungsregionen und mit mittlerem Wachstum in den unterentwickelten Regionen. Weitere Prüfläufe wurden durchgeführt, indem dieser Basisfall durch veränderte Annah-

Tab. 29-1
Alternative Annahmen über Einkommensziele und zukünftiges Bevölkerungswachstum

Kombinationen	Bevölkerungswachstum		Ziele für das Pro-Kopf-Bruttosozialprodukt	
	Entwickelte Regionen	Entwicklungsregionen	Entwickelte Regionen	Entwicklungsregionen
UN/B	mittleres	mittleres	hoch	hoch
UN/A-1	geringes	geringes	niedrig	hoch
UN/A-2	hohes	hohes	niedrig	hoch

Quelle: Wassily Leontief et al., *Die Zukunft der Weltwirtschaft*, übers. v. Günter Seib, Stuttgart 1977, S. 176.

men abgewandelt wurde, z. B. durch die Annahme optimistischerer Schätzungen über Ausstattung mit Bodenschätzen, sowie höherer Entwicklungshilfe, Grenzen für Zahlungsbilanzdefizite und rascherer Agrarinvestition in den Niedrig-Einkommensländern Asiens. In einem abschließenden Szenario wurde angenommen, daß die Investition, anstatt von dem als Ziel gesetzten BSP-Wachstum getrieben zu sein, sich an vergangene Trends halte, und das BIP-Wachstum wurde exogen unter Berücksichtigung mehrerer Grenzen generiert: realistische Zahlungsbilanz, verfügbare Arbeitskräfte und nach Abzug des Verbrauchs verfügbare Geldmittel für Investitionen. Die verwendeten Grenzen variierten von Region zu Region. (Dieser letzte Lauf produziert nebenbei trübe Wirtschaftsaussichten für die unterentwickelte Welt und wird in der UNO-Dokumentation heruntergespielt.)

In dem Prozeß der Erarbeitung der oben geschilderten politischen Szenarien stellten die Modellkonstrukteure fest, daß die von der Internationalen Entwicklungsstrategie formulierten Minimalziele für das Wachstum selbst im Falle ihrer Einlösung kaum ausreichen würden, zu verhindern, daß die Kluft zwischen reichen und armen Nationen noch weiter aufreißt, ganz zu schweigen von ihrer Schließung. Entsprechend wurde die Zuwachsrate des Pro-Kopf-Einkommens unterentwikkelter Länder (UL) derart nach oben korrigiert, daß die Einkommenskluft zwischen UL und Industrienationen ihre porportionale Größe im Jahre 2000 etwa halbieren würde. In Übereinstimmung mit dem Ziel der Angleichung der Einkommensniveaus wurden die Zuwachsraten durchgehend so korrigiert, daß sie in umgekehrtem Verhältnis zum gegenwärtigen Pro-Kopf-Einkommen stehen. Für die reicheren Regionen wurde ein langsamer Zuwachs, und für die ärmeren Regionen ein sehr rascher angenommen. Die im Modell verwendeten Zuwachsraten für die Grundszenarien sind in Tab. 29-2 wiedergegeben.

In den für das US-Wirtschaftsministerium ausgeführten Arbeiten verglichen die

Tab. 29-2
Zuwachsraten und Einkommenskluft unter der Annahme der Grundszenarien im Modell der Vereinten Nationen[a]

	Szenario	entwickelte Länder	Entwicklungsländer
Zuwachsrate	X	4,0	7,2
Bruttosozialprodukt	C	3,6	6,9
(in Prozent)			
	X	0,7	2,3
Pro-Kopf-Bruttosozialprodukt	C	0,6	2,0
(in Prozent)	X	3,3	4,9
Einkommenskluft im Jahr 2000	C	3,0	4,9
Pro-Kopf-Bruttosozialprodukt			
Entwicklungsländer = 100)	X	769	100
	C	715	100

[a] für die Szenarien X und C.
Quelle: Wassily Leontief et al., *Die Zukunft der Weltwirtschaft*, übers. v. Günter Seib, Stuttgart 1977, S. 48.

Modellkonstrukteure einen Lauf mit Wachstum ohne besondere Vorkommnisse mit einem anderen, in dem alle Regionen der Welt über die nächsten 20 Jahre die höchstmöglichen Einschränkungen des Verbrauchs an fossilen Brennstoffen vornehmen. Ihr Einsparungsmaximum wurde im extremsten der von den Cavendish Laboratories of Cambridge University auf der Weltenergiekonferenz im Oktober 1977 vorgelegten Szenarien übernommen. Sie gingen von der Annahme aus, daß Energieeinsparungen durch Substitution von Arbeit und Kapital für Energie bewerkstelligt würde.[6]

Schlußfolgerungen

Die oben beschriebenen Prüfläufe tendieren hier zu der Schlußfolgerung, daß die wirtschaftlichen Aussichten für die UL allgemein optimistisch sind. Damit solche Länder die als Ziel formulierten Wachstumsraten erreichen können, müßten Investitionskoeffizienten von unerhörter Größenordnung durchgehalten und müßte der private Verbrauch auf ein sehr niedriges Niveau beschränkt werden. So z. B. könnte sich keine der unterentwickelten Regionen bei Durchhalten der als Ziel formulierten Zuwachsraten bis zum Jahr 2000 ein privates Verbrauchsniveau oberhalb 63% des Einkommens leisten, und keine dürfte ein privates Investitionsniveau unter 20% haben. Auch wurde festgestellt, daß zur Befriedigung des Nahrungsmittelbedarfs in einem Standardszenarium die landwirtschaftliche Produktion im Jahr 2000 auf etwa das Vierfache der derzeitigen

Ziffern erhöht worden sein müßte. Vielerorts wären sogar noch höhere Steigerungsraten erforderlich. Für die Niedrigeinkommensländer Lateinamerikas und Asiens wurde festgestellt, daß die landwirtschaftliche Erzeugung um mehr als 500% zunehmen müßte; für das aride und tropische Afrika und das Asien mit zentraler Planwirtschaft wurden Steigerungen von 400 bis 500% angegeben; für den Mittleren Osten ergaben die Rechendaten, daß eine Steigerung der Agrarerzeugung um 950% erforderlich wäre, um nicht von den angestrebten Wachstumsstrukturen abzuweichen. In den meisten Regionen mit gegenwärtig hohem Einkommen lagen die meisten angegebenen landwirtschaftlichen Zuwachsraten unter 200%.[7]

Die Ergebnisse bei mineralischen Rohstoffen waren optimistischer. Allgemein wurde festgestellt, daß sich die Begrenztheit mit bis zum Jahr 2000 nicht als zwingende Grenze des Wirtschaftswachstums erweisen würde. Außer bei Blei und Zink ging aus dem Modell nicht hervor, daß der Welt bis zum Jahr 2000 irgendwelche mineralischen Rohstoffe ausgehen.

In Anbetracht der Tatsache, daß das Modell Verbrauchsschätzungen für neun kritische geologische Ressourcen verwendet – Kupfer, Bauxit, Nickel, Zink, Blei, Eisen, Rohöl, Erdgas und Kohle – ist die Prognose bedeutsam, daß nur für Blei und Zink die Gefahr des Verbrauchtseins bis zum Jahr 2000 besteht, obwohl diese Aussage an Bedeutung verliert, wenn man bedenkt, daß aus dem allgemein als pessimistisch bezeichneten Modell World 3 hervorgeht, daß in diesem Aggregat 70% unserer mineralischen Ressourcen im Jahr 2000 noch vorhanden sein werden. In diesem Modell wird der Mangel erst um 2020 kritisch.[8]

Außerdem ist nicht sofort klar, was hinter der Schlußfolgerung steht, genügend Ressourcen seien bis zum Jahr 2000 vorhanden. Es ist bekannt, daß das Modell in einem etwas unklar definierten Ausmaß davon ausgeht, daß Kernkraft und Kohlevergasung bis 2000 als Ersatz für das Öl benutzt werden, und daß es außerdem eine aktive Wiederverwendung (recycling) mineralischer Rohstoffe unterstellt.[9] Das Ergebnis, daß »nichts zur Neige geht« kann daher nur so interpretiert werden, daß wir dies durch eine geeignete technische Lösung vermeiden können. Die Modellkonstrukteure kommen auch zu dem Schluß, daß die Rohstoffe, die uns zur Verfügung stehen, höhere Kosten erfordern. Der Preis jedoch wird, wie bereits beschrieben, nicht innerhalb des Hauptmodells bestimmt. Diese Schlußfolgerung muß daher entweder aus einer Nebenher-Analyse oder einem Ergänzungsmodell stammen.

Leontiefs Analyse des Modells kommt zu dem Schluß, daß »die Umweltverschmutzung für die Menschheit zwar ein sehr schwerwiegendes, aber technisch lösbares Problem ist«, und daß der wirtschaftliche Aufwand dafür, die Umweltverschmutzung innerhalb bewältigbarer Grenzen zu halten, nicht untragbar ist.[10] Die Rechendaten des Modells ließen darauf schließen, daß die Beseitigungskosten

bei Anwendung ziemlich strenger Beseitigungsrichtlinien auf alle in den USA inzwischen reglementierten Umweltschmutzstoffe sich auf etwa 1,4-1,9% des Bruttosozialprodukts belaufen würden. Unter weniger strengen Maßstäben – und in dem Modell wurde angenommen, daß weniger strenge Maßstäbe in London mit niedrigerem Pro-Kopf-Einkommen als den USA gelten würden – würden sich die Gesamtkosten der Beseitigungstechnik auf etwa 0,5-0,9% des Bruttosozialprodukts belaufen.

In dem Energieeinsparungs-Lauf für das US-Wirtschaftsministerium wurden die folgenden Tendenzen festgestellt: In den Industrieregionen, deren Wachstumsraten im Modell durch Arbeitskräftemangel beschränkt waren, bestand der größte Effekt der Energieeinsparung in der Senkung der Zahlungsbilanzdefizite. In den UL, wo das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts durch Zahlungsbilanzdefizite begrenzt war, senkte die Energieeinsparung durch Verringerung eben dieses Defizites die hauptsächliche Hemmschwelle für das Wirtschaftswachstum und führte daher auch dort zu einer Zunahme des BIP. In allen Regionen führte der Kapitalbedarf für die Energieeinsparung dazu, daß das Energieeinsparungsszenario mehr Ersparnis und weniger Verbrauch erforderte. Die erforderliche Veränderung der Ersparnisquote war hoch genug, um die Notwendigkeit einer fühlbaren Veränderung der Verteilung des Geldes zwischen Ersparnis und Verbrauch zu implizieren – nämlich eine Zunahme der Ersparnis von etwa 17 auf 23%.[11]

In den von den Modellkonstrukteuren selbst entworfenen politischen Tests des Modells konstruierten sie Szenarien, um zu vergleichen, welche Folgen es für die UL hätte, wenn sie sich anstatt auf umweltverschmutzungsintensive Exportstrategie auf Standardmuster der Entwicklung verlegen würden. Zweck dieses Tests war die Überprüfung der Frage, ob die UL ihre Aussichten auf Wirtschaftswachstum verringern würden, wenn sie es mieden, zum spezialisierten Standort für die schmutzigeren Industrien zu werden, die die Industrienationen unter Umständen von ihrem eigenen Grund und Boden verbannen wollen. Aus diesen Tests kamen die Modellkonstrukteure zu dem Schluß, daß »der umweltverschmutzungsintensive Ansatz sich bezogen auf das Kapital als kostspieliger erweist und mehr Einsatzfaktoren erfordert. Dieser Ansatz würde auch umfangreiche Verschiebungen in der Erzeugnismischung der unterentwickelten Volkswirtschaft implizieren und keineswegs vernachlässigbare Auswirkungen auf die Umwelt haben . . . kurzum, mehrere ökonomische Kriterien sprechen zu Gunsten der konventionellen und gegen die umweltschmutzintensive Strategie – sofern, und dies ist sehr wichtig – überhaupt eine Entscheidungsmöglichkeit besteht.«[12]

Andere Schlußfolgerungen aus der Modellstudie konzentrierten sich auf die Folgen der beschleunigten Entwicklung der unterentwickelten Länder. Die wichtigsten darunter waren: (1) ein beschleunigtes Wachstum würde vermutlich

erfordern, daß die Schwerindustrie schneller wächst als die anderen Industriesektoren; (2) hohe Einkommenselastizitäten der Nachfrage nach Importen würden wahrscheinlich für UL mit beschleunigten Entwicklungsstrategien schwere Zahlungsbilanzprobleme schaffen; und (3) »Um eine beschleunigte Entwicklung zu gewährleisten, müssen zwei allgemeine Bedingungen geschaffen werden: erstens ein umfassender innerer Wandel gesellschaftlichen, politischen und institutionellen Charakters in den Entwicklungsländern und zweitens bedeutende Veränderungen der Weltwirtschaftsordnung. Eine beschleunigte Entwicklung, die zu einer beträchtlichen Verringerung der Einkommenskluft zwischen den entwickelten und den Entwicklungsländern führen soll, kann nur durch eine Kombination dieser beiden Bedingungen erreicht werden. Es liegt auf der Hand, daß jede von ihnen einzeln genommen, unzulänglich ist, wenn sie jedoch Seite an Seite entwickelt werden, werden sie das gewünschte Ergebnis herbeiführen können.«[13]

Dokumentation

Die öffentlich erhältliche Dokumentation des Weltmodells der UNO ist adäquat um einen informierten Leser ein gutes Grundverständnis der Struktur und Funktionsweise des Modells zu geben. Um jedoch zu einem Verständnis aller Einzelheiten darüber zu gelangen, wie seine Parameter beschaffen sind, woher die Daten stammen, und welche statistischen Meßverfahren mit welchen geschätzten Parameters zusammengehören, müßte man die Frage fast mit den Modellkonstrukteuren selbst erörtern. Anne Carter teilte dem Stab von *Global 2000* mit, die Modellkonstrukteure hätten sorgfältig Protokoll geführt, und die mathematische Dokumentation werde an die UNO weitergeleitet. Zur Dokumentation der Arbeit für ein größeres Publikum fehlen die Mittel. Außerdem betrachten die Konstrukteure ihre Arbeit in der vorliegenden Form als unvollendet und würden sie gern umfangreichen weiteren Prüfungen, Verbesserungen und Entwicklungen unterziehen, bevor sie der Öffentlichkeit eine detaillierte Dokumentation vorlegen.[14]

Anmerkungen

1. Wassily Leontief, "Structure of the World Economy: Outline of a Simple Input-Output Formulation" (Nobel Memorial Lecture), *American Economic Review*, Dec. 1977, pp. 823–34.
2. Ibid, p. 823.
3. Anne Carter, verbal communication to the Global 2000 Study staff, Nov. 14, 1977.
4. Peter A. Petri, "An Introduction to the Structure and Application of the United Nations World Model," *Applied Mathematical Modeling*, June 1977, p. 263.
5. Wassily Leontief et al., *The Future of the World Economy*, New York: Oxford, 1977.
6. Anne P. Carter and Alan K. Sin, "An Energy Conservation Scenario for the World Model," prepared for the

U.S. Department of Commerce, Bureau of International and Economic Policy, at Brandeis University, Nov. 1977, p. 2.
7. Leontief et al., *The Future of the World Economy*.
8. Dennis L. Meadows et al., *Dynamics of Growth in a Finite World*, Cambridge, Mass.: Wright-Allen, 1974, p. 500.
9. Anne Carter, verbal communication.
10. Leontief et al., *The Future of the World Economy*, p. 7.
11. Anne P. Carter and Alan K. Sin.
12. Petri, p. 267.
13. Leontief et al., *The Future of the World Economy*, p. 11.
14. Anne Carter, verbal communication.

