

**Bevölkerungsdynamik und Versorgungssysteme –
Modelle für Wechselwirkungen**

Diana Hummel
Christine Hertler
Cedric Janowicz
Alexandra Lux
Steffen Niemann
(Hg.)

Frankfurt am Main, 2005

demons working paper 5
ISSN 1612-8230

**Bevölkerungsdynamik und Versorgungssysteme –
Modelle für Wechselwirkungen**

Diana Hummel, Christine Hertler, Cedric Janowicz,
Alexandra Lux, Steffen Niemann (Hg.)

Interdisziplinäre Nachwuchsforschungsgruppe
im BMBF Förderschwerpunkt SÖF:

Die Versorgung der Bevölkerung – Wirkungszusammenhänge
von demographischen Entwicklungen, Bedürfnissen und
Versorgungssystemen (demons)



Bezugsadresse:
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH
Hamburger Allee 45
D - 60486 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2005

Inhaltsverzeichnis

Einleitung: Modellierung in <i>demons</i>	
Diana Hummel	5
Qualitative Modellierungen und quantitative Modelle des Zusammenhangs von Bevölkerungsentwicklung und Versorgungssystemen	
Michael Weingarten	9
Modellierung in der Demographie	
Stefan Liehr	47
Quantifying Vicious Circle Dynamics: The PEDA Model for Population, Environment, Development and Agriculture in African Countries	
Wolfgang Lutz, Sergei Scherbov	65
Die Bevölkerungsdynamik im Syndrom-Ansatz des PIK	
Matthias Lüdeke	79
Wechselbeziehungen zwischen Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen – Einige Überlegungen zur Modellbildung	
Christine Hertler/Diana Hummel	95

Einleitung: Modellierung in *demons*

Diana Hummel

Wirkungszusammenhänge zwischen Bevölkerungsveränderungen und sozial-ökologischen Transformationen von Versorgungssystemen sind hochgradig komplex, weil sie ökologische, soziale, ökonomische und politisch-institutionelle Aspekte umfassen. Es handelt sich um dynamische Beziehungsmuster zwischen Elementen, Strukturen und Prozessen, die wir gesellschaftlich nennen und anderen, die als natürlich gelten. Sollen die Regulationen dieser Beziehungen und Regulationsstörungen untersucht werden, so werden dafür Modelle und Modellierungen als ein Erkenntnisverfahren benötigt. Modelle dienen der Strukturierung, Komplexitätsreduktion und Verallgemeinerung; mit ihnen lassen sich empirische Daten, erklärende Aussagen und pragmatische Zwecke zusammenfassend darstellen. Zudem sind sie für die Vorhersage von Prozessverläufen und Systemzuständen erforderlich. Und nicht zuletzt sind Modelle im Rahmen der Bearbeitung eines interdisziplinären Forschungsgegenstandes für die Integration verschiedener disziplinärer Wissensbestandteile unabdingbar.

Das Projekt *demons* hat sich zur Aufgabe gestellt, ein konzeptionelles Modell und eine Methode zur Analyse von Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Bevölkerungsentwicklungen und Transformationen von Versorgungssystemen für Wasser und Ernährung zu erarbeiten. Im Unterschied zu einem einfachen Verständnis von Bevölkerungswachstum als kausaler Ursache von Umweltproblemen wird im Projekt der Einfluss verschiedener demographischer Entwicklungen auf Versorgungssysteme für Wasser und Nahrung untersucht, wobei auf *Wechselwirkungen* zwischen beiden Prozessen abgestellt wird, d. h. die Frage untersucht wird, inwieweit die Transformation der beiden Versorgungssysteme demographische Wirkungen impliziert – und umgekehrt: welche Wirkungen Bevölkerungsveränderungen für die Versorgungssysteme haben. Die Modellierung soll ermöglichen, diese Wechselwirkungen zu beschreiben, zu differenzierten Aussagen über das Netz der Wirkungszusammenhänge zu gelangen und Indikatoren zu identifizieren, die Prozesse stärken oder schwächen, damit Ursachen für Regulationsstörungen und mögliche Ansatzpunkte für deren Behebung erkannt werden können. Wird die Versorgung der Bevölkerung als *sozial-ökologische Problemlage* behandelt, sind überdies räumliche und zeitliche Dimensionen zu differenzieren, sowie qualitative und quantitative Phänomene, um zu einer angemessenen Problembeschreibung, zu prognostischen Aussagen und Problemlösungsansätzen zu gelangen.

Da die Fragestellung ‚Bevölkerungsdynamik und Versorgungssysteme‘ recht neu ist, stehen bislang nur wenig ausgearbeitete Methoden und Modelle zur Verfügung, auf die sich zurückgreifen ließe. Weitestgehend unstrittig ist in der wissenschaftlichen Diskussion, dass demographische Veränderungen für die Versorgungssysteme von

großer Bedeutung sind; wenig gesichertes Wissen besteht aber über die Frage, *wie* die Bevölkerungsdynamik die Versorgungssysteme beeinflusst, welche Rückwirkungen die Art der Versorgungssysteme auf demographische Prozesse hat und welche Wechselwirkungen zwischen beiden Größen bestehen. In der interdisziplinären Forschung geht es meist um das Verhältnis zwischen Bevölkerung, Umwelt, Entwicklung und Konsum, nicht jedoch um die Ebene der Versorgung.

In dem vorliegenden *demons working paper* werden bestehende Konzepte zur Modellierung behandelt und diskutiert, welche Ansatzpunkte sie für die projektspezifische Problemstellung bieten, welche Aspekte sowie mögliche Modifikationen dabei zu berücksichtigen sind. In diesem Zusammenhang ist auch zu klären, welche Prozesse und Dynamiken sich überhaupt sinnvoll modellieren lassen und welche Voraussetzungen dafür erfüllt sein müssen. Dabei geht es in der Hauptsache um eine nähere Bestimmung des Status von *Bevölkerung* bzw. der Populationsdynamik sowie der Frage nach den *Bedingungen* für die Modellierung der dargestellten Wechselwirkungen.

Die ersten beiden Beiträge sind vorwiegend methodisch ausgerichtet: Die Studie *Michael Weingartens* zielt darauf ab, zunächst einen methodenkritischen Zugang zu bestehenden Bevölkerungskonzepten zu entwickeln und auf dieser Grundlage anschließend Vorschläge für eine sozialwissenschaftlich fundierte Bevölkerungswissenschaft vorzulegen. *Stefan Liehr* gibt eine kritische Übersicht über verschiedene, in der Bevölkerungswissenschaft verwendete Modellierungsverfahren und prüft sie insbesondere hinsichtlich der Frage, inwieweit sie für Prognosezwecke einsetzbar sind.

Vorausschätzungen über die zukünftige zahlenmäßige Entwicklung der Weltbevölkerung erfahren in der Öffentlichkeit sehr viel Aufmerksamkeit und werden in unterschiedlichen Szenarien über zukünftige globale Herausforderungen verwendet. Auf der ‚darunterliegenden‘, nationalen, regionalen und insbesondere lokalen Ebene sind solche Prognosen jedoch häufig wenig zuverlässig – unter anderem auch deshalb, weil sie auf falschen Annahmen über jenseits der Biologie liegende Faktoren für Reproduktionsentscheidungen beruhen.

In den folgenden Beiträgen werden zwei einflussreiche Modelle für demographische Entwicklungen vorgestellt, die in unterschiedlicher Weise versuchen, gesellschaftliche Faktoren mit in die Modellbildung einzubeziehen. *Wolfgang Lutz* und *Sergei Scherbov* stellen das am Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse in Laxenburg, Österreich (IIASA) entwickelte PEDDA-Modell vor. PEDDA steht für ‚Population, Environment, Development, Agriculture‘. Das Modell wird für die Deutung und zur Abschätzung des entwicklungspolitischen Interventionspotenzials in verschiedenen Ländern, z.B. in Afrika angewendet. Im nächsten Beitrag präsentiert *Matthias Lüdeke* den Syndrom-Ansatz, der am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) entwickelt wurde. Als ‚Syndrome‘ werden dabei Problemlagen zu-

sammengefasst, die zu problematischen Mensch-Umwelt-Interaktionen führen. Im vorliegenden Beitrag werden v.a. jene Syndrome behandelt, die einen engen Bezug zur Bevölkerungsdynamik aufweisen.

Die letztgenannten Beiträge sind aus einem von *demons* im Juni 2004 veranstalteten Meilenstein-Workshop zum Thema „Modellierung der Wirkungszusammenhänge zwischen Bevölkerungsdynamik und Veränderungen von Versorgungssystemen“ hervorgegangen. Ziel des Workshops war es, Übereinstimmungen und Unterschiede dieser beiden Modellierungsansätze und -verfahren zu dem von *demons* erarbeiteten Modell der Versorgungssysteme herauszuarbeiten, das in einem bereits erschienenen Band dieser Reihe (*demons working paper 2*) ausführlich vorgestellt wurde. Auf Basis der Resultate dieses Workshops sowie daran anschließender Arbeiten werden im letzten Beitrag von *Christine Hertler* und *Diana Hummel* einige wesentliche Konsequenzen der Modellbildung für *demons* skizziert.

Qualitative Modellierungen und quantitative Modelle des Zusammenhangs von Bevölkerungsentwicklung und Versorgungssystemen

Michael Weingarten

Einleitung

Wie sozial-ökologische Forschungen insgesamt, stehen auch Fragen nach der Bevölkerungsentwicklung im Spannungsfeld von Natur-Kultur-Zurechnungen und -Unterscheidungen. Ist die Rede von „Bevölkerung“ zu sehen als Äquivalent zur biologischen Rede von Populationen, so dass Veränderungen menschlicher Bevölkerungen modelliert werden können im Rückgriff auf Modellierungsverfahren der Biowissenschaften als „natürliche Prozesse“, bei denen soziale Faktoren allerhöchstens als zusätzliche (sekundäre) Komponenten in Erscheinung treten? Oder muss die Modellierung von vornherein berücksichtigen, dass die Reproduktion von Menschen als sozialer Prozess zwar Analogien zu biotischen Reproduktionsvorgängen aufweist, sich aber als Prozess grundsätzlich von natürlichen Prozessen unterscheidet? Dann muss selbstverständlich der als dominant unterstellte soziale Zusammenhang so in die Modellierung eingebunden sein, dass über ihn auch im Modell die Differenz eines sozialen von einem „bloß“ natürlichen Vorgang deutlich sichtbar wird.

Sieht man die Rede von menschlicher „Bevölkerung“ als Äquivalent zur biologischen Rede von Art und Population sowie deren jeweiligen Definitionen – zu einer Art gehören gemäß einer Definition all diejenigen Lebewesen, die potentiell miteinander selbst wiederum fortpflanzungsfähige Nachkommen zeugen können; Populationen sind dann, wiederum gemäß einer bestimmten Definition, insofern natürliche Untergliederungen einer Art, als sie etwa durch geographische Barrieren (Berge, Flüsse), also durch externe Umweltfaktoren, voneinander isoliert sind –, dann kann mit dem unspezifizierten Wort „Bevölkerung“ eigentlich nur die Menschheit insgesamt als biologische Art thematisiert werden. Damit aber wird für die Demographie zum Problem, dass das Fortpflanzungsverhalten von Bevölkerungen – diese jetzt als soziale Einheiten verstanden, nämlich als Angehörige eines (National-)Staates – nicht mehr adäquat thematisiert werden kann: Denn ein staatliches Gemeinwesen wie z.B. die Bundesrepublik Deutschland steht mit seiner „Bevölkerung“ vor anderen demographischen Problemen („Überalterung“) als ein afrikanischer Staat oder solch riesige Flächenstaaten wie China. Und gerade für einen Staat wie die Bundesrepublik wird im demographischen Diskurs „Überalterung“ zu einem Problem, weil vorhandene staatliche Sozialversorgungssysteme bei ihrer Einführung von einer gänzlich anderen demographischen Verteilung und Zusammensetzung der Bevölkerung ausgingen; also ausschließlich soziale Faktoren definieren hier einen demographischen Sachverhalt als problematisch und lassen Bevölkerungswachstum als einen möglichen Ausweg erscheinen. Anders dagegen ist die Struktur von Fragestellungen bezogen auf Staaten etwa in Afrika. Das Bevölkerungswachstum scheint dort zu einem Problem zu werden, weil in der Relation von wachsender Bevölkerung und

gegebenen natürlichen Ressourcen eine Übernutzung dieser Ressourcen mit den damit verknüpften Folgeproblemen droht, so dass, erzwungen durch naturale Faktoren, gerade ein Abnehmen der Bevölkerung oder doch zumindest deren Nichtweiterwachsen als Ausweg erscheint.

Es dürfte sofort einsichtig sein, dass die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung mittels eines aus den Biowissenschaften entlehnten Modells für etwa einen afrikanischen Staat, die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung eines Staates wie der Bundesrepublik dagegen nach einem anderen, ggf. den Sozialwissenschaften entlehnten Modellierungsverfahren kein gangbarer Weg ist. Bevor aber sinnvoll die Frage nach dem *Wie* des Modellierens gestellt werden kann, muß das *Was*, das modelliert werden soll, also „die Bevölkerung“ bzw. die spezifizierende Rede von „Bevölkerungen“, bestimmt sein. Sind mit ihr beispielsweise die Mitglieder eines Staates gemeint, dann stellt sich sofort die Frage, ob und wie mit einem den Biowissenschaften entlehnten Modellierungsverfahren die Begrenzung dieses Gegenstands auf ein bestimmtes Gebiet in der Modellierung eingeholt werden kann. Denn zumindest in bestimmten Traditionen der Biowissenschaften und Anthropogeographie, die für die disziplinäre Entwicklung der Demographie wichtig (gewesen) sind, herrschte und herrscht bis heute eine starke naturalistische Auffassung von Grenzen als denjenigen Bedingungen, die einen Natur-Raum gegenüber anderen Natur-Räumen abschließen und ihn so als einen natural bestimmten Raum konstituieren, innerhalb dessen infolge natürlicher Prozesse eine Verteilung von Lebewesen unter Einschluss von Menschen stattfindet: Die in diesem Raum vorfindlichen Ressourcen etwa bestimmten, welche und wie viele Lebewesen in ihm existieren könnten (Tragekapazität); der durch natürliche Grenzen besonderte Raum lege fest, welche Anpassungen von Lebewesen realisiert werden müssten, um überhaupt in ihm leben zu können.

In Abgrenzung zur Anthropogeographie eines Ratzel, zur Geopolitik eines Haushofer und den mit beiden Konzepten verknüpften bevölkerungswissenschaftlichen Implikationen schrieb schon 1935 der französische Historiker Lucien Febvre: „Überlassen wir also die ‚natürlichen Grenzen‘ den Schlaumeiern und Einfaltspinseln. Alle Grenzen werden von Menschen gezogen. Sie mögen ‚gerecht‘ oder ‚ungerecht‘ sein, nie aber ist es ‚die Natur‘, die ihre Gerechtigkeit bestimmt oder zur Gewaltanwendung auffordert.“ (Febvre 1995: 13) Wie schwierig dann die Rede von „der Bevölkerung“ und „dem natürlichem Raum“ als scheinbar feststehenden Größen wird, versucht Febvre am Beispiel des Rheins aufzuzeigen, der im gängigen Verständnis nicht nur die „natürliche Grenze“ zwischen Frankreich und Deutschland, sondern auch zugleich eine natürliche Grenze zweier „Bevölkerungen“ im Sinne von Rassen sei. Diesem Verständnis setzt Febvre die provozierende These entgegen: „Festzuhalten bleibt jedoch – und dies wirft von Anfang an ein eigentümliches Licht auf das Schicksal des Rheins –, dass der Mensch als überragender Verknüpfer verschiedener Ströme den Rhein aus Tälern und Schluchten allererst zusammengesetzt hat, damit er nicht eine Barriere, sondern ein Weg sei: kein Graben, sondern eine Verbindung.“ (ebd.: 24)

Febvre versucht als Historiker und für die Forschungszwecke der Geschichtswissenschaft ein Konzept integrativer Forschung zu entwickeln, in dem nicht nur so unterschiedliche Disziplinen wie Geographie, Bevölkerungswissenschaft, Soziologie unter Einschluss der Ökonomie usw. in den disziplinären Zusammenhang der Geschichtswissenschaft eingebunden werden sollen, sondern er versucht gleichzeitig zu zeigen, dass Unterscheidungen wie Natürliches und Kultürliches Unterscheidungen sind, die im Tun der Menschen als Strukturierungen und Bestimmungen an Gegenständen vorgenommen werden, aber nicht an den Gegenständen selbst unabhängig vom immer Zwecke verfolgenden Tun der Menschen als natürliche Verschiedenheit und Unterschiedenheit zweier Entitäten vorgefunden werden könnten.

Dieser forschungsintegrative Ansatz von Febvre, fortgeführt von Historikern wie Bloch, Braudel, Le Goff und insbesondere Le Roy Ladurie, weist viele Berührungspunkte mit dem Forschungsprogramm zu gesellschaftlichen Naturverhältnissen auf, in dem ja ebenfalls die dichotome Unterscheidung und Abgrenzung von Natur und Sozialem aufgehoben werden soll zugunsten einer Unterscheidung von Natürlichem und Sozialem innerhalb der Gesellschaft. Es erscheint daher sinnvoll und vielversprechend, gerade bezüglich der Beurteilung demographischer Forschungen auf ihre Beiträge hin zu einer weiteren Entfaltung des Programms der Theorie gesellschaftlicher Naturverhältnisse, den Ansatz von Febvre zu beziehen auf vorliegende demographische Konzepte und Modellierungsverfahren, nicht nur, um auf ein weiteres (methodisch-technisches) Verfahren aufmerksam zu machen, sondern gerade auch um naturalisierende Engführungen in der Demographie selbst zu überwinden. Denn es könnte sich als äußerst hilfreich für praktisch dringende Probleme heute erweisen, nicht nur *gegenwärtige* Problemlagen in entwickelten Nationalstaaten oder in Staaten der sog. „Dritten Welt“ zu untersuchen, sondern, über die Einbeziehung der historischen Dimension, die in unserer eigenen europäischen Geschichte stattgefunden habenden demographischen „Revolutionen“ hinsichtlich ihrer Modellfunktion für die Beurteilung der Veränderbarkeit und Gestaltbarkeit gegenwärtiger demographischer Verhältnisse fruchtbar zu machen.

Dazu wird in einem ersten Schritt auf wissenschaftstheoretische Probleme im Verständnis von Modell und Modellierung hingewiesen; insbesondere in der Hinsicht, wie in Modellierungen mit analytischen Unterscheidungen wie „Bevölkerung“ und „Umwelt“ umgegangen wird. Danach wird auf qualitative Vorannahmen für Modellierungen, also dem Problem der Gegenstandsbestimmung dessen, was dann in einem Modell dargestellt werden soll, in der Bevölkerungswissenschaft aufmerksam gemacht, mit denen meist implizit, kaum explizit ein Verständnis von Bevölkerung als dem zu modellierenden Gegenstand investiert wird, das aber selbst nicht begründet wird. Abschließend erfolgt ein kurzer skizzenhafter Versuch, die demographischen und sozialtheoretischen Überlegungen der französischen Historiker der Annales-Schule für die Theorie gesellschaftlicher Naturverhältnisse vorzustellen. Um die methodologischen Überlegungen vorzubereiten, soll aber zunächst exemplarisch der Ansatz von Paul Ehrlich vorgestellt und problematisiert werden. Dies aus zwei

Gründen. In dem sog. IPAT-Konzept zeigen sich schon alle die Grundprobleme, die auch in neueren und neuesten demographischen Forschungsprogrammen nicht gelöst werden, auch wenn die mathematischen Mittel, mit denen dann Modellierungen vorgenommen werden, komplexer und differenzierender sind als in dem IPAT-Konzept. Zum zweiten – dies müsste selbst aber noch genauer ausgearbeitet werden – scheint gerade die Verknüpfung von demographischen mit ökologisch-umweltpolitischen Problemen und Fragestellungen, ja vielleicht sogar die Reduzierung ökologisch-umweltpolitischer auf ausschließlich demographische Probleme, wie sie insbesondere Ehrlich und in dessen Gefolge Georg Picht vorgenommen haben, mit ein Grund gewesen zu sein dafür, dass Ende der 1960er Jahre das umweltpolitische Thema die Politik und eine größere Öffentlichkeit erreicht hat.

Die Verknüpfung ökologisch-umweltpolitischer und demographischer Probleme: das IPAT-Konzept

Paul Ehrlich, disziplinär verortet in der Biologie, hat sich schon sehr früh, 1968, zum Problem einer drohenden Übervölkerung der Erde geäußert, sogar das Bevölkerungswachstum zu *dem* Ausgangspunkt (im Sinne der Benennung der Hauptursache) seiner Ausführungen zur Umweltkrise gemacht: Vernutzung von Ressourcen, Degradation von Böden usw. sind für ihn Folgeschäden des Bevölkerungswachstums. Seitdem hat er seinen Ansatz verfeinert, aber nicht mehr über die Grundstruktur hinaus entwickelt. In der Bundesrepublik wurde dieser Ansatz insbesondere durch die F.E.S.T, die Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft unter Leitung von Georg Picht, direkt als neomalthusianischer Ansatz mit der Umwelt- und Friedensforschung verknüpft und popularisiert.