TEIL IV
VERGLEICH DER ERGEBNISSE

30 Vorwort zum Vergleich der Modelle

Global 2000 sucht nach Antworten auf zwei Fragen: Welches sind die wahrscheinlichen Trends für globale Bevölkerung, Ressourcen und Umwelt bis zum Jahre 2000? Und: Woher leitet die komplexe Institutionenstruktur der US-Regierung ihre Erwartungen über diese Dinge ab? Die letztere Frage wird untersucht, um die Prognosefähigkeiten von Behörden der US-Exekutive zu untersuchen, ihre Stärken und Schwächen zu beschreiben und alternative Methoden zu prüfen, mit denen einige der ermittelten Schwachstellen behoben werden können.

Der methodologischen Frage ist in diesem Band wie folgt nachgegangen worden: Zunächst wurden in Kap. 14 die Bedeutungen von Prognosen mittels einer Sammlung getrennt entwickelter und gerechneter Modelle erörtert. Diese Diskussion betonte die verzerrende Wirkung bruchstückhafter Prognosen über eine hochgradig miteinander verzahnte Welt. Sodann wurden in den Kap. 15 bis 23 spezifische Prognosewerkzeuge untersucht, die von US-Bundesbehörden – oder von anderen Stellen wie bei den Prognosen über das Bruttosozialprodukt – entwickelt worden sind und verwendet werden. Drittens wurden in den Kap. 25 bis 29 fünf Fallstudien von Weltmodellen abgehandelt, die stärker integriert sind als das Weltmodell der Regierung.

Das folgende Kapitel verknüpft in zwei Schritten die losen Enden aus der Diskussion über die Methodologie der Modellkonstruktion. Zunächst wird ein Vergleich zwischen den fünf nichtregierungsamtlichen integrierten Modellen angestellt. Dieser Vergleich hebt hervor, wie die begrifflichen und mathematischen Strukturen der Modelle deren Ergebnisse und Schlußfolgerungen beeinflussen, und wie institutionelle Faktoren sich auf die Modellkonzeptionen auswirken. Der Ideengehalt eines Modells ist für die Gestaltung von dessen Prognosen seiner Parameterisierung zumindest gleichberechtigt. Der Text will zeigen, daß die Modellbildung mehr umfaßt, als aus dem Klischee »Salat hinein, Salat heraus« hervorgeht. Wenn dieses Klischee auf irgend etwas paßt, dann sind es Modelle mit statischer, linearer Struktur ohne endogene Rückkopplung.

Schließlich wird der Versuch gemacht, die Frage zu beantworten »Wie würden sich die Schlußfolgerungen des Weltmodells der Regierung verändern, wenn das Modell stärker integriert wäre?« Ein konzeptionell reizvolles Experiment wurde unternommen, um diese Frage anzugehen. Zwei der bereits beschriebenen *integrierten* Weltmodelle (das Modell World 3 und das World Integrated Model von Mesarowic-Pestel) wurden ausgewählt, weil sie für das Experiment verfügbar

waren, und durch Unterbrechung der inneren Regelkreise so umstrukturiert, daß sie eine gewisse Ähnlichkeit mit dem in Kap. 14 beschriebenen Weltmodell der Regierung aufwiesen. Der Vergleich der Rechendaten aus den ursprünglich integrierten Versionen der Modelle mit den Ergebnissen aus den schwächer integrierten, abgewandelten Versionen wurde sodann herangezogen, um zu bestimmen, wie anders die Prognosen des Weltmodells der Regierung ausfallen würden, wenn es stärker integriert wäre.

31 Die Vergleiche

Vergleich der integrierten Weltmodelle

Die Konstruktion von Weltmodellen hat noch keine solide Grundlage. Der größte Teil der Finanzierung für die in diesem Band beschriebenen Weltmodelle entstammt privaten Quellen. Keines der Modelle ist auf stabile Art und Weise mit dem Entscheidungsprozeß der Regierung verbunden. Das Weltmodell von Mesarovic-Pestel und das der UNO werden von Beschlußgremien der Regierung als Analysewerkzeuge benutzt, aber nur als Informationsquellen am Rande und nicht als Hauptwerkzeuge der Analyse. Der Mangel an Dauerklienten ist ein starkes Hemmnis für die Weiterentwicklung von Weltmodellen. Ein ziemlich großer Teil der bei der Konstruktion von Weltmodellen qualifizierten Systemanalytiker ist gegenwärtig auf der Suche nach Finanzierungen, um vorhandene Modelle weiterentwickeln zu können. Manche Weltmodellkonstrukteure sind weitergezogen auf saftigere Weiden.

Die Schwierigkeiten bei der Anpassung der Weltmodellbildung an die politische Struktur scheinen im institutionellen Charakter des politischen Entscheidungsprozesses zu liegen. Die einzigen Menschen, die die Macht haben, sich zusammenhängend mit Weltproblemen zu befassen, haben hohe Ämter inne und im allgemeinen nicht die Zeit, die Verwendung der Resultate von Weltmodellen zu lernen. Der Amtsbereich keiner Behörde ist so umfassend, daß sie ein interministerielles Modell in Auftrag geben und unterhalten könnte. Die vorhandenen Stellen zur Behörden-Koordination ersticken bereits in Informationen und sind in ihrem Handeln durch politische Sachzwänge eingeschränkt.

Wenn sie einen positiven Beitrag zu Regierung und Verwaltung leisten will, muß die integrierte Modellbildung einen Arbeitsstil entwickeln, der (1) die Informationsflüsse vereinfacht (d. h. weniger Arbeitsanfall über die amtsinternen Postfächer, weniger Konferenzen und Telefonanrufen und mehr knappe und kompakte Diskussionen der Probleme) und (2) die Mitarbeit und die politische Unterstützung der Behörden hat, deren getrennte Kompetenzbereiche im Modell zusammenwirken.

Struktur

Integrierte Weltmodelle neigen dazu, die traditionelle Frage der Volkswirtschaftslehre, wie die Allokation knapper Ressourcen auf alternative Nutzungen erfolgen soll, zu mehreren umfassenden Fragen zu erweitern: Woher kommt die Nachfrage nach Ressourcen? Wie entwickelt sie sich im Zeitverlauf? Wie verhält sich der Zuwachs der Nachfrage zu Veränderungen der Wirtschaftsstruktur und der Vorräte an natürlichen Ressourcen, ohne die es kein Angebot gibt?

Die zwei Grundformen wachsender Bedürfnisse, die von integrierten Modellen sichtbar gemacht werden, sind menschliche Grundbedürfnisse im Zusammenhang mit dem Zuwachs der Bevölkerung und ökonomische Bedürfnisse im Zusammenhang mit dem Wachstum und der Erhaltung von Wirtschaftssystemen. Diese Ausweitung des Modellbereichs hat starke Auswirkungen auf die Ergebnisse der Analyse. Die Auswirkungen auf Bevölkerung und Ressourcen werden nachstehend behandelt, und auch das allgemeine Versagen sogar des erweiterten Ansatzes bei der adäquaten Einbeziehung der Umwelt wird erörtert.

Bevölkerung und menschliche Grundbedürfnisse

Wenn die Bevölkerungsdynamik in Modelle des Weltsystems eingebracht wird, konkurrieren physische Bedürfnisse und ökonomische Erfordernisse um Anerkennung. Wenn die Bedürfnisse der Bevölkerungen nicht befriedigt werden, sterben Menschen, wandern aus oder ändern ihre Grundstrukturen des Wirtschaftsverhaltens, um ihre Bedürfnisse befriedigen zu können (z. B. durch Substituierung eines Typs von Gütern durch einen anderen, oder durch Veränderung des Produktionssystems). Anders gesagt, wird es erforderlich, andere Systemanpassungsprozesse als den des Preismechanismus zu beobachten.

Die realen Verknüpfungen zwischen Bedürfnisbefriedigung und Bevölkerungsverhalten sind spärlich. Die Modellkonstrukteure gehen verschieden an sie heran. In MOIRA (Model of International Relations in Agriculture) werden unbefriedigte Nahrungsbedürfnisse gezählt und das Verhältnis des Lebensstandards zwischen ländlichen und städtischen Standorten wird als Treibermechanismus für die Wanderungsfunktion des Modells benutzt. In den Modellen World 2 und 3 und in dem Modell von Mesarovic-Pestel beeinflußt der Umfang der Befriedigung ökonomischer und Nahrungsbedürfnisse die Geburten- und Sterberaten. In einigen Versionen des Mesarovic-Pestel-Modells führt das Nichtbefriedigen von Bedürfnissen zum Sinken der volkswirtschaftlichen Produktion. Die Bedürfnisbefriedigung ist das Kernstück des lateinamerikanischen Weltmodells, und die Rücksicht auf menschliche Bedürfnisse ist das Motiv dafür, daß für das Modell ein

Allokationsmechanismus ausgewählt wurde, bei dem Kapital und Arbeit so zugewiesen werden, daß die Lebenserwartung bei Geburt maximiert wird. Keine Rückkopplung zwischen Bedürfniserfüllung und volkswirtschaftlicher Leistung ist im Weltmodell der UNO enthalten; statt dessen werden sichtbare Problemgebiete außerhalb des Modells identifiziert und als Stellen angesehen, wo das Modell unrealistisch wird.

Ressourcen und Wirtschaftsbedürfnisse

Viele Ressourcen-Eingabedaten, darunter Boden, Wasser, mineralische Rohstoffe, Energie und erneuerbare biologische Ressourcen sind im Weltsystem wichtig. Jede von ihnen könnte sich örtlich, wenn nicht gar weltweit, als Grenze erweisen. Wie zwingend die von solchen Ressourcen gesetzten Grenzen werden, hängt davon ab, welche Substitutionen erfolgen, wie erfolgreich Grenzen durch Technologie überwunden werden und wie gut das Wachstum in Strukturen kanalisiert wird, die den Ressourcengrenzen nicht widersprechen.

Nur eines der Modelle der in dieser Studie enthaltenen Reihe enthält keine endogenen Grenzen natürlicher Ressourcen – das Weltmodell der UNO. (Es enthält jedoch in einigen seiner Betriebsarten Grenzen für Kapital und Arbeit, und die Kapitalgrenze könnte implizit zur Rohstoffgrenze werden, wenn die exogene Funktion der Rohstoffpreisfestsetzung mineralische Rohstoffe und Energie sehr teuer werden läßt.) Alle Modelle enthalten eine Nutzflächengrenze – bei jedem wird eine Funktion formuliert, die die Kosten der Expansion der Agrarproduktion in dem Maße steigen läßt, wie das System seinen Vorrat an ungenutztem anbaufähigem Land erschöpft. In allen untersuchten Modellen kann diese Grenze potentiell dadurch zum beherrschenden Merkmal der Systemstruktur werden, daß sie die Expansion der Landwirtschaft einschränkt und damit Nahrungsmitteldefizite erzeugt. Große Unterschiede weisen die Modelle in ihren Formulierungen über den Punkt auf, wo die Nutzflächengrenze sichtbar wird. In den Modellen World 2 und 3 tritt er als weltweites Aggregat auf, und die Produktionskapazität des Bodens hat zwei Dimensionen, die die Nahrungsmittelproduktion einschränken können: Bodenfruchtbarkeit und kultivierte Fläche. Da die anderen hier betrachteten Modelle geographisch aufgegliederte Nutzflächengrenzen verwenden, die nur die Verfügbarkeit von Böden anerkennen (d. h. die Bodenfruchtbarkeit vernachlässigen), befinden sich die Modelle World 2 und 3 in der paradoxen Situation, daß sie gleichzeitig die komplexeste und am wenigsten detaillierte Formulierung der von der Nutzfläche gezogenen Wachstumsgrenze verwenden.