Zumeist wird das Konzept von Ehrlich nur in dem Teil wahrgenommen, der von Ehrlich direkt aus dem populationsgenetischen Kontext in den Kontext der Bevölkerungswissenschaft übertragen wurde; nämlich als Formel: $I = P \times A \times T$. I, die Einwirkung auf die Umwelt, ergibt sich als das Produkt der Faktoren P (Bevölkerung, deren Größe, Wachstum, Verteilung im Raum usw.), A (dem Verbrauch an Gütern durch das einzelne Individuum) und T (der Technologie und der mit ihr verbundenen Umweltvernutzung zum Zweck der Aufrechterhaltung des Konsumniveaus). Sicherlich können sofort – und wurden ja auch schon häufig genug – die dieser Formel immanenten Probleme benannt werden. Ehrlich selbst formuliert das Problem aber komplexer und konsequenzenreicher, indem er einen darwinistisch-genetischen für die natural-biologische und einen lamarckistischen Entwicklungsansatz für die natural-soziale Bestimmung des Menschen vertritt – ohne den Widerspruch zu bemerken, der in der gleichzeitigen Verwendung dieser Entwicklungsauffassungen liegt. Denn seit Darwins Evolutionstheorie kann eine lamarckistische Entwicklungsauffassung nur noch im Widerspruch geltenden biologischen Wissens vertreten werden.

Zusammenfassend formulierten Ehrlich, Ehrlich und Holdren in einem Lehrbuch: „Unsere Umweltzerstörung ist nicht die Summe von voneinander unabhängigen Ursachen. Vielmehr wirken viele untereinander verbundene Ursachen zusammen und erzeugen durch Multiplikation das Produkt. Die Beziehung lässt sich wie eine mathematische Gleichung ausdrücken: Die gesamte Umweltzerstörung ist gleich der Population mal der Höhe des Einflusses pro Person mal dem Umweltschaden durch Technik. *Diese Faktoren stehen in Beziehung zueinander und auch zu dem ökonomischen und sozialen Rahmen, in dem die Entscheidungen getroffen werden.*“ (Ehrlich et al. 1975: 11. Kursivierung von mir) Es ist festzuhalten, dass die Gleichung als Multiplikation von Faktoren erfolgt, gemäß den Annahmen in der mathematischen Populationsgenetik. Der von mir kursiv gesetzte Teil dagegen, also der Zusammenhang der Faktoren, die Rolle des ökonomischen und sozialen Rahmens, verweist auf die lamarckistischen Überlegungen zur „nichtgenetischen Information und Informationsübertragung“ beim Menschen.

Ausgangspunkt der Modellierung der Bevölkerungsentwicklung ist die Relation von Geburten- und Sterbeziffern und der daraus sich ergebende Altersaufbau einer Bevölkerung. Im Modell ausgezeichnet ist zunächst der stabile Fall der „Ersetzungfortpflanzung“, d.h. die Relation von Geburten- und Sterberate ist so strukturiert, dass die sich fortpflanzenden Individuen einer Population die gestorbenen ersetzen, die Bevölkerung weder wächst noch ausstirbt, sondern sich in einem konstanten Zustand erhält. Verändert sich nun die Relation entweder so, dass die Sterberate die Geburtenrate übersteigt, dann droht das Aussterben der Bevölkerung; übersteigt die Geburtenrate die Sterberate kommt es zum Wachstum der Bevölkerung. Eine wachsende Bevölkerung impliziert einen steigenden Bedarf an Grundversorgungsgütern (im minimalen Fall). Da eine Bevölkerung von einer anderen im Sinne der Populationsgenetik naturräumlich abgegrenzt ist, droht bei Wachstum der Bevölkerung die Übernutzung der Ressourcen, die in diesem Raum vorhanden sind, es sei denn, der durch Wachstum erzeugte Druck kann kompensiert werden durch Wanderbewegungen, d.h. durch die Besetzung anderer Räume. Zwar kann durch „Technik“ der Verschleiß von Ressourcen, die Degradation der Böden usw. verzögert, aber nicht aufgehoben werden. Genau deswegen erscheint in dieser Formel die Regulation des Bevölkerungswachstums, ausgerichtet an der Beschaffenheit eines begrenzten Naturraums, als der einzig entscheidende Faktor, der die Umweltkrise wirklich überwinden könne.

Wurde bisher von Bevölkerung gesprochen im Sinne lokaler, über begrenzte und geschlossene Naturräume voneinander abgegrenzter Populationen, so gilt für die menschliche Bevölkerung insgesamt, als Art-Population, dass das ihr zur Verfügung stehende naturräumliche Potential und die in ihm enthaltenen Ressourcen endlich sind. Diese, Raum und Ressourcen, definieren eine Obergrenze des Bevölkerungswachstums, die nicht überschritten werden darf ohne negative, umweltzerstörende Effekte.

Zwar sind (Erd-)Raum, (Populations-)Räume und Ressourcen empirische Größen, d.h. es kann bspw. nur bezogen auf gegenwärtige Kenntnisse der Ablagerung von Rohstoffen abgeschätzt werden, wie viele dieser Rohstoffe insgesamt auf der Erde als Ressourcen zur Verfügung stehen – bestehende Abschätzungen können durch bessere empirische Kenntnisse nach oben oder unten korrigiert werden –, dies ändert aber nichts an dem Sachverhalt, dass jede Ressource als endlich unterstellt werden muss.

Bereichert man diese externen Relationen – definierte vorgegebene Räume und Ressourcen – durch interne Relationen – z.B. um den Faktor der Populationsdichte – sowie um den Bereich der Wechselwirkungen mit anderen in diesem Raum lebenden Populationen – und damit z.B. mögliche Konkurrenzverhältnisse bezüglich der Raumnutzung und der Ressourcenverwendung –, dann lässt sich eine optimale Nutzung des vorgefundenen Raumes und der in ihm enthaltenen Ressourcen bestimmen: die Tragkapazität dieses Raumes. Raum, Ressourcen, populationsinterne Faktoren und Wechselwirkungen mit anderen Populationen wirken als Selektionsinstanzen auf das Fortpflanzungsverhalten der in Frage stehenden Population so ein, dass bei nicht-menschlichen Populationen der jeweilige Optimalzustand als Gleichgewichtszustand schnell erreicht, aber nicht überschritten wird. Damit wird als Norm ausgezeichnet ein stabiler, sich erhaltender Gleichgewichtszustand, relativ zu dem dann Veränderungen in ihren möglichen positiven und/oder negativen Konsequenzen beurteilt werden können sollen.

Doch kann das alles so auf menschliche Bevölkerungen übertragen werden? Schon die Formulierung „lässt sich wie eine mathematische Gleichung ausdrücken“ indiziert, dass begriffliche Unschärfen, Ungenauigkeiten oder in laxen Formulierungen verdeckte systematische Probleme mit dem Konzept und der daran anschließenden Modellierung verknüpft sind: Handelt es sich bei der IPAT-Formel um die qualitativ-sprachliche Formulierung einer mathematischen Gleichung? Oder hat die Formel nur den Anschein einer mathematischen Gleichung; die in die Formel eingehenden Komponenten lassen sich aber nicht so quantifizieren, dass mit ihnen eine wirkliche formale Gleichung formuliert werden könnte; etwa weil für den ökonomischen und sozialen Rahmen, innerhalb dessen die Faktoren wirken, kein Äquivalent in der mathematischen Populationsgenetik aufgewiesen werden kann. Ein weiteres, in dieselbe Problemrichtung weisendes Beispiel ist folgende Aussage, in der von Ehrlich u.a. der Begriff der Population eingeführt wird: „Eine Population ist eine Gruppe von Individuen derselben Art. Beispielsweise wäre ein Entenschwarm oder wären alle Menschen auf Manhattan eine Population. Wichtig ist, die zur Diskussion stehende Population genau zu definieren.“ (Ehrlich et al. 1975: 6) Nimmt man den letzten Satz zurecht Ernst, nämlich die jeweils zur Diskussion stehende Population genau zu bestimmen, dann steht diese Aufforderung quer insbesondere (aber nicht nur: auch die Definition einer Population am Beispiel des Ententeiches ist biologisch mehr als fragwürdig!) zu dem Beispiel, dass alle Menschen auf Manhattan eine Population seien: denn angesichts der alltäglichen Menschenfluktuation gerade in diesem aller-

höchstens *sozial*-räumlich abgrenzbaren Areal lässt sich gerade nicht, insbesondere nicht quantitativ bestimmen, wer alles zu der in Frage stehenden Population gehört und wer nicht.

Zugleich zeigt sich in diesen Sätzen die Verknüpfung zur Tradition der mathematischen Populationsgenetik: die Mitglieder einer Population werden als unverbunden, die Population ausschließlich als Aggregat einzelner Elemente (Gruppe von Individuen derselben Art) vorgestellt, ohne Interaktionseffekte bzw. diese nur als sekundäre Kopplungen gewichtet.

Als weiteres Beispiel für die angesprochene populationsgenetische Tradition einerseits, die möglichen damit verknüpften systematischen Probleme insbesondere hinsichtlich der Überlegungen zur „Tragfähigkeit von Lebensräumen“ andererseits: „Das zweite Gesetz der Thermodynamik ist schwieriger zu fassen. Die Beobachtung, die es beschreibt, ist von größter Bedeutung für alle Überlegungen in diesem Buch und kann auf verschiedene Weise zusammengefasst werden, z.B. folgendermaßen: Je länger unsere Welt existiert, umso weniger Energie steht uns zur Arbeitsleistung zur Verfügung.“ (ebd.: 46) In der Wertschätzung der Thermodynamik findet sich der Grund für die Modellierung der Verteilung von Genen in einer Population nach dem Modell idealer Gase; hierfür ließe sich u.U. im Rahmen von Überlegungen von Konzepttransfers zu Modellierungszwecken noch argumentieren. Systematisch problematisch wird dieser Rückgriff aber dann, wenn man bedenkt, dass das zweite Gesetz der Thermodynamik ausschließlich gilt für gegenüber der Umwelt abgeschlossene Systeme. Das von den Autoren genannte Beispiel der Bewohner von Manhattan als einer Population zeigt aber an, dass die Vorstellung einer Abgeschlossenheit einer Population gegenüber anderen Populationen höchst problematisch ist – im Falle der Menschen allerdings mit der Ausnahme: der Menschheit insgesamt; für diesen Fall kann Genaustausch wohl ausgeschlossen werden. Wird menschliche Population aufgrund des Ausschlusses genetischen Transfers aber bestimmt als Menschheit insgesamt, dann wird es schwierig, lokale Gruppen von Menschen (Manhattan) ebenfalls als Populationen im selben Sinne zu bestimmen; denn hier findet ja gerade ein Austausch über räumliche Grenzen („Gentransfer“) statt. Dieses konzeptuelle Auseinanderbrechen von Global-Modell (die Menschheit) zu lokalen oder regionalen Modellen zeigt sich dann auch in dem Widerspruch zwischen Globalaussagen („die heutige Bevölkerung hat ein Übergewicht an jungen Menschen“, ebd. 1975: 9) und davon abweichenden oder gar konträren regionalen Modellierungen (etwa Überalterung der Bundesrepublik).

Schließlich zeigt sich dann die Unterscheidung von Distribution und Zirkulation im evolutionsbiologischen Kontext als relevant. Denn das von Ehrlich favorisierte Konzept des Erreichens eines Optimal-Zustands durch Selektion schließt eine weitere Evolution der betrachteten Population genau aus. Ist einmal ein Optimalzustand erreicht, dann bedeutet *jede* Abweichung eine Verschlechterung, d.h. sie wird durch Selektion eliminiert; die Population ist in einem Zustand gefangen, aus dem sie sich

nicht mehr befreien kann. Dass aber derselbe Raum und dieselben Ressourcen anders genutzt werden könnten, somit Überlegungen zur Tragekapazität sich nur auf einen *gegebenen Zustand, nicht aber auf einen Entwicklungszusammenhang* beziehen – wie es das Zirkulationskonzept der Synthetischen Theorie der Evolution unterstellt und wie es begrifflich am Modell der Zweck-Mittel-Relation erläutert werden kann – kann in der von Ehrlich herangezogenen Theorie nicht gedacht werden.

Schon von der Grundstruktur seiner Argumentation nimmt Ehrlich die Überlegungen von Malthus wieder auf. Zum einen sieht er die Menschen als natürliche Art eingebunden in die Gesetze der Natur, die als Schranken fungieren und die der Mensch bei Strafe seines Untergangs nicht überschreiten dürfe. Diese Schranken werden weiter qualifiziert als Gleichgewichtssystem. „Die Bedingungen, die die Erde für menschliches Leben bewohnbar machen, resultieren aus äußerst komplexen und möglicherweise leicht zerstörbaren Gleichgewichten ...“ (ebd.: 4) Vergleichbar heißt es bei Malthus: „Die natürliche Ungleichheit, die zwischen den beiden Kräften – der Bevölkerungsvermehrung und der Nahrungserzeugung der Erde – besteht, und das große Gesetz unserer Natur, das die Auswirkungen dieser beiden Gesetze im Gleichgewicht halten muß, bilden die gewaltige, mir unüberwindlich erscheinende Schwierigkeit auf dem Weg zur Vervollkommnungsfähigkeit der Gesellschaft.“ (Malthus 1977: 19)

Beide, Ehrlich und Malthus, gehen von dem Widerstreit zweier Verläufe aus – der entgrenzten Vermehrung der Bevölkerung und der Endlichkeit von Ressourcen und der deswegen begrenzten Tragekapazität der Erde. Für beide ist weiter klar, dass dieser Widerstreit reguliert werden muß durch einen dritten Faktor; d.h. das als Norm ausgezeichnete Gleichgewicht stellt sich nicht von selbst im Wechselspiel der beiden widerstreitenden Verläufe ein, sondern bedarf eines weiteren unabhängigen Moments. Während Malthus das Regulativ physikotheologisch einführt, besteht es für Ehrlich im Wirken der Selektion. Das Außerkraftsetzen des Regulativs resultiert dann wieder für beide gemeinsam aus sozialen Momenten. Bei Malthus heißt es: „Die englischen Armengesetze laufen darauf hinaus, die allgemeinen Lebensbedingungen der Armen auf zwei Arten zu verschlechtern. Zum einen tragen die Gesetze die deutliche Tendenz in sich, die Bevölkerung zu vergrößern, ohne die Nahrungsmittel für ihren Unterhalt zu vermehren. Ein armer Mann darf auch mit geringer oder gar keiner Aussicht, eine Familie von sich aus ernähren zu können, heiraten. Man kann deshalb sagen, die Armengesetze bringen in einem gewissem Ausmaß die Armen, die sie unterhalten, selbst hervor.“ (ebd.: 45) Für Ehrlich ist die Kultivierung der Menschen – und damit eigentlich die Menschwerdung der Menschen, denn was können wir unter Mensch verstehen, wenn wir ihn nicht von vornherein als kulturelles, soziales Wesen thematisieren? – die Ursache der Fehlentwicklung: „Der Mensch ist, spätestens seit er zum Ackerbau übergang, ein Feind komplexer Ökosysteme geworden.“ (Ehrlich et al. 1975: 5)

So kurios dies klingen mag: Ehrlichs Argument bezüglich des Menschen als „Fehlentwicklung“ ist konsequent vor dem mathematisch-populationsgenetischen Hintergrund, dass Evolution durch Selektion in einen optimalen Zustand gelenkt wird – der Mensch aber von Ehrlich definiert wurde als diejenige Art, die sich mittels eines lamarckistischen Mechanismus entwickelt. Nur für den Moment angenommen, es wäre so, dass für den Menschen ein anderer Entwicklungsmechanismus gälte als wie für die übrige lebendige Natur – dann steht Ehrlich vor dem Problem, die Entstehung des Menschen mit seinen, der Biologie entnommenen Mitteln nicht mehr erklären zu können. Denn wie soll durch Selektion etwas zustande kommen, das durch seine artkonstituierende Besonderheit, das Verfügen über Kultur, selektionistisch nur negativ bewertet werden kann, also gar nicht hätte zustande kommen können. Insofern muss aus Ehrlichs eigenem Konzept heraus festgehalten werden, dass seine Definition der biologischen Art Mensch falsch ist – womit ihm dann selbstverständlich der gesamte Bereich der Kultur, der Technik, des Sozialen verloren geht. Oder aber an der Definition des Menschen als kulturellem Wesen wird festgehalten, womit dann die Möglichkeit der Modellierung der Bevölkerungsentwicklung mit Hilfe der Grundannahmen der mathematischen Populationsgenetik (bzw. insgesamt biologischer Theorien) verunmöglicht wird. Somit muss gesagt werden, dass der erste Teil der oben angeführten Definition der IPAT-Formel in einem sich wechselseitig jeweils ausschließenden Widerspruch steht zu dem zweiten Teil, der Behauptung, dass die einzelnen Faktoren, die in die IPAT-Formel eingehen, einen sozialen und ökonomischen Zusammenhang darstellen, relativ zu dem sie erst als Faktoren bestimmt und gewichtet werden können.

Um nur ein einziges Beispiel für diesen Widerspruch zu nennen, an dem die Unhaltbarkeit der Ehrlichschen Prämissen sofort aufscheint: „Von den Europäern wurden in der Zeit, als sie ihre Hände nach der westlichen Hemisphäre ausstreckten, viele Kriege geführt. Sie kämpften in der Neuen Welt sowohl gegeneinander als auch gegen die kleinen Eingeborenenpopulationen. Und in der jüngsten europäischen Geschichte war es auch zum Teil Bevölkerungsdruck, der im nationalsozialistischen Deutschland den bekannten Ruf nach ‚Lebensraum‘ laut werden ließ, nach Raum, den man vor allem im Osten suchte. Seinen Höhepunkt erreichte dieses Streben in dem unglücklichen ‚Unternehmen Barbarossa‘, dem Einfall in die Sowjetunion. Der Historiker D.L. Bilderback bemerkt hierzu, in den ersten Jahren nach Hitlers Machtübernahme habe (in Deutschland) ‚eine große Zahl intelligenter und human denkender Menschen wirklich geglaubt, das östliche Abenteuer sei eine für das eigene Überleben notwendige Sache‘. Ob Deutschland 1941 im absoluten Sinne überbevölkert war, ist nicht der springende Punkt. Die Nation empfand sich als überbevölkert.“ (Ehrlich/Ehrlich 1972: 44f.) Wenn es *im populationsgenetischen Sinne* einen wirklichen und nicht nur „empfundenen“ Bevölkerungsdruck gegeben hat, dann war das Unternehmen Barbarossa gerechtfertigt im „Überlebenskampf des deutschen Volkes“ und „unglücklich“ nur insofern, als es gescheitert ist. Biologisch gesehen – muss man dann zugeben – hatten die Nationalsozialisten völlig recht und es ist ihnen kein Vorwurf zu machen. Vollkommen unsinnig und absurd werden dann aber die

Auslassungen Ehrlichs, wenn er zugibt, dass es möglicherweise gerade keinen wirklichen Bevölkerungsdruck gegeben habe, sondern nur ein „Empfinden“. Wie dieses „Empfinden“ selektionistisch ausbuchstabiert werden können soll, dürfte wohl auf ewig Ehrlichs Geheimnis bleiben!

Bezüglich der formalen Seite der Modellierung kann Ehrlich mit diesem auf einem Widerstreit basierenden Konzept nur zur Modellierung mittels linearer Verlaufsgleichungen kommen, die zwar genauer (insbesondere durch die Selektionstheorie) ausformuliert sind wie bei Malthus, insgesamt aber nicht über dessen Erkenntnisse hinausreichen. Die Erde wird als ein endliches, abgeschlossenes System modelliert, die Bevölkerungsvermehrung mit unterschiedlichen Wachstumskoeffizienten wird korreliert mit begrenzten, abgeschlossenen Nahrungsressourcen und Energievorräten, so dass die Konsequenzen bezüglich des Verschleißes der Ressourcen, der Möglichkeiten, ein Gleichgewicht durch Ersatzfortpflanzung zu erreichen in ihren Konsequenzen für die endliche und in sich bestimmte Umwelt graphisch dargestellt werden können.

Dabei bemerkt Ehrlich mehrfach, dass gravierende Veränderungen in der Bevölkerungsvermehrung sehr schnell auftreten; diese Beobachtungen sind, wenn man so will, dem populationsgenetischen Ansatz geschuldet, in dem ja behauptet wird, dass durch Selektion positive oder negative Veränderungen stabilisiert oder beseitigt werden können. Was aber *biologisch* mittels Selektion auf Umwelt-Passung und genetischer Vererbung erklärt werden kann, stößt eben bezogen auf menschliche Gemeinwesen immer wieder auf Schwierigkeiten, die Ehrlich günstigstenfalls benennen, aber nicht auflösen kann: „Was ist der Grund für die geringe Geburtenrate in industrialisierten Ländern? Niemand weiß es genau, ...“ (Ehrlich et al. 1975: 22) Spektakuläre Umweltveränderung sind es nicht, offenkundig eher Momente, die ausschließlich auf der Ebene des sozialen Reproduktionsmodus menschlicher Gemeinwesen liegen, umschreibbar bspw. als Übergang von Gemeinschaftlichkeit zur Gesellschaftlichkeit. Ehrlich vermutet solche Zusammenhänge (wobei er konsequent historische, sozialgeographische und sozialtheoretische Untersuchungen ausblendet), wenn er etwa den bäuerlichen Reproduktionsmodus mit hohen Kinderzahlen (Kinder mit Produzentenstatus) verknüpft, in Industriegesellschaften Kinder aber weit stärker einen Konsumentenstatus haben, also „teurer“ bezüglich der individuellen Kapitalakkumulation. Während also für die Erklärung der Veränderung im Fortpflanzungsverhalten der gegenwärtigen Industrieländer der auf der mathematischen Populationsgenetik beruhende Ansatz an offenkundige Erklärungsgrenzen stößt, ist sich Ehrlich dagegen bezüglich der unterentwickelten Länder sicher. „Man muß sich dabei an einen kritischen Punkt erinnern. Dieses Absinken der Sterberate unterscheidet sich von dem langfristigen allmählichen Absinken, das im Anschluss an die landwirtschaftliche Revolution erfolgte. Es unterscheidet sich auch von der Senkung der Sterberate in den Industrieländern der westlichen Welt. Es ist eine Reaktion auf eine *spektakuläre Änderung der Umweltverhältnisse* in den unterentwickelten Ländern, vor allen Dingen aufgrund einer Kontrolle der Infektionskrankheiten; nicht

aber aufgrund einer Änderung ihrer Sozialordnung oder ihres allgemeinen Lebens. *Auch entstand diese Änderung nicht in diesen Ländern selbst, sondern sie wurde importiert.*“ (ebd.: 24f. Hervorhebung von mir). Für Ehrlich bedarf es scheinbar keiner Erklärung, weshalb im Fall der Industrieländer die Umstellung ohne „spektakuläre Änderung der Umweltverhältnisse“ und offenkundig ausschließlich durch interne Faktoren realisiert wurde, im Fall der Entwicklungsländer dies jedoch aufgrund geänderter Umweltverhältnisse und externer Faktoren erfolgt sein soll. Populationsgenetisch entspricht die Erklärung für die Industrieländer der Entwicklungsvorstellung der Synthetischen Theorie, die Erklärung für die Entwicklungsländer der Evolutionsvorstellung der mathematischen Populationsgenetik.