MOIRA ist im Vergleich dazu äußerst detailliert und begrifflich einfach. Das Modell enthält 106 getrennte Agrarproduktionsfunktionen. In jeder führt die

Investition in der Landwirtschaft innerhalb einer bestimmten geopolitischen Region zur erhöhten Nahrungsmittelproduktion, die dem abnehmenden Ertragszuwachs unterliegt. Der Handel bewegt über eine Marktformulierung Nahrungsmittel aus Gebieten mit weniger intensiv genutzten Bodenressourcen in Gebiete mit Nutzflächenengpässen. Ähnliche Formulierungen mit regionalen Darstellungen von durch Handel verknüpften Nutzflächenengpässen werden vom lateinamerikanischen Weltmodell und vom Mesarovic-Pestel-Modell verwendet. Keines der anderen Modelle jedoch versucht, die Detailliertheit von MOIRA zu erreichen, und das lateinamerikanische Modell schätzt die Rolle des Handels gering. Der Ressourcenengpaß bei Nutzflächen wirkt sich sowohl bei den Modellen World 2 und 3 als auch beim Mesarovic-Pestel-Modell indirekt auf die nicht landwirtschaftliche agrarische Volkswirtschaft des Modells aus. Wenn die Nachfrage nach Nahrungsmitteln hoch und die Investitionserträge niedrig sind, ziehen die Modelle beträchtliche Kapitalbeträge aus anderen Wirtschaftssektoren ab und investieren sie in der Landwirtschaft. Dies läßt das Wirtschaftswachstum außerhalb des Agrarsektors häufig stocken. Im Mesarovic-Pestel-Modell tritt dies besonders leicht im südasiatischen Regionalmodell auf.

Das Modell von Mesarovic-Pestel, die Modelle World 2 und 3 und das Weltmodell der UNO enthalten alle mineralischen und/oder Energieressourcen. Im Modell der UNO ist die Darstellung wenig mehr als ein buchhalterisches Mittel zum Aufaddieren der verbrauchten Ressourcen. Die World-Modelle und das Mesarovic-Pestel-Modell verwenden Formulierungen, in denen die Erschöpfung der Rohstoffreserven die Produktion verlangsamt, die Preise in die Höhe treibt und die Grundprozesse des Wirtschaftswachstums dämpft. Das Mesarovic-Pestel-Modell enthält multiple Energie- und Ressourcenkategorien und macht die Substitution zwischen Energiequellen explizit, indem es den relativen Preisen substituierbarer Ressourcengruppen gestattet, die Richtung der Investition zur Erschließung von Ressourcen zu bestimmen – d. h. die Investitionen wandern zu dem Energietyp, der die höchsten Investitionserträge bietet. In den Rechenläufen treten Energiedefizite im Mesarovic-Pestel-Modell im allgemeinen dadurch ein, daß die Investition in Energiekapital nicht rasch genug für die Erzeugung eines ausreichenden Angebots erfolgte, und nicht etwa wegen tatsächlicher Ressourcenverknappung. In den Modellen World 2 und 3 nehmen die Förderkosten in dem Maße zu, wie der Anteil der verbleibenden Reserven immer kleiner wird. Kostensteigerungen wirken zurück im Sinne einer Verlangsamung des Wirtschaftswachstums.

Die Kombination aus endlichen, erschöpfbaren und/oder erodierbaren Ressourcenvorräten und exponentiell wachsenden Volkswirtschaften und Bevölkerungen macht alle die hier betrachteten Weltmodelle mit Ausnahme des UNO-Modells anfällig für einen ökonomischen Zusammenbruch. Wie lange der

Zusammenbruchsmodus anhält, hängt davon ab, wie streng die Modellkonstrukteure die Ressourcengrenzen des Wachstums definiert haben. Wo das Modell mit großen Mengen unerschlossenen anbaufähigen Lands mit geringen Entwicklungskosten ausgestattet wurde, geht das landwirtschaftliche Wachstum ungehindert bis zum Jahre 2000 weiter, und vielleicht sogar noch weit darüber hinaus. Das Wachstum kann auch dort ungehemmt von Ressourcengrenzen fortschreiten, wo die Sektoren für Energie und mineralische Rohstoffe mit großen Reserven initialisiert wurden, wo in den Modellformulierungen eine Substitution durch eine unbeschränkte Ressourcenbasis zugestanden wird (wie im Mesarovic-Pestel-Modell, bei dem angenommen wird, daß Kernbrennstoff in unbegrenztem Umfang, wenn auch zu ziemlich hohen Kosten zur Verfügung steht), oder wo die Technologie mit der Macht ausgestattet wurde, die Produktion ohne Ressourcenkosten expotentiell zu steigern (wie in einigen Läufen, die von der Forschungsgruppe der University of Sussex mit World 3 durchgeführt wurden).* Wo derart rettende Annahmen nicht in Weltmodelle eingebaut sind, simulieren sie fast unweigerlich den wirtschaftlichen Zusammenbruch.

Umwelt

Mit Ausnahme der Modelle World 2 und 3, die sowohl die Bodenverschlechterung als auch die durch Umweltverschmutzung verursachte biologische Zerstörung berücksichtigen, geht keines der untersuchten Modelle auf die (sehr wahrscheinliche) Möglichkeit ein, daß die Veränderungen physischer Systeme durch den Menschen die biologischen Systeme so beeinflussen kann, daß die ökonomische, landwirtschaftliche oder Bevölkerungsdynamik beeinträchtigt wird. Praktisch alle der in der Umweltprognose erörterten Umweltprobleme werden damit ignoriert.

Die grundlegende Form, in der die Daten in den meisten Modellen organisiert sind, scheint eine effektive Modellbildung über die Umwelt auszuschließen. Bisher ist die Primäreinheit zur Datensammlung die Nation. Die meisten Datensammlungen konzentrieren sich auf Volkswirtschaft oder Bevölkerungsstatistik. Doch erhalten wir zunehmende Mengen von Umweltdaten – bisweilen in Formen, die nicht nach politischen Einheiten aggregiert sind – über Umweltbeobachtung und Satellitenfotografie.

Solange Weltmodelle nach den in älteren Datenquellen implizit enthaltenen Begriffen organisiert sind, muß ihre Behandlung von Umweltproblemen oberflächlich bleiben. Ökologische Systeme richten sich nicht an politische Grenzen. Der Versuch, ökologische Entwicklungen unter Verwendung nationaler Daten-

* H. S. D. Cole, ed., *Models of Doom*, New York: Universe Books, 1973, pp. 117-18.

grundlagen im Auge zu behalten, ist nur wenig sinnvoller als der, politische Beziehungen aus der alphabetischen Reihenfolge der Nationen zu ermitteln – oder chemische Reaktionen zu verstehen, indem man chemische Stoffe nach ihrer Farbe und nicht nach ihrer Atomstruktur klassifiziert.

Bevor die Modellkonstrukteure aussagefähige Umweltmodelle bauen können, mit denen realistische Prognosen über Umweltprobleme wie Wüstenausbreitung, Erosion, Wasserversorgung, Walderhaltung und Fischerei abgeleitet werden können, werden sie sich Umweltprobleme in Form von Aggregaten ähnlich funktionierender ökologischer Einheiten vorstellen müssen. Wenn man verstehen will, wie sich Umweltprobleme wahrscheinlich entfalten werden, ist es sinnvoller, Systemgruppen zu betrachten, die sich ähnlich verhalten, wie Industriestädte, Grasland, Reisfelder, Mündungsgebiete und tropische Regenwälder, anstatt solche Einheiten nach den nationalen Grenzen zu gruppieren, innerhalb der sie auftreten.

Die übliche Reaktion auf den Vorschlag, die Umweltanalyse solle über die Zusammenfassung ähnlicher ökologischer Systeme vorgehen, ist die Antwort: »Ein guter Einfall, aber wir haben einfach die Daten nicht.« Ist aber das Fehlen von Daten ein zwingender Engpaß? Bei guter Organisation kann eine kleine Datenmenge weit gestreckt werden. Man bedenke nur, wieviel der Archäologe aus ein paar Bruchstücken eines Kieferknochens folgern kann. Oder man erinnere sich an die Mühe der Makroökonomen in den 30er Jahren, als man gerade anfing, die nationalen Budgetdaten zu sammeln. Es müßte eine Möglichkeit geben, die gegenwärtig verfügbaren Bruchstücke aus ökologischen Untersuchungen, Satellitendaten, meteorologischen Tabellen und Bodenuntersuchungen, zu einem plausiblen Untersuchungsrahmen der globalen Umwelt zu verschweißen – der zur Identifizierung der Daten verwendet werden könnte, die in Zukunft gesammelt werden sollten, um bessere Indices der Umweltentwicklung zu erhalten.

Es ist klar, daß die wirkliche Welt mit ihrem hohen Ausmaß wechselseitiger Zusammenhänge und Verknüpfungen sich nicht so verhalten wird, wie es die getrennt entwickelten Behördenprognosen nahelegen. Nicht klar ist jedoch, wo die Unterschiede zwischen der wirklichen Welt und der Modellwelt liegen werden. Um Erkenntnisse über diese Frage zu gewinnen, hat *Global 2000* Läufe des Modells World 3 (vgl. Kap. 25) und des *World Integrated Model* (der neuesten Version des in Kap. 26 beschriebenen Weltmodells von *Mesarovic-Pestel*) in Auftrag gegeben, um die Auswirkungen der Unterbrechung von Systemverknüpfungen auf die Simulationsergebnisse der Modelle zu untersuchen.

Vergleich des Weltmodells der Regierung mit dem Modell World 3

Das World-3-Modell besteht aus fünf interaktiven Sektoren: Bevölkerung, Kapital, Landwirtschaft, nicht erneuerbare Ressourcen und dauerhafte Umweltverschmutzung.* In den für *Global 2000* durchgeführten Simulationen wurden alle Verbindungen zwischen den Sektoren unterbrochen und exogene Eingabedaten an die Stelle der Informationen gesetzt, die zuvor zwischen den Sektoren ausgetauscht worden waren. Auf diese Weise wurden die intersektoriellen Schaltungen des Modells von der in Fig. 31-1 gezeigten stark interaktiven Struktur in die exogen programmierte Struktur von Fig. 31-2 verändert. Die zum Treiben der nicht verknüpften Version verwendeten exogenen Eingabedaten sind in Tab. 31-1 angegeben.

Wie aus Fig. 31-3, der Simulation mit offenem Regelkreis, zu entnehmen ist, werden mehrere Variablen exogen zur selben Zeit in einem Sektor des Modells eingespeist, wie sie in einem anderen Sektor endogen berechnet werden. So z. B. wird die Bevölkerung exogen in den Kapitalsektor eingegeben, während sie

Tab. 31-1
Exogene Eingabedaten und Annahmen in den World-3-Simulationen für die Global-2000-Studie

Eingabe	Annahme
Industrielles Kapital	Fortgesetztes exponentielles Wachstum bei 3,7% jährlich.
Industrieller Output	Gleiches Muster wie beim industriellen Kapital (exponentielles Wachstum bei 3,7% jährlich).
Dienstleistungsoutput	Fortsetzung des historischen Trends, Wachstum bei 3% jährlich.
Anbaufähiges Land	Abnehmende Zuwachsrate, bis sich 2010 ein Gleichgewicht bei 27 Mrd. ha einstellt.
Nahrungsmittel	Ertragszuwachs bei 2,0% jährlich (historische Rate).
Bevölkerung	Exponentielles Wachstum mit der historischen Rate von 1,2% jährlich; bis 2000 werden 5,3 Mrd., bis 2100 17,6 Mrd.[a] erreicht sein.
Verschmutzung	Das Niveau der bleibenden Verschmutzung wurde konstant gleich Null gehalten.

[a] Die Zahl ist unrealistisch hoch, doch erscheint sie in dem Kontext, in dem sie verwendet wurde, nicht problematisch.

* *Für eine vollständige Beschreibung der Sektoren vgl. Dennis L. Meadows et al., Dynamics of Growth in a Finale World,* Cambridge, Mass.- Wright-Allen Press, 1974.

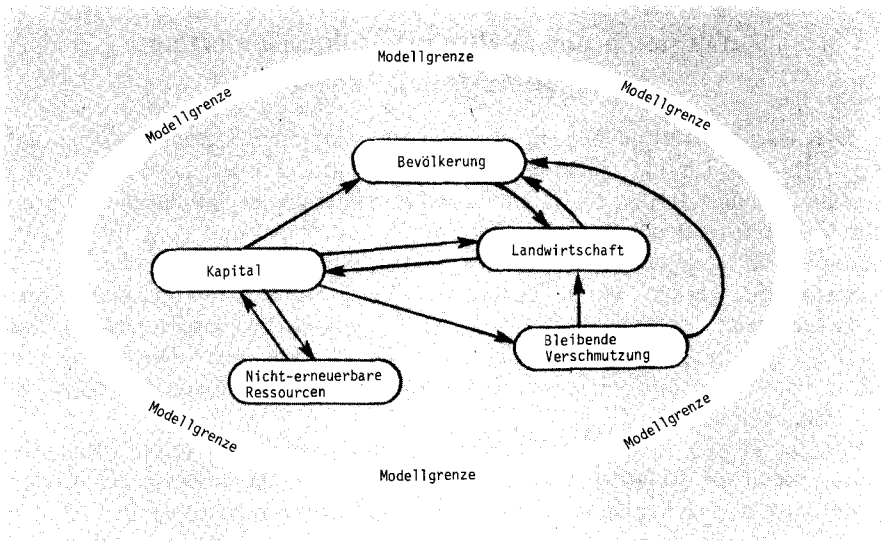

Fig. 31-1. World 3, Sektorenverknüpfungen *vor* der Unterbrechung der Verknüpfungen.

endogen im Bevölkerungssektor berechnet wird. Dieses doppelte Auftreten von Variablen muß man sich merken, weil sonst die Interpretation der Simulationsrechenergebnisse auf den nächsten Seiten nur Verwirrung stiftet.

Der Weg der exogen getriebenen Variablen im Zeitverlauf geht aus Fig. 31-3 hervor. Die Modellkonstrukteure entschieden sich dafür, den Simulationszeitraum bis zum Jahre 2100 zu verlängern, weil ausgeprägte Unterschiede zwischen den mehr oder weniger integrierten Modellstrukturen erst seit dem 21. Jahrhundert sichtbar werden.