Insofern kann behauptet werden, dass sich bei Ehrlich der Widerspruch der beiden populationsgenetischen Konzepte in der Biologie einerseits, andererseits der Widerspruch von darwinistisch-genetischem und lamarckistischem Entwicklungsmechanismus reproduziert als Widerspruch in der Entwicklungsrealisation von Industrieländern und „unterentwickelten Ländern“. Ein gewiss erklärungsbedürftiges Phänomen.

Dadurch, dass Ehrlich zwar zu recht den Anspruch formuliert, den Gegenstand der Bevölkerungswissenschaft begrifflich genau einzuführen, er selbst aber in seiner immer nur angedeuteten Einlösung dieses Anspruchs einen unauflösbaren Widerspruch von darwinistisch-genetischer und lamarckistischer Gegenstandsqualifikation präsentiert, sollte deutlich geworden sein, dass

- Bevölkerung als Gegenstand der Demographie nicht ausschließlich über einen biologischen Begriff von Population sowie den damit verknüpften Selektions- und Raumvorstellungen gewonnen werden kann; noch
- der Hinweis auf die einer Bevölkerung äußerlich und kontingent bleibenden räumlichen Grenzen (bspw. Staatsgrenzen) zu einer zureichenden Qualifizierung der Rede von Bevölkerung führen kann. Daher
- eine Bestimmung von Bevölkerung *sozialtheoretisch* so vorgenommen werden müsste, dass innerhalb dieser sozialtheoretischen Bestimmung die Differenz von Natürlichem und Sozialem als Selbstunterschied des Sozialen aufgewiesen wird.

Schon bei den oben benannten qualitativen Vorannahmen, die in die Bevölkerungswissenschaft eingehen, hat sich aber als durchgängige Unterstellung gezeigt, dass der Gegenstand der Bevölkerungswissenschaft gleichsam natürlich vorfindlich und nur über Modellierungen abzubilden sei; d.h. das Problem einer Modellierung für ... wird als solches nicht thematisiert und nur auf das Problem der Modellierung von ..., also der möglichst geschickten Auswahl von Modellierungsverfahren fokussiert. Es ist aber grundsätzlich zu fragen, ob „Bevölkerung“ zureichend bestimmt ist, wenn mit ihr die Bewohner eines Staatsgebiets gemeint sind. So könnte es bspw. sein, dass für den Fortpflanzungszusammenhang und dessen Modellierung die Spannung zwischen Bevölkerung im Sinne von Einwohnern eines Staates und Bevölkerung im Sinne von Stamm, deren Zusammenhang sich häufig nicht mit

Staatsgrenzen deckt, ein wichtiger Faktor ist (relevant ist dies insbesondere für Afrika, wo Staatsgrenzen imperialen Interessen folgend festgelegt wurden bei Mißachtung von Stammeszugehörigkeiten und Stammesgrenzen). Unterstellt man, dass es sich bei „Bevölkerung“ um eine quasi natürlich vorfindliche Entität handelt, der gegenüber soziale Momente wie Staatsgebilde und Staatsgrenzen als sozial konstituierten Räumen nur äußerlich sind resp. es sich um andere, von der Bevölkerung getrennte und gänzlich verschiedene Sachverhalte handele, dann steht man ideologietheoretisch vor dem Problem, das diese Rede von Bevölkerung lange Zeit geprägt hat und m.E. heute konzeptionell in der Demographie nicht wirklich überwunden wurde: nämlich der anthropogeographischen und geopolitischen Vorstellung, dass „Reichsgrenzen“ und „Volk“ nicht deckungsgleich seien, (vgl. hierzu bspw. kritisch Köster 2002; eher affirmativ Ebeling 1994). In sozialtheoretischer Hinsicht zum Zwecke der begründeten Rede von „Bevölkerung“ ist daher entscheidend nicht nur eine (mögliche) Bestimmung differenter Fortpflanzungsgemeinschaften, sondern wichtiger noch die sozialtheoretische Unterscheidung zweier Modi von Gemeinwesen: Gemeinschaft (als z.B. Stämmen) und Gesellschaft (als z.B. einem staatlich strukturierten Zusammenhang). Wie wichtig diese typologische Unterscheidung für demographische Forschungen sein könnte, zeigt allein der Sachverhalt, dass dem, was unter einer Familie verstanden wird, wie sie sich reproduziert usw., völlig differente Bedeutungen zukommen, je nach dem, ob das Gemeinwesen als Gemeinschaft oder als Gesellschaft organisiert ist (vgl. hierzu grundsätzlich immer noch Tönnies 1972). Denn es geht hier gerade nicht um eine bloße quantitative Unterscheidung von Großfamilien und der „bürgerlichen“ Kleinfamilie, sondern um die Bestimmung des Verhältnisses von Reproduktion und Produktion innerhalb des jeweiligen Typus von Gemeinwesen.

Diese und andere minimale sozialtheoretische Bestimmungen, die doch eine erste Qualifizierung des Gegenstandsbereichs demographischer Forschungen ermöglichen und gerade für die empirischen Forschungsschwerpunkte des Laxenburg-Instituts (Afrika) zentral wichtig wären, werden auch in den Darstellungen dieses Modellansatzes überhaupt nicht angesprochen. Vielmehr wird die Fragestellung sofort dahingehend zugespitzt zu thematisieren, wie viele und welche Faktoren in welcher Gewichtung in Modellierungen eingebunden werden sollten. Damit wird gegenüber dem IPAT-Konzept die mathematische Seite der Modellierung sicherlich viel besser und vor allem differenzierter – die inhaltlichen, mit der Konstitution des zu modellierenden Gegenstands zusammenhängenden methodologischen und methodischen Probleme bleiben aber unverändert bestehen. Ihnen gilt nun in den folgenden Überlegungen besondere Aufmerksamkeit.

Methodische Überlegungen zu Modell und Modellierung

0 Modellieren als Abstrahieren

Schließt man den trivialen Fall von „Rechenfehlern“, formalen Fehlern im Modellaufbau und der Modellrechnung aus, dann hat eine kritische Analyse formaler Modelle in den Einzelwissenschaften vorrangig zu klären, welche Vorannahmen zu welchen Zwecken in die Modellierung investiert wurden. Formale Verfahren sind zunächst analytische Mittel, mit denen Gegenstände, Verläufe, Prozesse, die selbst

- unabhängig von der Modellierung und
- der Modellierung vorgängig

als Gegenstände gemäß bestimmter Forschungsinteressen resp. Forschungszwecke bestimmt sein müssen, dargestellt werden können.

Dies ist als klassisches Problem schon seit der Newtonschen Mechanik und den daran anschließenden Debatten bekannt. Mathematik bzw. mathematische Teildisziplinen wie Algebra (Descartes) oder Geometrie (Pascal) sind noch nicht selbst Physik, sondern sie können als Darstellungsmittel physikalischer Verläufe dann verwandt werden, wenn z.B. physikalisch ein Kraft- und/oder Bewegungsbegriff formuliert wurde, der erst eine physikalisch gehaltvolle Interpretation der formalen Modellierung ermöglicht; erinnert sei etwa an die Auseinandersetzung um Newtons Gravitationsgesetz. Ein geometrischer Punkt bewegt sich nicht noch kann er bewegt werden oder Kraftwirkungen entfalten. Nur wenn in der formalen Darstellung eine Abfolge von Punkten mittels einer Funktionsgleichung interpretiert werden kann als durch Kräfte verursachte Bewegung eines Körpers in Raum und Zeit, kann die mathematische Darstellung begriffen werden als Repräsentation einer physikalischen Bewegung. (vgl. die Arbeiten von Wahsner, Wahsner & Borzeszkowski, Freudenthal).

Formalisierungen sind i.d.R. Abstraktionen von der Gegenständlichkeit des zu untersuchenden Gegenstands, Abstraktionen von der Gegenständlichkeit zu dem Zweck, eine Untersuchung des Verhaltens zu ermöglichen. So ist es möglich zu sagen, dass die Formalisierung beruht auf der analytischen Trennung des zu untersuchenden Gegenstands in die Momente von Substanz/Ding einerseits, Verhalten andererseits (vgl. Wahsner 1992; Ruben 1979). Diese im Rahmen von Forschungshandlungen gemäß bestimmter Zwecke vom Forscher vorgenommene analytische Trennung muss im Resultat des Forschungshandelns immer wieder „aufgehoben“ werden, d.h. die Modellierung eines Verhaltens als Darstellung des Verhaltens dieses Körpers, Dinges oder Gegenstands begriffen werden, der Abstraktionsschritt somit wieder im Begriff eines gegenständlichen Verhaltens „konkretisiert“ werden. Sehr häufig allerdings wurde und wird die vom Forscher vorgenommene analytische Unterscheidung von Ding und Verhalten vorgestellt als eine Unterscheidung, die in der „Natur“ selbst schon vorgenommen worden sei und somit von dem jeweiligen Forscher nur „entdeckt“ werden müsse. Bezogen auf den Fall der Untersuchung des Verhaltens menschlicher Bevölkerungen etwa wird häufig so geredet als gäbe es natürlich vorfindbare und unabhängig voneinander existierende Dinge wie „Bevöl-

kerung“, „Umwelt“ und „Ressourcen“, die dann, sozusagen in einem zweiten Schritt, auch untereinander über ihr jeweiliges Verhalten zueinander in verschiedene Beziehungen eintreten könnten. Eine solche Ontologisierung von im Forschungshandeln vom Forscher vollzogener analytischer Unterscheidungen nennt man seit Whitehead den „Fehler der falschen Konkretheit“, die Verwechslung des Abstrakten mit dem Konkreten (vgl. Whitehead 1984).

1 Gegenstand und Verhalten

Formale Modelle bilden also nicht einfachhin eine vorfindliche Wirklichkeit ab, sondern in der Modellierung wird ein Teilaspekt, ein Ausschnitt des zu untersuchenden Gegenstands, der selbst wiederum im Rahmen von Zwecksetzungen als Gegenstand von Forschungshandlungen konstituiert wurde, unter Abstraktion von anderen möglichen Teilaspekten, Ausschnitten usw. und insbesondere unter Absehung von „Wechselwirkungen“ mit anderen Gegenständen so aufbereitet, dass über die Modellierung ein bestimmtes Verhalten dieses Gegenstands und *nur dieses* Verhalten untersucht werden kann. Eine solche Modellierung eines Verhaltens eines zu untersuchenden Gegenstands darf nun nicht verstanden werden so, als ob der Gegenstand sich *notwendiger Weise* so verhalten *müsse*; vielmehr gilt, dass die Modellierung, wenn sie denn erfolgreich war (gemäß der Zwecke, aufgrund deren die Modellierung erfolgte), Aufschluss gibt über ein dem Gegenstand *mögliches* Verhalten (vgl. zum Möglichkeitsbegriff die Arbeiten von Josef König).

Die Betonung der Möglichkeit eines Verhaltens behauptet nicht, dass die Untersuchung des Verhaltens eines Gegenstands ergänzt werden müsse durch weitere Untersuchungen anderer Verhaltensmöglichkeiten, über die der Gegenstand *auch noch* verfügt, so dass die Untersuchung dann als abgeschlossen gelten könne, wenn alle dem Gegenstand möglichen verschiedenen Verhaltensweisen erfasst seien. Vielmehr gilt es zu bedenken, dass aus einem möglichen Verhalten erst in der Wechselwirkung mit *anderen* Gegenständen und deren Verhaltensmöglichkeiten ein wirkliches Verhalten wird. Auch hier kann verwiesen werden auf die Diskussion um Newtons Gravitationsgesetz: Es ist physikalisch sinnlos zu sagen, ein Körper (unabhängig und getrennt von anderen Körpern) „habe“ Gravitationskraft, vielmehr meinte Newton mit Gravitationskraft ein Verhältnis zwischen Körpern oder: Gravitationskraft ist ein physikalisch bestimmtes Verhalten von Körpern zueinander, aber keine Eigenschaft, die ein Körper unabhängig von anderen Körpern immer schon hat (vgl. hierzu insbesondere Borzeszkowski/Wahsner 1978).

Nun könnte die Aussage, dass erst in der Wechselwirkung mit anderen Körpern aus einem möglichen Verhalten ein wirkliches werde, dahingehend missverstanden werden, dass in und mit der Modellierung Möglichkeiten eines Systemverhaltens untersucht werden, die erst danach in die Wirklichkeit überführt werden könnten. Hier gilt es zu bedenken, dass der Ausgangspunkt von Modellierungen immer ein *realisiertes* gegenständliches Verhalten ist, das analytisch zerlegt wird in das Ding, das

sich verhält (genauer eigentlich: verhalten hat), und ein Verhalten, das ein Verhalten des Dinges ist (genauer: war). Somit ergibt sich der Vorrang des Möglichen vor dem Wirklichen nur in einer konstitutionstheoretischen Perspektive, nicht aber in einer *rekonstruktionstheoretischen*.

Indem die Modellierung ein einem Gegenstand mögliches bestimmtes Verhalten zu fixieren versucht, werden in der Modellierung zugleich Grenzen bestimmt, die den Bereich der Geltung des Modells markieren. Auch hier ist wichtig festzuhalten – gerade mit Blick auf Systemtheorien –, dass die Grenzen keine an dem Gegenstand selbst vorfindliche natürliche Abschlüsse darstellen, sondern über die Modellierung, also wiederum über das Forschungshandeln, als Grenzen bestimmt werden; anders droht wieder der Fehler der falschen Konkretheit. Gerade im *populationsbiologischen* Kontext ist es ein zentrales, schwieriges und bis heute umstrittenes Problem, die Grenze einer Population (und damit eben ihre Einheit als diese bestimmte Population!) begrifflich zu bestimmen: Während im experimentellen Handeln die Grenze einer Population etwa über die Hälterung der zu untersuchenden Tiere gesetzt wird, ist für frei lebende Populationen umstritten, ob eine Population *begrenzt wird* über die Umwelt (selektionistischer Ansatz der mathematischen Populationsgenetik, den etwa auch Ehrlich vertritt) oder *sich selbst begrenzt* über „gene flow“ (Ernst Mayr und die Synthetische Theorie der Evolution; vgl. Beurton 1994). Da Modelle über die Entwicklung menschlicher Bevölkerungen alle mehr oder weniger auf biologische Populationstheorien zurückgreifen, steht zu erwarten, dass eine Modellierung menschlicher Bevölkerungen erheblich differiert je nachdem, ob sie die erste oder die zweite populationsgenetische Theorie zum Ausgangspunkt nimmt.

Und weil im Modell ein mögliches Verhalten dargestellt wird, muss die Differenz zwischen dem *wirklichen Verhalten* des im Modell dargestellten Gegenstands und dem *dargestellten möglichen Verhalten* des wirklichen Gegenstands bewusst bleiben. Modelle stellen eben keine Abbildungen, auch keine vereinfachenden oder Komplexität reduzierende Abbildungen einer vorfindlichen, in sich bestimmten Wirklichkeit dar, vielmehr sind sie als *Repräsentationen möglichen Verhaltens wirklicher Gegenstände Konstruktionen von Wirklichkeit* (vgl. Stachowiak 1983).

2 Verhalten und Entwicklung: Zur Unterscheidung von Distribution und Zirkulation

Indem formale Modelle ein mögliches Verhalten eines Gegenstands, aber nicht diesen bezüglich seiner Gegenständlichkeit (der Gegenstand erscheint als bloßer Träger des Verhaltens), thematisieren, schließen sie die Entwicklung des zu untersuchenden Gegenstands aus. Zumindest dann, wenn man unter Entwicklung die Entstehung von Neuem, bisher nicht (auch nicht in Anfängen) Vorhandenem versteht. Während im Englischen mit den Worten „development“ und „evolution“ die Entwicklung eines Kindes zu einem Erwachsenen oder die Entwicklung eines Hühnchens aus einem Ei (development) sprachlich unterschieden werden kann von der Entwicklung eines „Fisches“ zu einem an Land lebenden Tier (evolution), verwenden wir im

Deutschen für beide Vorgänge dasselbe Wort Entwicklung (vgl. hierzu König 1994, Gutmann/Weingarten 2001).

Hier sei festgehalten, dass zumindest im Forschungsprogramm des Laxenburger Instituts zur Bevölkerungsentwicklung in den englischen Arbeiten konsequent von „development“ gesprochen, aber im Rückgriff auf Evolutionskonzepte modelliert wird.

Mit Blick auf die Bevölkerungsthematik und in dem Versuch einer weiteren terminologischen Unterscheidung soll festgehalten werden:

a) Es dürfte unbestritten sein, dass Malthus, unabhängig von der Richtigkeit oder Falschheit seiner Überlegungen, zumindest einer der Gründungsväter auch der modernen Bevölkerungswissenschaft ist. In der Malthus-Rezeption finden sich aber m.E. zwei grundsätzliche Probleme. Zum einen spricht Malthus in der ersten Ausgabe seines Essays, und nur diese ist öffentlich wirksam geworden, gerade nicht von einer homogenen Bevölkerung (eines Landes wie England oder im Sinne der Menschheit insgesamt), sondern seine Bevölkerungsgesetze basieren auf dem Vergleich zumindest zweier unterschiedlicher Fortpflanzungsverhältnisse innerhalb eines Landes: nämlich dem „richtigen“ Fortpflanzungsverhalten der Oberschicht (wenige Nachkommen, die aber gut ernährt und ausgebildet werden können) und dem „falschen“ Fortpflanzungsverhalten der Unterschicht (viele Nachkommen, die zunehmend schlechter ernährt und ausgebildet werden können mit entsprechend unter distributiven Gesichtspunkten zunehmender Verschlechterung der Ernährungs- und Bildungsmöglichkeiten auch der Nachkommen der oberen Schichten der Bevölkerung). In diesem Vergleichszusammenhang rechnet er dann zwar auch aus, dass aufgrund des Wachstums der Unterschicht die Ernährung aller Menschen eines Landes schon mittelfristig (eigentlich schon jetzt, zu seiner Zeit) nicht mehr zu gewährleisten sei – aber das ihm wichtigste Problem ist doch das Verschwinden der Oberschicht infolge der differenten Wachstumsraten! Zwar erhält sich die Oberschicht aufgrund ihres Fortpflanzungsverhaltens ungefähr numerisch, aber gegenüber der rapide anwachsenden Unterschicht verschwindet sie.

Damit reagiert Malthus nicht nur auf sozialpolitische (Herausbildung eines städtischen Proletariats) und ökonomietheoretische (etwa die seit der frühen Neuzeit vertretene These, der Reichtum eines Landes bestehe in einer großen und stetig wachsenden Bevölkerung) Probleme seiner Zeit, sondern methodisch basieren seine Überlegungen auf einem göttlich vorgegebenen und deshalb zu *erhaltenden* „Gleichgewichtszustand“ von Machtpositionen, der aber durch das Fortpflanzungsverhalten der Unterschicht „entarte“ und so die göttliche Ordnung zerstöre. Genau damit ist mit Malthus Entwicklung im heutigen Sinne von „evolution“ aus dem Forschungsprogramm der Bevölkerungswissenschaft ausgeschlossen; dies im Übrigen in Übereinstimmung mit der damaligen Naturgeschichte resp. entstehenden Biologie.