Ergebnisse

Bevölkerung. Die Ergebnisse der integrierten Standardversion von World 3 gehen aus Fig. 31-4 hervor. Mit ihnen verglichen werden die Ergebnisse von Simulationen mit offenem Regelkreis. In diese Simulation wurde die Bevölkerung von den in Tab. 31-1 gezeigten exogenen Eingabedaten für Industrieerzeugung, Dienstleistungen, Nahrungsmittel und Umweltverschmutzung getrieben. Mit diesem Rechenantrieb veränderte sich Bevölkerung durch die Dynamik des Bevölkerungssektors von einer rasch wachsenden Bevölkerung mit hoher Fruchtbarkeitsziffer und relativ hoher Sterblichkeitsziffer zu einer langsam wachsenden

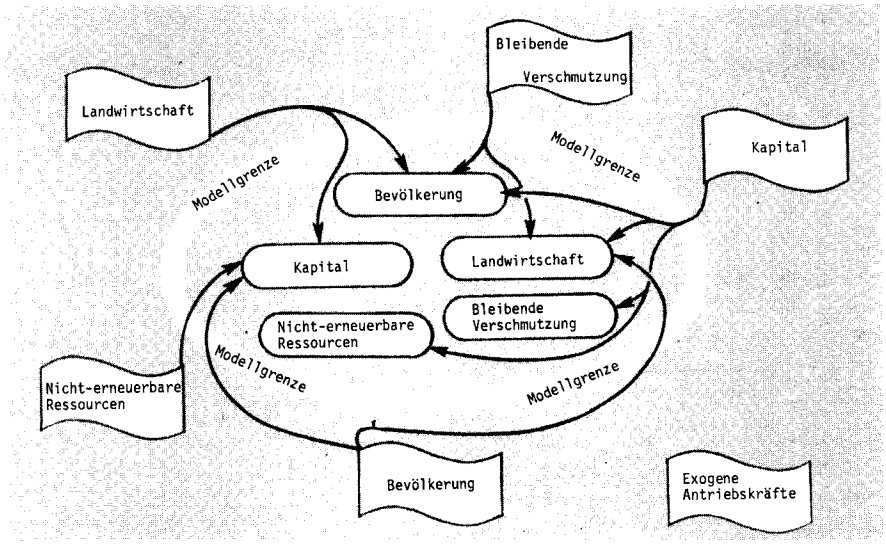

Fig. 31-2. World 3 *nach* der Unterbrechung der Sektorenverknüpfungen und der Einführung exogener Antriebskräfte.

Bevölkerung mit geringer Fruchtbarkeitsziffer und geringer Sterblichkeitsziffer. Die Bevölkerung stabilisierte sich bis zum Jahre 2100 nicht vollständig; wurde jedoch auf etwa 13,5 Milliarden reduziert – also auf etwa 4 Milliarden weniger als die unter der Annahme einer konstanten Zuwachsrate von 1,2% jährlich für das Jahr 2100 errechneten 17,6 Milliarden. Andererseits war das Bevölkerungsergebnis um etwa 8,5 Milliarden höher als das im Standardlauf von World 3 für 2100 ermittelte.

Die beträchtlichen Unterschiede bei den Rechendaten ergeben sich natürlich aus der Modellstruktur. Im Gegensatz zu Simulationen mit dem voll zusammengeschalteten Modell war die Simulation des Bevölkerungssektors mit exogenen Eingabedaten nicht mit den Industrie- und Landwirtschaftsstrukturen verknüpft, die beim Versuch zusammenbrechen, ein anhaltend exponentielles Wachstum im Kontext endlicher Ressourcen an Boden und mineralischen Rohstoffen durchzuhalten. Statt dessen steht die Bevölkerungssimulation hier eingegebenen Annahmen über ein fortgesetztes materielles Wachstum gegenüber.

Zu bemerken ist, daß die Unterschiede zwischen den Prognosen mit offenen und mit geschlossenen Regelkreisen bis zum Jahr 2100 augenfällig werden, aber bis 2000 kaum bemerkbar sind. (Vgl. Fig. 31-4 und 31-5). Dies läßt darauf schließen, daß die Effekte der Systemschaltungen auf die Bevölkerungsdynamik bei

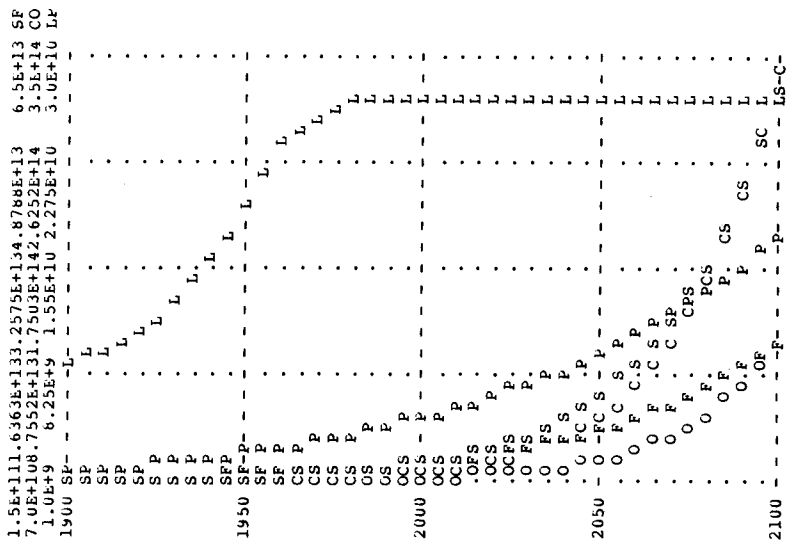

Fig. 31-3. Exogene Eingaben für verschiedene Sektoren von World 3.
Zeichenerklärung für Fig. 31-3 bis 31-5.

B = Geburtenrate
C = Industrielles Kapital
D = Sterberate
F = Nahrungsmittel pro Kopf (Pflanzenäquivalent) in kg/Jahr*
I = Industrielle Erzeugung pro Kopf in Dollar
L = Anbaufähiges Land in ha
O = Industrielle Erzeugung in Dollar
P = Bevölkerung (Personen)
R = Verbleibender Anteil der Ressourcen
S = Dienstleistungen in Dollar pro Jahr
X = Index der bleibenden Verschmutzung (dimensionslos)

* Berechnung: Man addiert die konsumierte pflanzliche Nahrung (in kg) mit dem Siebenfachen der konsumierten tierischen Nahrung (d. h.: Ißt jemand 1 kg Reis und 1 kg Rindfleisch, so verzehrt er das Äquivalent von 1 + 7 kg pflanzlicher Nahrung).

Hinweis zu Fig. 31-1 bis 31-11

Dreht man die Seite im Uhrzeigersinn, so daß die Tabelle aufrecht steht, so geben die oberen drei Zeilen (über der mit 1900 beginnenden Zeile) die Skalen für die in der Rechenausgabe aufgeführten Variablen an. Die zu den einzelnen Skalen gehörigen Variablen sind jeweils rechts davon angezeigt.

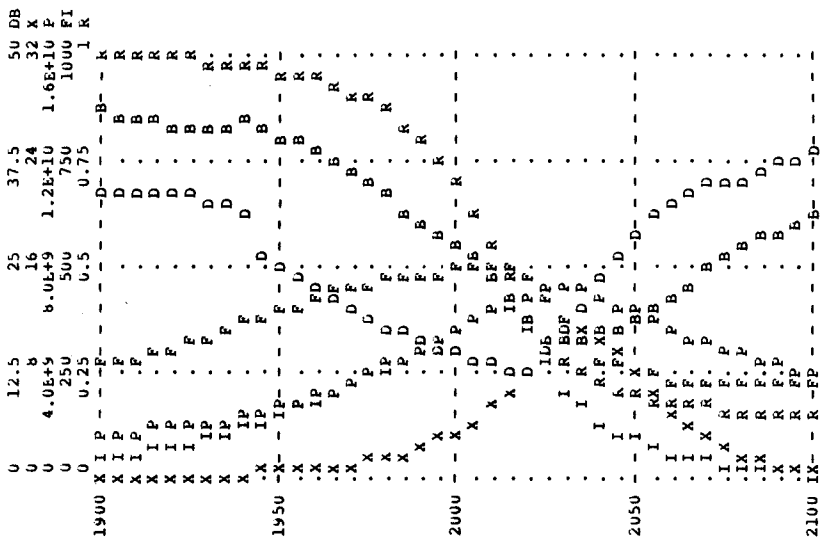

Fig. 31-4. World 3 – Standardlauf (integrierte Version).

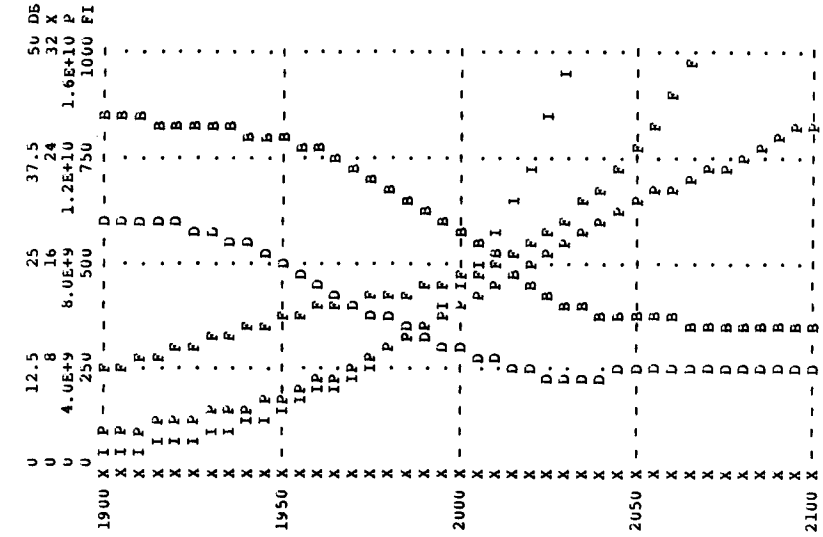

Fig. 31-5. Vier-Ebenen-Bevölkerungssektor mit exogenen Eingaben.

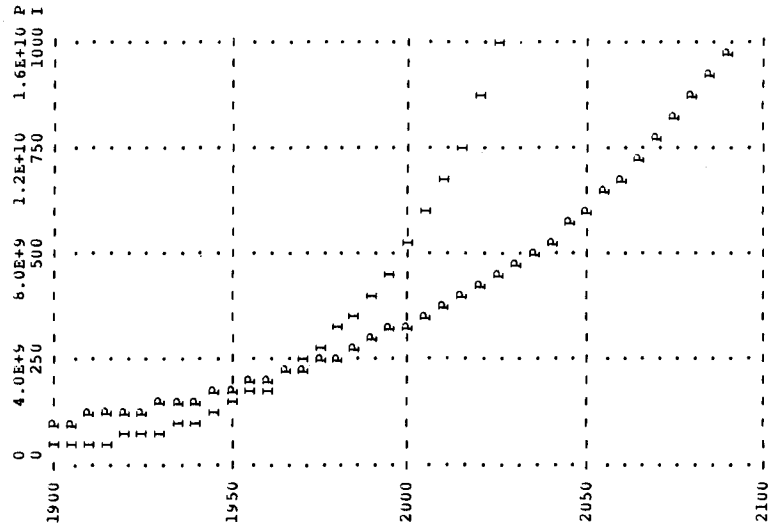

Fig. 31-6. Kapitalsektor mit exogenen Eingaben.
Zeichenerklärung für Fig. 31-6 bis 31-8
F = Nahrungsmittel pro Kopf (Pflanzenäquivalent) in kg/Jahr*
I = Industrielle Erzeugung pro Kopf in Dollar
P = Bevölkerung (Personen)
X = Index der bleibenden Verschmutzung (dimensionslos)
* Berechnung: Man addiert die konsumierte pflanzliche Nahrung (in kg) mit dem Siebenfachen der konsumierten tierischen Nahrung (d. h.: Ißt jemand 1 kg Reis und 1 kg Rindfleisch, so verzehrt er das Äquivalent von 1 + 7 kg pflanzlicher Nahrung).

weltweiten Aggregaten bis zum Jahre 2000 nicht von umwerfender Bedeutung sind.

Kapital. In der Simulation mit offenem Regelkreis wurde der Kapitalsektor von den exogenen Eingabedaten für Bevölkerung, Nahrungsmittel und anbaufähiges Land getrieben (Fig. 31-6). Zusätzlich wurde der für Beschaffung von Ressourcen zugewiesene Kapitalanteil konstant bei 5% gehalten (der im Modell World 3 zu Zeiten ohne Ressourcenverknappung beobachteten Investitionsrate), und der dem Agrarsektor zugewiesene Anteil der industriellen Erzeugung verblieb konstant bei 10% (der »normalen« Allokation in World 3 für Zeiten, in denen das System nicht an die Grenzen der Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen stößt).

So formuliert, war der Kapitalsektor von den Ressourcenengpässen befreit, die

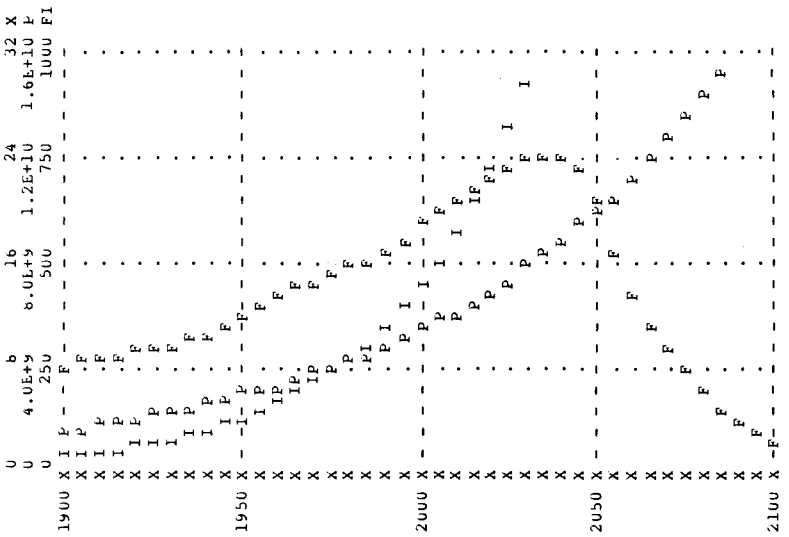

Fig. 31-7. Landwirtschaftssektor mit exogenen Eingaben.