Zum anderen ist von Seiten der Biologiegeschichtsschreibung nachgewiesen worden, dass das Buch von Malthus „Essay on Population“ gerade keinen Einfluss auf die Herausbildung von Darwins Evolutionstheorie hatte – trotz der anscheinend Gegenteiliges behauptenden späten Notiz Darwins in seiner Autobiographie (vgl. hierzu Arbeiten von Ernst Mayr, insbesondere Mayr 1994 und Peter Beurton). In seinen Tagebüchern und Notizheften exzerpierte und kommentierte Darwin äußerst sorgfältig all die Arbeiten, die ihm für die Begründung und Ausformulierung seines Projekts wichtig waren; bezogen auf den Essay findet sich aber nur die Notiz, wann er ihn gelesen hat. Und wenn es richtig ist, dass Malthus' Überlegungen auf dem Entwicklungsausschluss basieren, dürfte auch klar sein, warum Darwin dieses Buch nicht interessieren konnte. Denn er wollte doch gerade aufzeigen, dass – um einen Bonmot aufzugreifen – in der Biologie alles nur dann Sinn macht, wenn man es unter der Perspektive der Evolution, der permanenten Veränderung des Lebendigen und des Entstehens von neuen Lebewesen betrachtet; also die zu Malthus direkt konträre Position. Und die (über die numerische, also über die bloße Erhaltung einer „Art“ der Zahl nach hinausgehende) „Überproduktion“ von Nachkommen wurde ihm zum Schlüssel für die Erklärung der Entstehung von Neuem, also gerade nicht begriffen als drohende Zerstörung einer harmonischen göttlichen Wohlordnung, sondern Darwin thematisierte Überproduktion als einen möglichen Entwicklungsmechanismus. Wurde im physikotheologischen Gedankengang, auf den auch Malthus sich stützt, die numerische Überproduktion durch das Vorhandensein vieler natürlicher Fressfeinde usw. entproblematisiert – denn im Endeffekt gelangen ja in Folge der göttlichen Voraussicht und Wohlordnung gerade nur so viele der zunächst in Überzahl produzierten artgleichen Individuen in ein Fortpflanzungsstadium wie es für die numerische Erhaltung der Art notwendig ist –, so weist Malthus eben darauf hin, dass diese Entproblematisierung durch menschliches Tun in Form von Sozialgesetzgebung, Sozialpolitik, Fürsorge außer Kraft gesetzt wurde. Genau hier liegt für ihn das Problem, nicht in der (numerischen) Überproduktion „an sich“.

Darwin dagegen bemüht sich um eine neue semantische Belegung des Wortes Überproduktion: Wenn (numerische) Überproduktion nicht einfachhin die Anzahl artgleicher Exemplare (Art hier im taxonomisch-typologischen Sinn) meint, sondern jedes Exemplar von jedem anderen als „Variante“ unterschieden ist, dann können durch Bewertungen der Varianten Differenzierungen (horizontal als Vervielfältigung der Anzahl von Arten, vertikal als Entstehung neuer Arten) innerhalb einer „Art-Population“ entstehen (Bei Darwin: Differenz der Charaktere; vgl. Darwin 1899, Kap. IV, insbesondere 129ff. Vgl. weiter Weingarten 1992, 1993; Janich/Weingarten 1999).

b) Hier kann nun unmittelbar eine begriffliche Unterscheidung angeschlossen werden. Denn ebenfalls in Übereinstimmung mit der Naturgeschichte seiner Zeit thematisierte Malthus ausschließlich die Folgen der Verteilung, der Distribution der Bevölkerung resp. von Bevölkerungsgruppen in einem Land. Das Entscheidende seiner Evolutionstheorie dagegen sah Darwin nicht in distributionstheoretischen

Überlegungen (der Verteilung von Lebewesen in einem vorgegebenen Raum), sondern in der Unterscheidung und Abgrenzung von Distributions- und Zirkulationsvorgängen. Für jede Distributionstheorie gilt, dass

- die zu verteilenden Produkte, Güter oder Dinge *artgleich* und insofern *homogen* sind;
- die Bewertung der zu verteilenden Produkte, Güter oder Dinge *vor und unabhängig von* der Verteilung vorgenommen wurde.

Zirkulation unterscheidet sich dann mindestens insofern von Distribution, als in der Verteilung zunächst gleich scheinender Produkte, Güter oder Dinge Bewertungen in Form der Nutzung dieser Produkte, Güter und Dinge vorgenommen werden, die – je nach Bewertung und Nutzung – diese Produkte, Güter oder Dinge differenzieren können in verschiedene Produkte, Güter oder Dinge. Insofern sind die zirkulierenden Produkte, Güter und Dinge entgegen dem ersten Anschein nicht als homogen (dies die Sicht des Produzenten), sondern als *heterogen* (aus der Sicht des Konsumenten und Nutzers) zu bestimmen.

In ihrem systematischen Gehalt kann diese Überlegung erläutert werden am Beispiel technischer Mittel, mit denen im Handeln (also in deren Gebrauch) Zwecke realisiert werden. Aus der Sicht der Herstellers eines technischen Mittels ist dieses zwar immer bezogen auf einen Zweck, der mit diesem Mittel verwirklicht werden soll; aber im Gebrauch des Mittels können dann Möglichkeiten der Mittelverwendung entdeckt werden, die über die ursprüngliche Zwecksetzung, auf die das Mittel als Mittel bezogen war, hinausreichen. Mittel repräsentieren somit „innerhalb von Zweck-Mittel-Systemen einen mehr oder weniger bestimmten Gebrauch. Die tatsächliche Anwendung eines Werkzeugs oder einer Maschine kann jedoch von der bei der Herstellung antizipierten Nutzung divergieren – ein Umstand, der sowohl vorgefaßte Pläne beschränken als auch den Horizont der Möglichkeiten erweitern kann. Dieser *Überschuß* der Mittel gründet sich in deren empirischen Wirkeigenschaften als umgeformten Naturgegenständen. Die naturale Basis ist also wesentlich um zu begreifen, wieso technische Mittel ihre überschießenden Potenzen als reale oder objektive Möglichkeiten enthalten. Ohne die Berücksichtigung dieser Naturseite wird man meines Erachtens dem Problem einer zielbestimmenden Potenz technischer Mittel nicht gerecht. Reduziert man hingegen diese Instrumente auf ihre Funktion innerhalb sozialer Handlungszusammenhänge, wird ihr natural bedingter Überschuß systematisch eliminiert.“ (Rohbeck 1993: 238) Verdichtet zu einer These: „Die gegenständlichen Mittel der Technik enthalten und offenbaren während ihres Gebrauchs immer mehr und andere Möglichkeiten, als zur Zeit ihrer Planung und Herstellung bezweckt waren.“ (ebd.: 219) Werden die in dem Gebrauch eines Mittels entdeckten Möglichkeiten weiterer Zweckrealisationen in wirkliche Zweckrealisationen umgesetzt, also ein neuer Mittel-Zweck-Zusammenhang realisiert, dann ist damit genau das Phänomen der Entwicklung als Entstehung von Neuem (hier eben einem neuen Zweck-Mittel-Zusammenhang) erklärt (vgl. einführend auch Hubig 2002).

Diese am Beispiel technischer Mittel und deren Gebrauch gewonnene Einsicht bezüglich dessen, was mit der Rede von Entwicklung rational gemeint ist, kann als *Modell für* die Strukturierung evolutionärer Verläufe verwendet werden. Nur über die Untersuchung der Zirkulation eines „Gens“ und der damit gegebenen Möglichkeit differenter Nutzungen der durch das Gen repräsentierten Veränderung in einer Population kann nach Darwin gezeigt werden, wie sich Neues als Möglichkeit nicht nur ausbilden, sondern auch dauerhaft über Reproduktion fixiert werden könne. Übrigens eine Überlegung, die sich bezogen auf Wissen ebenfalls bei Hegel, bezogen auf ökonomische und gesellschaftliche Sachverhalte bei Marx und später dann bei Schumpeter finden lässt; auch bei diesen ist Entwicklung (evolution) gebunden an Vorgänge in der Zirkulationssphäre (vgl. Weingarten 2000).

So wie im Verweis auf den Ansatz der Laxenburger Forschungsgruppe als auffällig schon notiert wurde, dass im bevölkerungswissenschaftlichen Kontext von development und nicht von evolution gesprochen wird, ist ebenfalls als auffallend festzuhalten, dass ausschließlich oder doch überwiegend von der *Distribution* einer Bevölkerung im Raum eines Landes, der Umwelt usw. gesprochen wird, nicht aber von *Zirkulation*. Vor dem Hintergrund der oben gegebenen Erläuterung zur Entwicklung technischer Mittel kann die begrifflich-konzeptuelle Differenz zwischen „evolution“ und „development“ dahingehend erläutert werden, dass mit „development“ diejenigen Verläufe bezeichnet werden, *in denen ein „Zweck-Mittel-Zusammenhang“ identisch reproduziert wird unter Abstraktion der Möglichkeiten anderer Mittelverwendungen und damit anderen Zweck-Realisationen*; verkürzt gesagt: den an der Entwicklung eines Individuums forschenden Biologen interessiert eben nur, wie aus einem befruchteten Hühnerei ein Huhn wird. Dagegen fragt der Evolutionsbiologe gerade nach dem, wovon der Entwicklungsbiologe abstrahiert: nach den *Möglichkeiten in der gegebenen Verwendung/Nutzung vorhandener Struktur-Funktions-Zusammenhänge für andere Struktur-Funktions-Zusammenhänge und den Ursachen, die zur Verwirklichung solcher möglichen Nutzungszusammenhänge führen*. Dies führt zur letzten methodischen Vorbemerkung.

3 Der Gegenstand der Modellierung: Bevölkerung und Population

Dort, wo in der Evolutionsbiologie (und in der an sie anschließenden Bevölkerungswissenschaft) heute wie selbstverständlich von Population gesprochen wird, finden sich bei Darwin merkwürdig gequälte Ausdrücke wie „Gruppe von Varietäten“. Wäre Darwin von Malthus beeinflusst, warum übernimmt er nicht das Wort „Population“, sondern sucht es eher zu vermeiden? War dies Wort ihm nicht nur durch die oben benannten methodischen Differenzen, sondern auch durch die sozialpolitische Belegung (Darwin verfolgte sehr aufmerksam die zeitgenössischen Diskussionen) „unheimlich“? Oder spielte sogar das Problem der Begrenzung einer „Population“ als Entwicklungseinheit, damit das Problem der Gegenstandsbestimmung der Evolutionsbiologie eine für Darwin ausschlaggebende Rolle? Denn bevor Darwin versuchte *Modelle* als Repräsentationen *von* evolutionären Prozessen zu entwickeln, suchte er

nach einem *Modell für* die Konstitution des Gegenstands evolutionsbiologischer Forschung; und hier orientierte er sich bekanntlich an dem züchterischen Handeln, der Art und Weise wie Züchter über kontrollierbare (bezogen auf die Wechselwirkung, insbesondere Fortpflanzung mit anderen Gruppen) Gruppen von Tieren unterschiedliche Merkmale und Leistungen reproduzierbar herauszüchten.

Auch wenn Darwin nach gegenwärtigem wissenschaftstheoretischen Wissen keine wirklich zureichende Begründung seiner Theorie gegeben hat, so muss doch festgehalten werden, dass ihm als zentrales methodisches Problem von Modellierungen die Notwendigkeit einer vorgängigen Bestimmung (Konstitution) des Gegenstandes seiner Forschungen bewusst war; daher seine umfänglichen Bemühungen, das *Problem der Modellierung für ...* in den Griff zu bekommen (insbesondere in seinem Buch *Variation of plants and animals under domestication*) und erst dann *Modelle von* evolutionären Verläufen zu entwickeln; daher auch seine immer wieder wiederholten Hinweise, dass zu jedem von ihm vorgestellten Beispiel eines Modells *von* evolutionären Ereignissen Gegenbeispiele genannt werden könnten, ohne so wirklich zu einer methodisch fundierten Entscheidung zwischen den unterschiedlichen Modellen kommen zu können. Dies sei nur auf der Ebene der Modelle für ... möglich, also über die jeweiligen Begründungen für Gegenstandskonstitutionen.