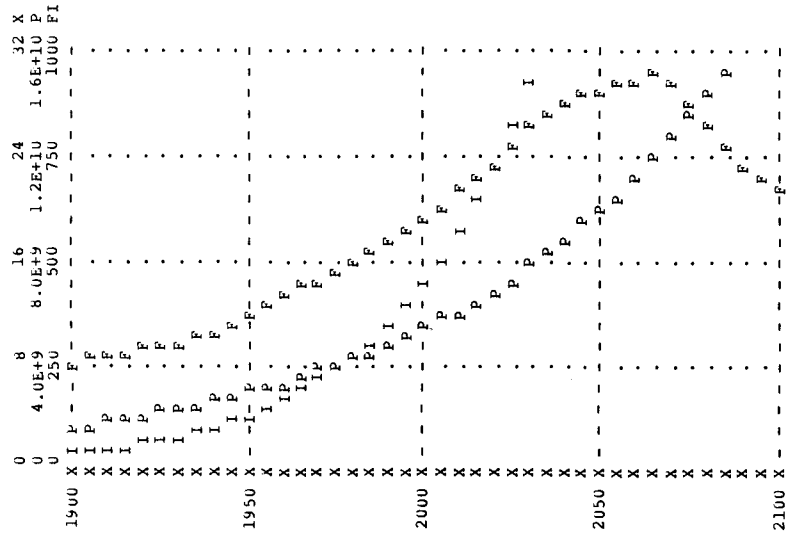

***Fig.* 31-8.** Landwirtschaftssektor mit exogenen Eingaben; es wird unterstellt, daß keine Bodenerosion und keine industrielle Nutzung stattfinden.

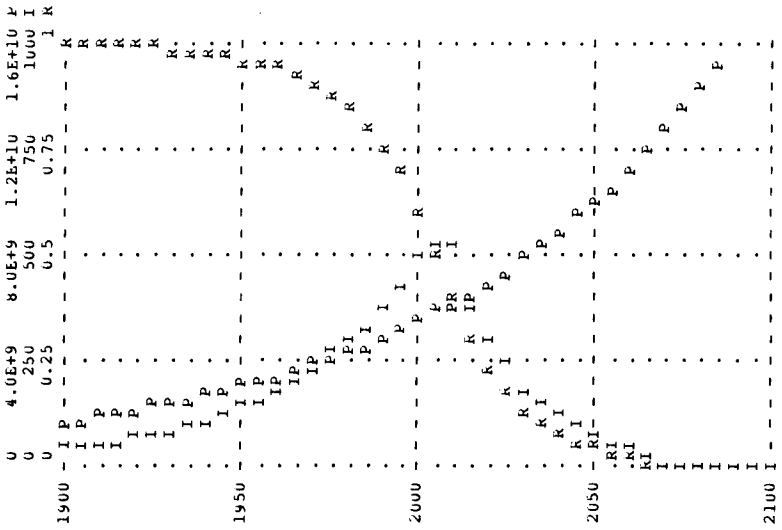

Fig. 31-9. Sektor: Erneuerbare Ressourcen, mit exogenen Eingaben.
Zeichenerklärung zu Fig. 31-9 bis 31-11
I = Industrielle Erzeugung pro Kopf in Dollar
P = Bevölkerung (Personen)
R = Verbleibender Anteil der Ressourcen
X = Index der bleibenden Verschmutzung (dimensionslos)

in der Standardversion von World 3 seinen Niedergang auslösen. Abnehmender Ertragszuwachs bei Investitionen und sinkende Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln pro Kopf der Bevölkerung verschieben nicht wie in der Standardversion die Investition vom Kapitalsektor zum Agrarsektor, und die steigenden Kosten der Rohstoffgewinnung beschneiden nicht die effektiven Investitionserträge im Kapitalsektor. Daher wächst die industrielle Pro-Kopf-Erzeugung, anstatt wie in der Standardversion von World 3 bis zu 2020 zu wachsen und dann abzunehmen, exponentiell mit einer sogar noch höheren Zuwachsrate als der während der Wachstumsphase des Standardslaufs beobachteten. (Vgl. Fig. 31-4 und 31-6).

Landwirtschaft. Beim Agrarsektor wurden die Schaltungen zur industriellen Erzeugung, Bevölkerung und dem der Landwirtschaft zugewiesenen Anteil der Erzeugung unterbrochen. (Fig. 31-7). Die ersten beiden Eingabedaten wurden durch die in Tab. 31-1 beschriebenen exogenen Eingabedaten ersetzt. Der zugewiesene Anteil der Erzeugung wurde konstant bei 10% gehalten. Nach dieser Amputation der intersektoriellen Verbindungen gibt der landwirtschaftliche Sektor eine optimistischere Prognose ab als im Standardlauf. Dennoch strebt auch

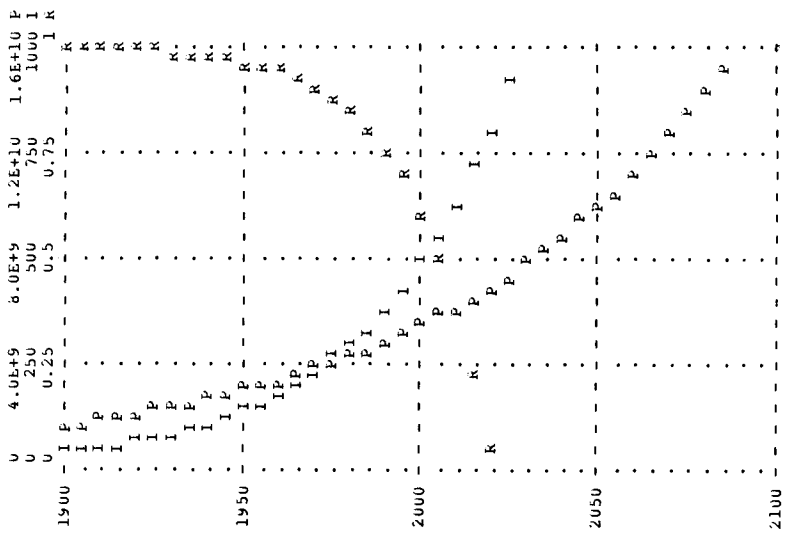

Fig. 31-10. Sektor: Nicht-erneuerbare Ressourcen; es werden konstante Grenzkosten für die Ressourcen unterstellt.

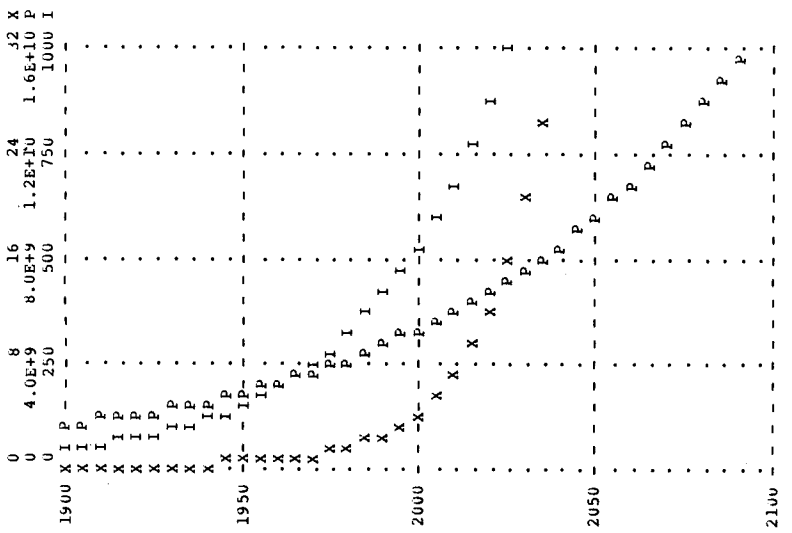

Fig. 31-11. Sektor: Bleibende Verschmutzung, mit exogenen Eingaben.

hier die landwirtschaftliche Erzeugung einer Spitze und dann dem Zusammenbruch zu – wobei der Unterschied darin liegt, daß der für Nahrungsmittel pro Kopf der Bevölkerung erreichte Spitzenwert in der separat gerechneten Prognose eineinhalb mal so hoch ist wie im Standardlauf, und der Niedergang etwa 30 Jahre später einsetzt. (Vgl. Fig. 31-4 und 31-7).

Der Niedergang tritt in den separaten Prognosen aus zwei Gründen ein:

- Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion führt insbesondere dann, wenn sie durch krasse Nahrungsmittelknappheit forciert wird, im Agrarsektor von World 3 zu unzureichenden Investitionen zur Bodenerhaltung und damit zum Rückgang der grundlegenden Produktionskapazität des Bodens.
- Der landwirtschaftliche Sektor steht einem abnehmenden Ertragszuwachs für Einsatzfaktoren und exponentiell steigenden Kosten der Landerschließung gegenüber. Daher ist er nicht in der Lage, die Produktion im Gleichschritt mit einer exponentiellen wachsenden Bevölkerung zu expandieren.

Die Mechanismen, die zur Bodenverschlechterung gehören, sind im landwirtschaftlichen Modell der Regierung nicht enthalten und wurden in einem weiteren Lauf aus dem separat gerechneten Agrarsektor ausgeschaltet, um die Analogie zwischen den Regierungsprognosen und dem amputierten Modell World 3 zu verstärken (Fig. 31-8). Das Ergebnis war eine Veränderung des Zeitablaufs von der Größenordnung, aber nicht des Verhaltensmodus: Die Nahrungsmittel pro Kopf erreichten ihre Spitze später und mit einem höheren Plateau als in dem vorigen amputierten Lauf (vgl. Fig. 31-7 und 31-8), doch stiegen sie immer noch auf ein hohes Niveau und gingen dann zurück.

Nicht-erneuerbare Ressourcen. In der amputierten Version wird der Sektor nicht-erneuerbarer Ressourcen von den in Tab. 31-1 beschriebenen Eingabedaten über exponentielles Wachstum von Bevölkerung und Industriekapital getrieben. Die Verbindung zwischen nicht-erneuerbaren Ressourcen und Industrieproduktion wurde in dieser Simulation beibehalten (Fig. 31-9), und das Abschneiden der industriellen Pro-Kopf-Erzeugung wurde als Index für das Verhalten des Systems benutzt. Zwei Varianten des separat gerechneten Sektors nicht-erneuerbarer Ressourcen wurden simuliert: In der ersten, die der in World 3 benutzten Formulierung entspricht, steigen die Grenzkosten der Gewinnung von Bodenschätzen in dem Maße sehr rasch, wie der Anteil verbleibender Reserven auf Null geht. In der zweiten Variante wurden die Grenzkosten konstant gehalten.

Wo steigende Grenzkosten einbezogen wurden, verbindet sich der Einfluß schrumpfender Rohstoffreserven und steigender Gewinnungskosten mit dem exponentiellen Bevölkerungswachstum zur Herbeiführung eines abrupten und sturzartigen Rückgangs der industriellen Pro-Kopf-Erzeugung. Weil die Bevöl-

kerung bei amputiertem Ressourcensektor unkontrolliert wächst, nimmt das Pro-Kopf-Wachstum sogar noch schneller ab als im Standardlauf von World 3. (Gegenüberstellung von Fig. 31-4 und 31-9) Die Annahme konstanter Grenzkosten unterbricht den Regelkreis, der die Rohstoffgewinnung bei Erschöpfung der Reserven stoppt. Die Simulation zeigt daher unter dieser Annahme ein uneingeschränktes exponentielles Wachstum der industriellen Pro-Kopf-Erzeugung, obwohl die Reserven an Bodenschätzen nicht nur restlos erschöpft werden, sondern sogar Minuswerte erreichen (Fig. 31-10).

Dauerhafte Umweltverschmutzung. Der Sektor dauerhafte Umweltverschmutzung wird durch Eingabe-indices für Bevölkerung, industrielle Erzeugung, Nahrungsmittel, anbaufähiges Land und landwirtschaftliche Einsatzfaktoren pro Hektar getrieben (von denen in diesem Rechenlauf angenommen wird, daß sie exponentiell wachsen). Als die in Tab. 31-1 gezeigten Zuwachsraten durch endogene Eingabedaten aus anderen Modellsektoren ersetzt wurden, wurde der Sektor dauerhafte Umweltverschmutzung nicht von expandierenden und dann zusammenbrechenden Kräften getrieben, sondern von einer Reihe exponentiell wachsender Variablen (Fig. 31-11). Anstatt wie im Standardlauf zu- und dann abzunehmen, wächst der Index der dauerhaften Umweltverschmutzung exponentiell bis zu dem Punkt, wo er um 2030 etwa dreimal so schwerwiegend ist wie zu irgendeiner beliebigen Zeit im Standardlauf; danach nimmt er weiter zu – ein Zuwachs, der vermutlich die gesamte Biosphäre vergiften würde, wenn er je eintreten sollte.

Bemerkungen

Die nach Sektoren auseinandergenommene Version von World 3 hat soviel Ähnlichkeit mit dem Weltmodell der US-Regierung, daß ein Vergleich mit der integrierten Version von World 3 Erkenntnisse darüber bieten könnte, wie sich das Regierungsmodell verhalten würde, wenn es integriert wäre. Doch ist die Analogie nicht treffend genug. Das Weltmodell der Regierung ist regional desaggregiert, World 3 aber nicht. Das Modell der Regierung setzt den Schwerpunkt auf Energie, World 3 läßt sie aus. Das Weltmodell der Regierung nimmt viele der Mechanismen des Wirtschaftswachstums weit weniger vereinfacht wahr als die in World 3 gezeigten Mechanismen. (Z. B. würden nur wenige Analytiker der Regierung der Angabe zustimmen, daß die industrielle Erzeugung einfach das Produkt aus Kapitalkoeffizient und Bestand an Industriekapital ist.) Der für die exogenen Eingabedaten (Tab. 31-1) angenommene Ablaufplan deckt sich nicht völlig mit den gegenwärtigen offiziellen Erwartungen, und im Regierungsmodell sind vermutlich einige starke, aber explizite Annahmen über technologische *Lösungen und* Ressourcensubstitution enthalten, die in World 3 nicht erscheinen.

Sofern diese Unterschiede beachtet werden, läßt das Rechenbeispiel jedoch darauf schließen, daß die folgenden Konsequenzen zu erwarten wären, wenn das Weltmodell der Regierung einige von den in World 3 angegebenen Schaltungen enthalten würde:

1. Konkurrenz um verfügbares Kapital zwischen Erhaltung und Expansion des landwirtschaftlichen Sektors, Entwicklung neuer Energiereserven, und Investitionen in Dienstleistungs- und Industriesektoren würden zu beträchtlichen Zunahmen des realen BSP-Wachstums führen. Bei Ausbleiben größerer technologischer Fortschritte wird das Auftreten steigender Kosten (abnehmenden Ertragzuwachses) bei den Investitionen zur Gewinnung mineralischer Rohstoffe und zur Landerschließung den Umfang der für jede produzierte Produkteinheit erforderlichen Wirtschaftstätigkeit erhöhen und damit eine Art Inflation der Rohstoffkosten verursachen.
2. Die im Landwirtschaftsmodell prognostizierten steigenden Nahrungsmittelpreise und regionalen Nahrungsmittelknappheiten würden dadurch intensiviert, daß die Landwirtschaft nicht der einzige Sektor ist, der Kapital braucht, um mit den zunehmenden Ansprüchen der Bevölkerung und mit dem abnehmenden Ertragszuwachs fertig zu werden. Die durch starke Ausbeutung und durch Umweltverschmutzung bewirkte Bodenverschlechterung würde die Prognosen der landwirtschaftlichen Erzeugung noch trüber aussehen lassen.
3. Ein geringeres Wachstum von BSP und Landwirtschaft hätte starke Auswirkungen auf bevölkerungsstatistische Prozesse. Hungertod erhöht die Sterbeziffern. Die ausbleibende Verbesserung des Lebensstandards kann verhindern, daß sich Menschen für kleinere Familien entscheiden.
4. Trotz dieser Anhaltspunkte für einen übertriebenen Optimismus der Prognosen des Regierungsmodells wird der mögliche Umschlag zum Niedergang erst ein oder zwei Jahrzehnte nach dem Jahr 2000 eintreten.

Vergleich zwischen dem Weltmodell der Regierung und dem World Integrated Model

Ein Modell kann entweder dadurch integrierter gestaltet werden, daß die Mechanismen integriert werden, die die früher exogenen Variablen bestimmten (d. h. Schließung von Regelkreisen durch exogene Variablen), oder dadurch, daß mehr Einzelheiten der Systeminteraktion zwischen den endogenen Variablen innerhalb eines Modells einbezogen werden. Umgekehrt kann man ein Modell weniger integriert machen, indem man entweder die inneren Regelkreise unterbricht und die zuvor rückgespeiste Information durch eingespeiste exogene

Information ersetzt – wie bei den soeben beschriebenen Rechenbeispielen unter Verwendung von World 3 – oder indem man die inneren Regelkreise so abschaltet, daß frühere Variablen zu Konstanten werden – wie bei den Rechenbeispielen mit dem World Integrated Model.

Unter den Binnenschaltungen, die in der schwächer integrierten Version des World Integrated Model (WIM) getrennt wurden, gehören die folgenden:

- In der normalen Modellversion verursachen Defizite, die in dem Energiesektor entstehen, einen Rückgang der volkswirtschaftlichen Produktivität im ökonomischen Sektor. In der schwächer integrierten Version gibt es keine Änderung auf dem Wirtschaftssektor, wenn das Energieangebot unzureichend ist (d. h. die Reaktion bleibt konstant).
- In der normalen Version nimmt die Sterblichkeit zu, wenn die Kalorien/Eiweißversorgung unzureichend ist, besonders für die ältesten und jüngsten Altersgruppen. In der schwächer integrierten Version wird die Sterblichkeit von der Nahrungsmittelversorgung nicht beeinflußt.
- In der normalen Version verändert sich die Fruchtbarkeitsstruktur mit Veränderungen des Einkommens derart, daß sich bei Annäherung des Pro-Kopf-Einkommens einer Region an das moderner Industrienationen auch seine Fruchtbarkeitsstruktur an die der letzteren herankommt. In der schwächer integrierten Version hat das Einkommen keine Wirkung auf Fruchtbarkeitsverteilungen.
- In der normalen Version werden der Importkapazität einer Region durch ihre Zahlungsbilanz Grenzen gesetzt; die unterentwickelten Regionen sind deshalb vielleicht nicht mehr in der Lage, Nahrungsmittel oder Maschinen zu importieren, wenn sie umfangreiche Handelsdefizite angehäuft haben. In der schwächer integrierten Version wird die Fähigkeit zum Import nicht von der Verfügbarkeit von Devisen beschränkt.

Fig. 31-12 zeigt, wie die ersten drei dieser Abänderungen in die Modellstruktur passen. Die bei diesen Rechenbeispielen benutzte »normale« Version war nicht die integrierteste, die von diesem Modell entwickelt worden ist. Es gibt Versionen von *WIM*, die eine Rückkoppelung zwischen Hunger und volkswirtschaftlicher Produktivität enthalten (gestrichelte Linie in Fig. 31-12), und damit ins Modell den Teufelskreis einbauen, bei welchem Mittellosigkeit die Fähigkeit einer Region mindert, ihr Los zu verbessern. In anderen Versionen von WIM kann die Umweltzerstörung die landwirtschaftliche Produktion und das Wirtschaftswachstum beeinträchtigen und die Sterblichkeit erhöhen. Beide Einflußkanäle sind wegen der Schwierigkeit, sie mit präzisen quantitativen Daten zu untermauern, aus der für diese Rechenläufe verwendeten Modellversion weggelassen worden.

Zu bemerken ist, daß in den meisten Fällen dieser Rechenläufe das Weglassen

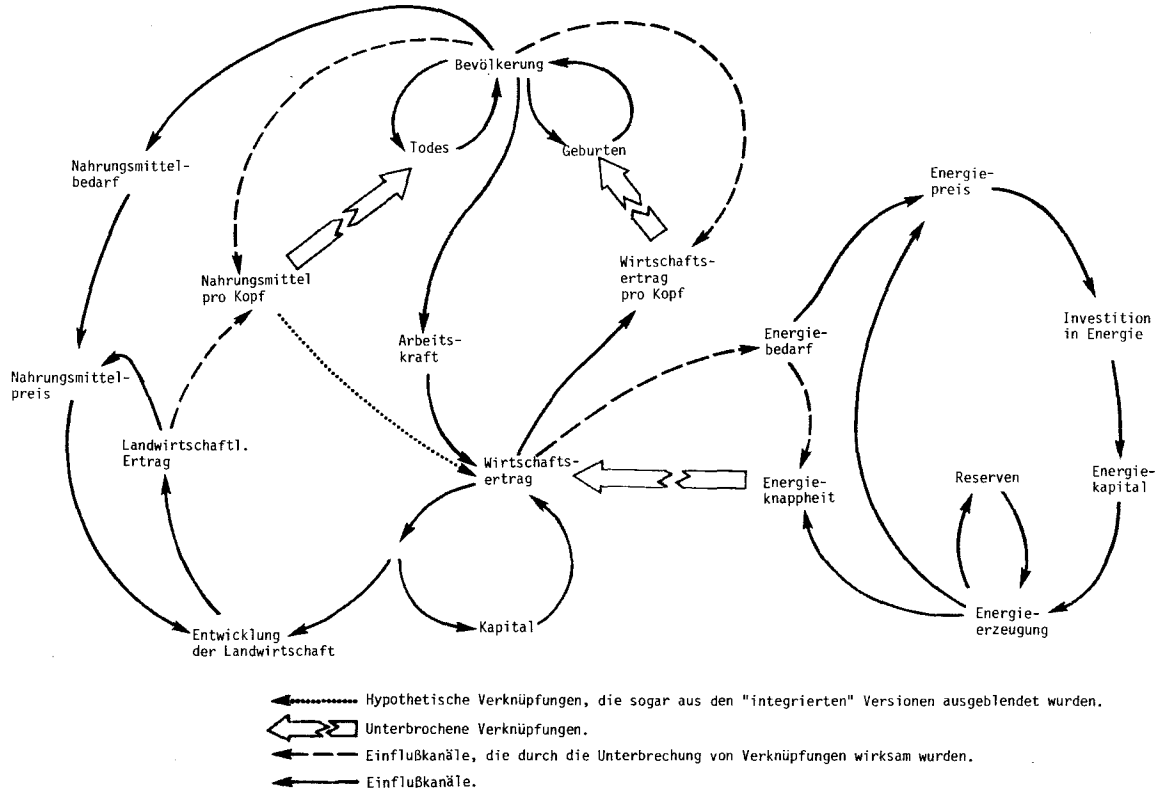

Fig. 31-12. Wichtigste Verknüpfungen im integrierten Weltmodell mit Angabe der beim Versuch der Modellintegration unterbrochenen Verknüpfungen. Die Verknüpfungen mit dem Handelssektor und die unterbrochene Rückkopplung vom Zahlungsgleichgewicht zur Importfähigkeit sind nicht aufgeführt.

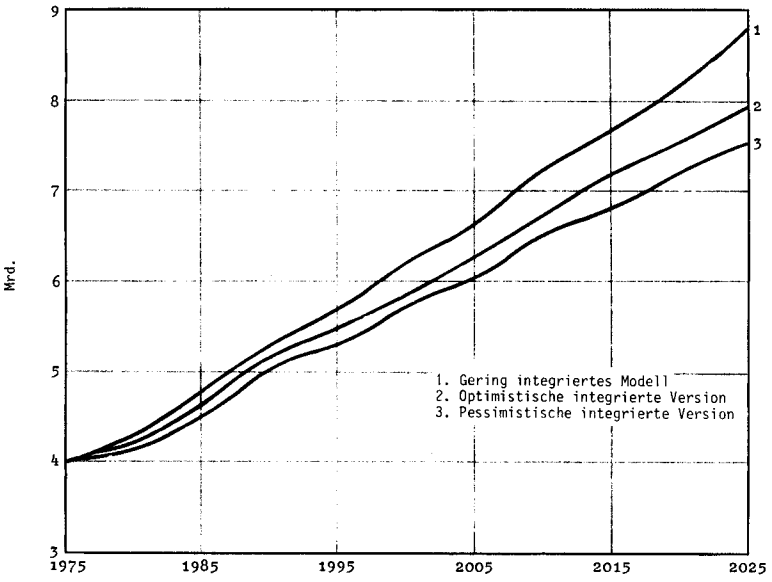

Fig. 31-13. Weltbevölkerungsprognosen für drei Versionen des integrierten Weltmodells.

einer Schaltung von vornherein ein optimistischer Eingriff ist. In rosigen Farben gemalt wird die Welt in der Annahme, daß das Energiedefizit das Wirtschaftswachstum nicht bremst, das Nahrungsdefizit nicht zum Hunger führt, der Hunger den wirtschaftlichen Fortschritt nicht bremst, die Devisenknappheit das Wachstum der UL nicht stocken läßt, und landwirtschaftliche Produktion und menschliche Gesundheit nicht negativ betroffen sind, wenn Schindluder mit der Umwelt getrieben wird. Nur in einer Beziehung wirkt sich das Unterbrechen von Modellschaltungen nicht optimistisch aus, und zwar beim Amputieren der Tendenz zu kleineren Familiengrößen bei steigendem Einkommen. So naiv wie sie scheinen mögen, sind diese Annahmen doch implizit in den meisten nichtintegrierten Weltmodellen enthalten – darunter auch im Weltmodell der US-Regierung.

Zur weiteren Gegenüberstellung von Ergebnissen wurden weitere Versionen des »normalen«, stärker integrierten Modells unter Verwendung nicht so optimistischer Annahmen über (1) die Zunahme des Angebots an fossilen Brennstoffen, (2) das Wachstum der landwirtschaftlichen Produktion und (3) die den UL von den Industrienationen zur Verfügung gestellten Kapitalmenge. In der

optimistischen Normalvariante war angenommen worden, daß die weltweiten jährlichen Ölfunde bis in die frühen 90er Jahre stärker als in der Basisperiode Anfang der 70er Jahre zunehmen und eine um etwa 50% höher liegende Spitze als die jährlichen Entdeckungen von Anfang der 70er Jahre erreichen würden – eine optimistische Prognose, wenn man sie den Voraussagen des Workshop on Alternative Energy Strategies Studies und der Weltenergiekonferenz gegenüberstellt, die beide nahezu gleichbleibende Jahresfunde an Ölressourcen prognostizieren. In der pessimistischen Version (die viele immer noch optimistisch nennen würden) wurde angenommen, daß die Fundquote nicht über die der frühen 70er Jahre steigen würde. In einem weiteren pessimistischen Lauf wurde unterstellt, daß die landwirtschaftlichen Erträge bis zum Jahre 2000 um rund 20% geschrumpft seien – eine Veränderung, die nach Ansicht der Modellkonstrukteure möglicherweise zu erwarten ist, wenn die Welt vor beträchtliche Veränderungen des Weltklimas und/oder schwerwiegende ökologische Störungen gestellt wird. In einem dritten Prüflauf wurde das von den Industrienationen an die UL transferierte Kapital soweit reduziert, daß die UL keine unangemessen hohen (mehr als 50% des BSP) Auslandsschulden anhäufen würden, und in einem Abschlußprüflauf wurden alle drei pessimistischen Hypothesen simultan eingegeben. Hier soll nur die Version der pessimistischeren Läufe mit dieser Problemkombination betrachtet werden. Sie wird im Folgenden als integrierte pessimistische Version bezeichnet.

In den meisten für diese Untersuchung durchgeführten Simulationen wurde das Modell nur bis zum Jahre 2000 gerechnet. Wie aus dem Material über die Rechendaten des Modells hervorgeht, reicht schon eine Simulation von 25 Jahren aus, um beträchtliche Differenzen zwischen den stärker und schwächer integrierten Versionen des Modells zu produzieren. Regional sind die Differenzen sogar noch beträchtlicher, da einige Regionen gegenwärtig in einem labilen Gleichgewicht sind und innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums in einen noch ganz anderen Zustand versetzt werden können, wenn man die Struktur der Systemzwänge verändert, die ihre Entwicklung beherrschen.

Ergebnisse

Die Rechendaten der schwächer integrierten Version des Modells waren im allgemeinen den Regierungsprognosen vergleichbar, die für *Global 2000* erstellt wurden. Nach den Prognosen dieser Studien war die weltweite volkswirtschaftliche Produktion bis zum Jahre 2000 in den hohen, mittleren und niedrigen Varianten jeweils um 17,4; 14,7 und 12,4 Billionen Dollar gestiegen. In dem geringer integrierten WIM betrug die äquivalente Ziffer für 2000 14,8 Billionen Dollar. In den vom Bureau of the Census für *Global 2000* erstellten hohen,

mittleren und niedrigen Bevölkerungsschätzungen für das Jahr 2000 wurden jeweils 6,8; 6,4 und 5,9 Milliarden Menschen angegeben. Das schwächer integrierte WIM errechnete für das Jahr 2000 6,2 Milliarden. In den vom US-Landwirtschaftsministerium erstellten Landwirtschaftsprognosen nimmt die Weltgetreideproduktion von 1109 Mmt (Millionen metrische Tonnen) im Basisjahr 1969-1971 auf 2175 Mmt im Jahr 2000 zu, eine Steigerung von 96%. In der integrierten Modellsimulation, die zur Messung der Getreideproduktion ein etwas anderes Schema verwendet, wird ein Zuwachs der Weltgetreideproduktion von 1278 Mmt im Jahre 1976 auf 2647 im Jahre 2000 bzw. eine Steigerung von 107% errechnet. Im Zusammenhang mit diesem Zuwachs der Erzeugung rechnet das schwächer integrierte WIM bis zum Jahre 2000 eine Zunahme des Kunstdüngerverbrauchs von 88,6 auf 227 Mmt; die Prognosen des US-Landwirtschaftsministeriums sagen entsprechend eine Steigerung von 80 auf 199 Mmt voraus. Die schwächer integrierte Energieprognose von WIM – bei der der Weltenergieverbrauch im Jahre 2000 bei 94,5 Mrd. Barrel Öläquivalent jährlich (etwa 550 Billiarden britische Steinkohleeinheiten) steht, deckt sich mit den Prognosen der Weltenergiekonferenz und mit denen des Workshop on Alternative Energy Strategies. Ein Vergleich mit der Schätzung von *Global 2000* ist nicht möglich, da das US-Energieministerium nur für die Jahre 1985 und 1990 Schätzungen geliefert hat.

Das stärker integrierte WIM. Die Rechendaten von Simulationen, die die normale, stärker integrierte Version von WIM benutzten, fielen weniger zuversichtlich aus als die der schwächer integrierten Version. Das aggregierte weltweite Wirtschaftsprodukt lag um 21% niedriger als das der schwächer integrierten Version: 11,7 Mrd. $ anstatt 14,8 Mrd. $. Das Wirtschaftswachstum verlief am schnellsten in den Anfangsjahren der Simulation und verlangsamte sich beträchtlich nach 1990, als die Energiesituation sich als Bremsklotz auszuwirken begann. Die Bevölkerung nahm bis zum Jahre 2000 nur auf 5,9 Mrd. zu im Gegensatz zu den 6,2 Mrd. der schwächer integrierten Versionen. Ein Teil dieses geringeren Wachstums war auf Hunger zurückzuführen (bis zum Jahre 2000 wurde eine Gesamtsumme von 158 Millionen Todesfällen infolge Hungers prognostiziert). Ein weiterer Teil ging auf niedrigere Fruchtbarkeitsraten zurück, die in solchen Gebieten durch steigende Einkommen herbeigeführt wurden, wo das Wirtschaftswachstum für den Simulationszeitraum über dem Bevölkerungszuwachs lag. Anstatt der von der schwächer integrierten Version von WIM prognostizierten Steigerung der Agrarproduktion von 107% wies die integrierte Version nur eine Zunahme von 85% auf. Dies führte jedoch beim Getreide für den menschlichen Verzehr zu einer Zunahme unter 85%, da die zu einem großen Teil auf *Getreidemast beruhende* weltweite Fleischproduktion in den 25 Jahren der Simulation um 57% zunahm.

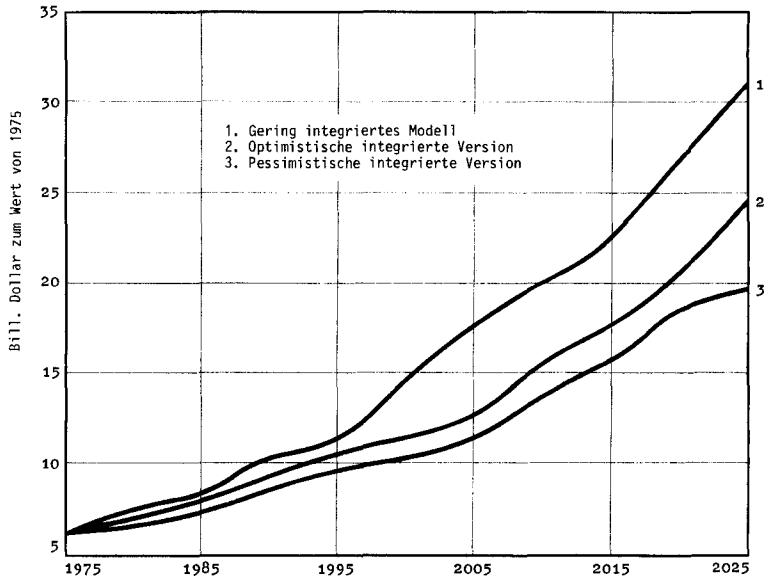

Fig. 31-14. Welt-BSP-Prognosen für drei Versionen des integrierten Weltmodells.

Für den Prüflauf, bei dem alle drei pessimistischen Annahmen in das stärker integrierte Modell eingegeben wurden, fielen die Rechendaten noch viel schlimmer aus als in der optimistisch-integrierten oder schwächer integrierten Simulation. Das aggregierte Welteinkommen erreichte bis zum Jahre 2000 nur 10,4 Billionen Dollar, und die kumulierten Todesfälle infolge von Hungerns beliefen sich auf 291 Millionen Menschen. Die Weltgetreideproduktion erreichte nur 2032 Mmt gegenüber den 2367 in der optimistisch-integrierten Version und den 2647 der schwächer integrierten Variante. Der Weltgetreidepreis des Jahres 2000 erklomm die Marke von 415 $ pro metrische Tonne, gegenüber 245 $ in der optimistisch-integrierten und 240 $ in der schwächer integrierten Version. Die drei Simulationen können verglichen werden (Fig. 31-13 und 31-14).

Verlängerung des Zeithorizonts. Bei World 3 setzt eine beträchtliche Veränderung im Verhaltensmodus des Modells erst nach dem Jahre 2000 ein. Zahlreiche demographischen Veränderungen haben in der zweiten Generation sehr viel stärkere Effekte als in der ersten. Zuwachsraten in der Größenordnung von 1-5% jährlich mit Verdoppelungszeiten von 70 bis 14 Jahren – wie sie bei den Zuwachsraten von Bevölkerung und Wirtschaftswachstum in den meisten lang-

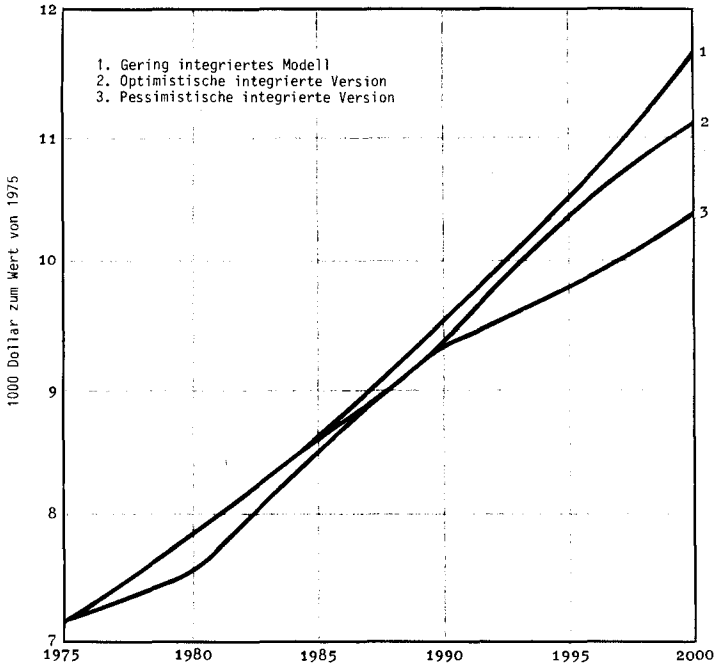

Fig. 31-15. Prognosen über das nordamerikanische Pro-Kopf-BSP für drei Versionen des integrierten Weltmodells.

fristigen Modellen festzustellen sind – führen nach 50 Jahren zu ganz anderen Gleichgewichten und Gleichgewichtsstörungen als nach 25 Jahren. Daher ist zu erwarten, daß die Unterschiede zwischen der pessimistisch-integrierten, der optimistisch-integrierten und der schwächer integrierten Version des World Integrated Model sehr viel akuter werden, wenn der Zeithorizont des Modells verlängert wird.

Diese Vermutung erweist sich als richtig. Wie aus Fig. 31-13 und 31-14 zu ersehen ist, erscheinen die Unterschiede beim Welt-BSP und bei der Weltbevölkerung im Jahr 2000 klein im Vergleich zu denen des Jahres 2025. Überdies sieht es um 2025 allmählich so aus, als ob die schwächer integrierte und die optimistisch-integrierte Version des Modells in einem anhaltenden Wachstumsmodus operieren, während sich dieses bei der pessimistisch-integrierten Version offenbar so weit abgeschwächt hat, daß das Pro-Kopf-Einkommen zu schrumpfen beginnt.

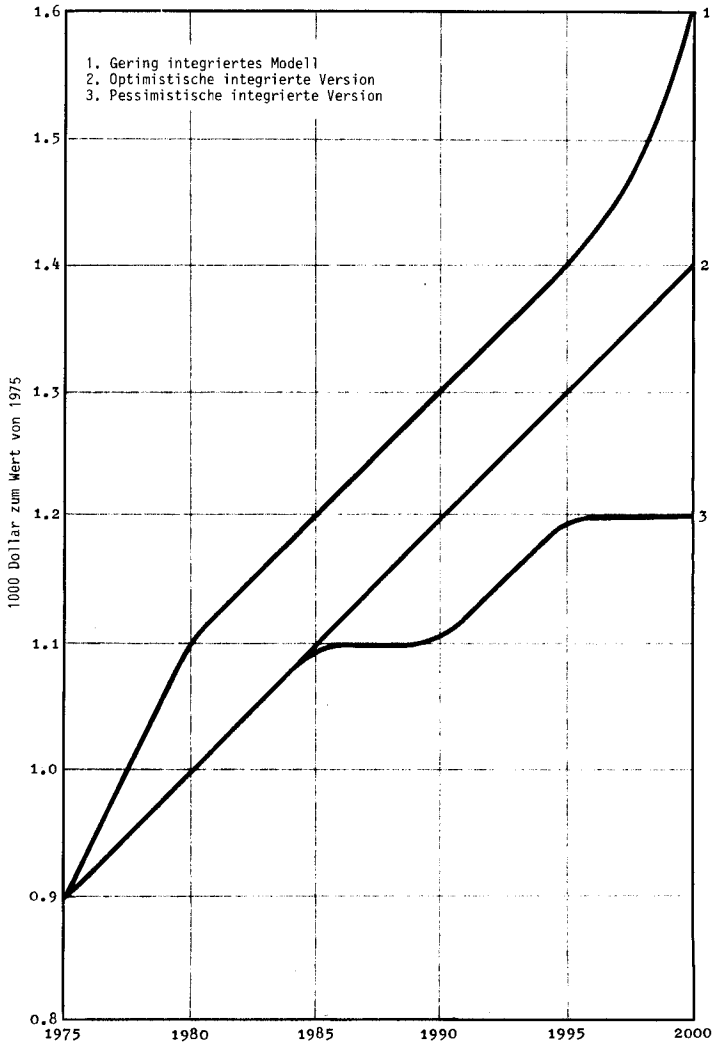

Fig. 31–16. Prognosen über das lateinamerikanische Pro-Kopf-BSP für drei Versionen des integrierten Weltmodells.

Regionale Unterschiede. Die 12 im World Integrated Model berücksichtigten Regionen fangen mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen an, in einem Schwebezustand mit jeweils unterschiedlicher Fähigkeit zur Bewältigung von Belastungen. Daher machen verschiedene Regionen bei ihrer inneren Anpassung an Systembelastungen im Zeitverlauf der Simulation unterschiedliche Strukturen durch. So z. B. sind Regionen wie Südasien, wo umfangreiche, rasch wachsende menschliche Bedürfnisse mit geringer Ausstattung an ökonomischen oder natürlichen Ressourcen zur Erfüllung dieser Bedürfnisse einhergehen, wahrscheinlich stärkeren Belastungen ausgesetzt als Regionen wie Nordamerika, die immer noch über unerschlossene Ressourcen verfügen und deren Bevölkerungszuwachsraten relativ niedrig sind. Daher ist es für erstere wahrscheinlich, daß sie ein Schrumpfen zuvor wachsender Variablen und Reallokationen ökonomischer Ressourcen erleben.

Ein großer Teil dessen, was im vorigen Abschnitt als »Belastungen« bezeichnet wurde, stellt im abstrakten Sinne Informationen dar, die durch die Regelkreise laufen, die das World Integrated Model zusammenschalten. Folglich müßten Unterschiede zwischen den stärker und schwächer integrierten Versionen des Modells (d. h. den Versionen mit stärkerer oder schwächerer Rückkoppelung) bei stark belasteten Regionen größer ausfallen, müßte die stärker belastete pessimistisch-integrierte Version des Modells größere Anzeichen grundlegender Verschiebungen des Modellgleichgewichts aufweisen als die optimistisch-integrierte.

Diese Schlußfolgerung wird von den Modellsimulationen bestätigt. Wie für das Pro-Kopf-BSP durch Vergleich der Fig. 31-15, 31-16 und 31-17 zu ersehen ist, verhalten sich die drei Modellversionen für Nordamerika ähnlich, während sie im Verhalten der Lateinamerika und Südasien große Abweichungen voneinander produzieren. In der schwächer integrierten Version wuchs das lateinamerikanische BSP rascher als das Nordamerikas. Infolge anderer Zuwachsraten der Bevölkerung jedoch nahm das Pro-Kopf-Einkommen in Lateinamerika langsamer zu als in Nordamerika.

Das Verhalten des Modells entspricht jedoch nicht völlig unseren logischen Erwartungen. In der Region Südasien ist das Pro-Kopf-BSP im Jahre 2000 in der pessimistisch-integrierten Variante höher als in der optimistisch-integrierten. Dies scheint daran zu liegen, daß der Hungertod die Bevölkerung so kräftig reduziert, daß das Pro-Kopf-Einkommen zu steigen beginnt. In der pessimistisch-integrierten Version von WIM hat der kumulative Hungertod einen Wert erreicht, der sich auf etwa 20% der Lebenbevölkerung um das Jahr 2000 beläuft (Fig. 31-18).

(Der durch Verhungern scheinbar erreichte Zuwachs des Pro-Kopf-Einkom*mens darf nicht* als Hinweis darauf genommen werden, wie sich das reale System wahrscheinlich verhalten wird. Er könnte durchaus eine Abirrung der Modell-

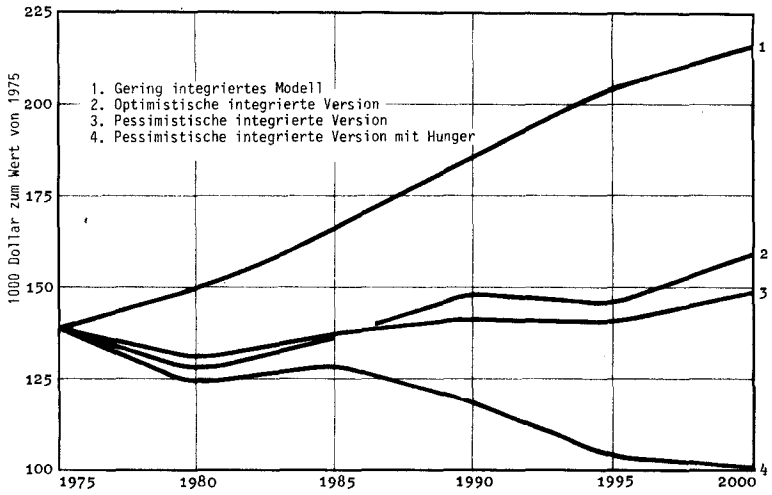

Fig. 31-17. Prognosen über das südasiatische Pro-Kopf-BSP für vier Versionen des integrierten Weltmodells.

struktur sein. Wäre der Regelkreis, durch den Hungerzustände die Produktivität verringern, in die Modellstruktur eingebaut worden, ist es durchaus wahrscheinlich, daß die pessimistisch-integrierte Simulation mit einem weitaus niedrigeren Pro-Kopf-Einkommen in Fig. 31-17 abgeschlossen hätte als ihr optimistisches Gegenstück. Hier hat die begriffliche Struktur des Modells eindeutig mehr Gewicht als die Parameterisierung, die seine Verhaltenstendenzen formt.)

Bemerkungen

Was kann aus den Experimenten mit dem World Integrated Model über die Verzerrungen abgeleitet werden, denen die Regierungsprognosen wegen der mangelnden Integration in der zu ihrer Erstellung verwendeten Methodologie unterliegen? Die Frage ist nicht leicht zu beantworten. Bevor sie angegangen werden kann, muß eine Entscheidung darüber gefällt werden, wieviel man von den Rechendaten des World Integrated Model glauben will. Soll man die Unterschiede von Zeitpunkt und Größenordnung der von verschiedenen Formulierungen des Modells in Fig. 31-11 herbeigeführten Wachstums- und Rezessionsschübe ernst nehmen? Soll ernst genommen werden, daß China und der Mittlere Osten von Unterschieden der Modellformulierung relativ unbetroffen bleiben, während Osteuropa und Südasien sehr empfindlich reagieren? Sollen wir an die geschätzten

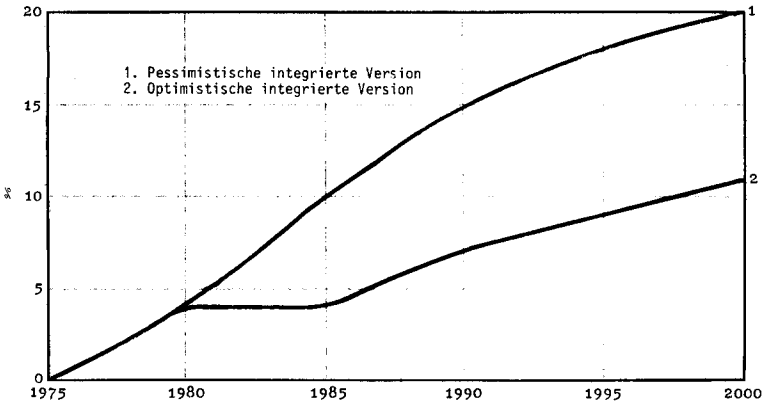

Fig. 31-18. Prognosen über den Anteil der Hungernden an der Bevölkerung Südasiens für zwei Versionen des integrierten Weltmodells.

Größenordnungen glauben – z. B. die Hungertod-Schätzungen wörtlich nehmen?

Hinter diesen Fragen stehen andere, bedeutendere: Entsprechen die Verbindungen im Modell den Verbindungen in der wirklichen Welt so gut, daß das Modell glaubwürdig ist? Sind wichtige Schaltungen, wie etwa die, welche wirtschaftliches Schrumpfen bei Hungersnöten bewirkt, auch in der stärker integrierten Version des Modells ausgelassen? Übertreiben oder untertreiben die angegebenen Verbindungen die Bedeutung der wechselseitigen Zusammenhänge? Wird die wirkliche Welt den in die Modellstruktur hineingeschriebenen Regeln folgen, wenn sie bei der Allokation knapper Kapitalressourcen zwischen Landwirtschaft, Energie und anderen Sektoren wählen muß? (Investitionsfunktionen sind in der modernen Volkswirtschaftslehre ein ungewisses Gebiet. Bis jetzt gibt es keine Formel, die das beobachtete langfristige Investitionsverhalten mit guten statistischen Ergebnissen erklären kann.) Wird die Energieknappheit die volkswirtschaftliche Erzeugung so einschränken, wie es das Modell beschreibt? Wird sie mehr Daueréffekte haben oder weniger? Schwerwiegendere Effekte oder weniger schwerwiegende? Werden die im Modell beschriebenen Substitutionen von Brennstoffarten möglich sein?

Wenn die Befragung zu hartnäckig wird, zieht sich das Modell – und die meisten anderen Modelle sozialer Systeme mit ihm – hinter einem dichten Rauchvorhang fragwürdiger Annahmen zurück. Die Antwort auf die meisten gestellten Fragen lautet bloß: »Ich weiß nicht«.

Trotz der Ungewißheit um die spezifischen Ergebnisse aus den Experimenten

zur Untersuchung der Auswirkungen des Unterbrechens von Verbindungen im World Integrated Model sind einige Verallgemeinerungen möglich:

1. Bei einer Simulationsspanne von 25 Jahren ist das Wirtschaftswachstum einer stärkeren Veränderung seines simulierten Verhaltens durch Hinzufügung von Verbindungen unterworfen als das Bevölkerungswachstum. Eine Wertdifferenz von 50% beim Regionaleinkommen (BSP) für das Jahr 2000 zwischen verschiedenen Modellstrukturen ist nicht ungewöhnlich, während Unterschiede von 20% für die Bevölkerung schon extrem wären. Das ist nur logisch. Die menschlichen Reproduktionsmuster haben ein biologisches Korsett; innerhalb einer bestimmten Kultur kann eine Veränderung nur im Laufe von Generationen erwartet werden, während Wirtschaftsstrukturen relativ anfällig gegenüber kurzfristigen Störungen zu sein scheinen.

2. Welche Auswirkungen das Unterbrechen von Verbindungen hat, hängt davon ab, welche Schaltungen unterbrochen werden. Beim beschriebenen Beispiel betrafen die unterbrochenen Verbindungen Handel, Geburten- und Sterbeziffern und die Auswirkungen der Energieknappheit auf das Wirtschaftswachstum. Am stärksten betroffen waren logischerweise die Regionen, die in die Modellannahmen als energiearm, in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung devisenabhängig, oder als auf Einkommensniveaus operierend eingegangen waren, bei denen von Einkommensunterschieden erwartet werden kann, daß sie relativ starke Einflüsse auf Fruchtbarkeits- und Sterblichkeitsraten haben. Wäre eine andere Reihe von Schaltungen unterbrochen worden – hätte z. B. das Investitionsniveau in der Landwirtschaft nicht auf den Nahrungsmittelpreis reagiert – hätte die Unterbrechung von Verbindungen andere Auswirkungen mit anderer geographischer Verteilung gehabt.

3. *Es ist in jeder Hinsicht genauso willkürlich, Schaltungen wegzulassen – und damit implizit zu unterstellen, daß sie keine Auswirkungen auf das Systemverhalten haben – wie Schaltungen einzubauen, über die man sich nicht sicher ist.* Es gibt z. B. viele valide Vermutungen über die Auswirkung von Energiedefiziten auf das Wirtschaftswachstum. »Keine Auswirkung« ist darunter eines der unwahrscheinlichsten Ergebnisse, doch scheint dies infolge Nachlässigkeit die am häufigsten Annahme zu sein. Zwar ist die Kunst der Konstruktion von Weltmodellen immer noch in einem Stadium, wo die Rechendaten eines integrierten Weltmodells mit großer Vorsicht zu genießen sind, doch ist das Verständnis von Systemverbindungen so weit fortgeschritten, daß man sogar noch vorsichtiger bei Modellen sein muß, die die wahrscheinlichen Auswirkungen von Systeminteraktionen auf das langfristige Systemverhalten nicht berücksichtigen.

Schlußfolgerungen

Rechenläufe, bei denen die Regelkreise innerhalb integrierter Weltmodelle unterbrochen werden, zeigen, daß die Auslassung von Systemverbindungen das Ergebnis von Prognosen stark beeinflußt, was darauf schließen läßt, daß das Weltmodell der US-Regierung, soweit es wichtige Systemrückmeldungen ausläßt, ein verzerrtes Bild der wahrscheinlichen Zukunft zeichnet. Der Vorhersagefehler infolge Auslassung von Rückmeldungen ist im Zeitverlauf kumulativ: In den meisten Fällen ist er über einen Fünfjahreszeitraum nicht sehr signifikant, wird jedoch in einem Zeitraum von 20 Jahren bedeutend und kann nach einer Spanne von 50 Jahren alles überschatten. Der Fehler ist wahrscheinlich bei Regionalprognosen größer als beim Weltaggregat.

Experimente sowohl mit World 3 als auch mit dem World Integrated Model lassen darauf schließen, daß die Prognosen der US-Regierung durch Weglassen von Schaltungen übermäßig optimistisch ausgefallen sind. Die Experimente mit dem World Integrated Model legen nahe, daß die für *Global 2000* nichtintegriert erstellten Prognosen des Gesamt-BSP für das Jahr 2000 vermutlich 15-20% niedriger ausgefallen wären, wenn eine integriertere Modellbeschreibung verwendet worden wäre. Für einige Regionen könnte die Überschätzung weit über 50% liegen.

Doch geht es bei diesem Problem nicht um die einfache Frage der Gegenüberstellung von integrierten und nichtintegrierten Modellen. Entscheidend ist die Art und Weise, wie Modelle integriert werden. Ganz andere Ergebnisse hätten sich sowohl aus World 3 als auch aus dem World Integrated Model ableiten lassen, wenn andere Schaltungen in den Originalmodellen enthalten gewesen wären, oder in den Experimenten mit geschlossenem Modell andere Verbindungen unterbrochen worden wären. Es ist daher wichtig, daß verschiedene Schemata der Modellintegration für die Analyse globaler Probleme verwendet und diese Schemata so dokumentiert und gespeichert werden, daß sie der Kritik – und der Verbesserung – zugänglich sind.