Gerade im Vergleich der beiden wichtigsten populationsgenetischen Forschungsprogramme kann man die Relevanz der Darwinschen Überlegungen zu den beiden Modellierungsverfahren nachvollziehen (und die Konsequenzen in der Modellierungspraxis der Bevölkerungswissenschaft wiederfinden). Zuchtgruppen als kleine überschaubare und kontrollierbare Einheiten (bezogen auf interne als auch auf externe Parameter) führen als Modelle für die Konstitution evolutionärer Einheiten zu der Konsequenz, dass sich die Modellierung von evolutionären Prozessen fokussieren muss auf sogenannte „Gründerpopulationen“ als kleine, gegenüber der Gesamtpopulation abgegrenzte Einheiten; der Begrenzung, dem Zustandekommen der Begrenzung durch interne Prozesse wie Genfluss und Kohäsion des Genpools der Gründerpopulation usw. Dagegen spielen für die mathematische Populationsgenetik, begründet durch Fisher (der übrigens mit bevölkerungswissenschaftlichen Fragestellungen begann im Unterschied zu Sewall Wright, der aus der Züchtungsforschung kommt), weitergeführt in Spiel- und Optimierungstheorien seit Beginn der 1960er Jahre, als „New Synthesis“ vorgestellt von Wilson, dem (Mit-)Begründer der Soziobiologie und u.a. von Ehrlich in die Bevölkerungswissenschaft übertragen, Fragen der Begrenzung des Gegenstandsbereichs evolutionärer Forschung keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Denn hat ein Gen einen positiven Selektionswert bezogen auf eine (vor)gegebene Umwelt, dann wird es sich mit einer so großen Geschwindigkeit in einer Population ausbreiten (wieder Vorrang der Distribution!), dass die Größe einer Population nebensächlich ist.

Während in der Populationsgenetik der Synthetischen Theorie der Wert einer Abänderung erst beurteilt werden kann, nachdem diese durch Zirkulation in der Popula-

tion fixiert oder ausgeschlossen wurde, hat für die mathematische Populationsgenetik jedes Gen, unabhängig von der Wechselwirkung mit anderen Genen und vor der Distribution in einer Population, einen definierten positiven oder negativen Selektionswert, der zwar sekundär durch Wechselwirkungen mit anderen Genen modifiziert, aber nicht grundsätzlich beeinflusst werden kann. Selektion wird in beiden Theorien daher gegensätzlich verstanden: Für die Synthetische Theorie ist *Selektion das Resultat* eines Zirkulationsprozesses von Abänderungen in einer Population (Selektion als A-posteriori-Phänomen), dagegen versteht die mathematische Populationsgenetik Selektion als A-priori-Phänomen, als Bedingung der Möglichkeit von Evolution; sind die Werte von Genen bekannt, dann lässt sich durch Summierung der einzelnen Werte berechnen, ob und wie sich eine bestimmte Kombination in einer Population durchsetzen wird (dies genau scheint der IPAT-Formel zugrunde zu liegen). Und nur in dem Verständnis von Selektion als einem A-priori-Phänomen sind *Prognosen* über zu erwartende Evolutionsverläufe möglich.

Genau hier, in der mit der mathematischen Populationsgenetik möglichen Prognose von Entwicklungsverläufen, scheint der Grund zu liegen, warum Modellierungen des Fortpflanzungsverhaltens menschlicher Bevölkerungen in aller Regel ausschließlich an die mathematische Populationsgenetik und über diese an die Soziobiologie anschließen. Denn es geht ja in und mit den Modellierungen um Prognosen zukünftiger Zustände von Bevölkerungen. Und diese prognostische Leistung wird von der mathematischen Populationsgenetik für die Evolutionsbiologie als begründet behauptet, während die Synthetische Theorie von der Nicht-Prognostizierbarkeit, der Kontingenz evolutionärer Ereignisse und Prozesse ausgeht (vgl. die Debatte in Voland, Hg., 1991 sowie Dawkins 1999 einerseits, Gould 1991; ders. 1998 andererseits). Die Nicht-Voraussagbarkeit evolutionärer Verläufe ergibt sich für die Synthetische Theorie aus dem Sachverhalt, dass ein und dasselbe „Ziel“ auf mehreren Wegen erreicht werden kann und „Wege“ nicht nur zu einem Ziel hinführen, sondern sich aufspalten können in höchst unterschiedliche Ziele; dies in Abhängigkeit von dem Verhalten der einzelnen Individuen, denen somit in dieser Evolutionstheorie ein hoher Stellenwert in der Realisierung evolutionärer Transformationen zukommt.

Qualitative Vorannahmen für Modellierungen in der Bevölkerungswissenschaft

Der entscheidende Punkt scheint mir zu sein, dass die Bestimmtheit (die Konstitution) des zu untersuchenden Gegenstands (Population) sowie die Geschiedenheit (also nicht nur die analytische Unterscheidbarkeit) der einzelnen Komponenten, deren Verhalten zueinander modelliert werden soll, wie Bevölkerung (Wachstum und Verteilung), Umwelt, Ressourcen usw., aus einer biowissenschaftlichen Tradition, der mathematischen Populationsgenetik, übernommen wird, ohne in der Übernahme zur Kenntnis zu nehmen und bezogen auf die eigenen Fragestellungen die Konsequenzen daraus zu reflektieren, dass diese Theorietradition in der Evolutionsbiologie selbst höchst umstritten ist.

Die *biotheoretische* Debatte wird zwar in den *biologischen* Arbeiten von Forschern wie Ehrlich ausführlich angesprochen; dort aber, wo Ehrlich als Bevölkerungswissenschaftler spricht, ist diese Debatte verschwunden bzw. nur noch die Position der mathematischen Populationsgenetik präsent. Dies ist zwar sicherlich für jemanden wie Ehrlich legitim, insofern er ja für *seinen* biotheoretischen Ansatz argumentiert, enthebt Bevölkerungswissenschaftler, die nicht aus den Biowissenschaften kommen, jedoch nicht von der Aufgabe, die biowissenschaftlichen Kontroversen zur Kenntnis zu nehmen und – bezogen auf ihren Gegenstandsbereich – zu reflektieren, um selbst Gründe nennen zu können, warum sie sich bei Konzept-Transfers aus den Biowissenschaften in die Bevölkerungswissenschaft für den einen Theorie-Strang entschieden haben und nicht für in der Fachwissenschaft vorliegende andere.

In einem kleinen Aufsatz „Differentiation of Populations“, der zum ersten Mal 1968 publiziert wurde, haben Paul Ehrlich und Peter Raven im biowissenschaftlichen Kontext die beiden Traditionslinien diskutiert: Werden Arten durch Genfluss zusammengehalten (Ernst Mayr, Synthetische Theorie) oder durch Selektion, also die Bewertung von Veränderungen in einer Art/Population durch vorgegebene Umwelt-Parameter? Festzuhalten ist aber, dass Ehrlich & Raven den Genfluss beschreiben als Verteilung von Genen im Populationsraum in Anlehnung an die Bewegung und Verteilung von Partikeln in einem idealen Gas, also die von der Synthetischen Theorie gemeinte Zirkulation der Gene nivellieren auf das Moment der Distribution (vgl. orientierend für die Unterschiede der beiden Populationsgenetiken die Tabelle am Ende dieses Abschnitts). In dieser Vorstellung können die Partikel (=Gene) sich nur gleichförmig im Raum verteilen; die Ausbildung von Ordnungsstrukturen, also welche Kombinationen von Genen gegenüber anderen zunächst als gleich möglich erscheinenden Kombination bevorzugt werden, kann nur durch die Einführung einer Ordnung erzeugenden und stabilisierenden Kraft, eben der Selektion, erklärt werden.

Für den Transfer in die Bevölkerungswissenschaft ist dabei (zunächst zumindest) nicht so sehr relevant, dass Ehrlich und Raven dafür argumentieren, dass nicht Arten die Einheiten der Evolution seien, sondern Populationen. Wichtiger ist, dass durch selektive Regime das Fortpflanzungsverhalten innerhalb der Population und davon abhängig der Genfluss determiniert werden. Und die selektive Bewertung findet statt über den Einfluss der Fortpflanzungsprodukte auf die in der Umwelt vorfindlichen Ressourcen. Sind die Ressourcen qualitativ und quantitativ – und zwar unabhängig von Lebewesen, für die etwas eine Ressource sein kann – bestimmt, kann berechnet werden, welche Auswirkungen geändertes Fortpflanzungsverhalten hat; negative Veränderungen, die zu einer Übernutzung der Ressourcen führen, werden durch Selektion schnell ausgeschaltet, positive ebenso schnell belohnt. „There is substantial evidence that populations can be changed rapidly by selection.“ (Ehrlich & Raven: 64) Die von dem Ehepaar Ehrlich vorgestellte IPAT-Formel ist somit nichts anderes als die Spezifikation dieses populationsgenetischen Konzeptes für menschliche Bevölkerungen – wobei die Spezifikation allerdings zu einer Schwierigkeit führt, die gerade im Widerspruch steht zu dem investierten bio-

logischen Wissen: nämlich der *Kombination eines darwinistisch-genetischen mit einem lamarckistischen Vererbungsmechanismus*. „Die vor einigen Millionen Jahren lebenden Gruppen unserer Vorfahren (Australopithecus und Verwandte) waren auf Afrika beschränkt und zählten vielleicht 125.000 Individuen. Um diese Zeit hatten unsere Ahnen bereits die Kultur ‚erfunden‘; die nichtgenetische Information wurde von einer Generation zur nächsten weitergegeben. [...] Es ist der Besitz eines festen Grundstocks an kultureller Überlieferung, der den Menschen von den übrigen Tieren unterscheidet.“ (Ehrlich/Ehrlich 1972: 10) Wenn die artspezifische Besonderheit des Menschen und seiner Entwicklung als Art in dem Verfügen über Kultur als einem nichtgenetischen Informationsmechanismus besteht, also auf einem lamarckistischen, weil nicht-genetischen Vererbungsmechanismus der Traditionsbildung, der Traditionsweitergabe in der Generationenfolge und somit der Traditionserhaltung beruht, *dann kann eine Modellierung des Menschen in allen seinen Aspekten letztendlich nur innerhalb des lamarckistischen Konzept-Rahmens erfolgen*, denn es geht ja um die Erklärung der Besonderheit des Menschen aufgrund seines ihn als Art konstituierenden Merkmals und ihn so als Art von anderen natürlichen Arten unterscheidenden Lebewesens. Oder aber, es müssten zwei Modellierungen erfolgen, eine darwinistisch-genetische und eine lamarckistische, sowie das Verhältnis zwischen diesen beiden Modellierungen bestimmt werden. Soweit ich die Literatur überblicke, ist dieser Sachverhalt weder als Problem diskutiert noch anscheinend überhaupt als Problem wahrgenommen worden.

Mit dem mathematisch-populationsgenetischen Konzept (zunächst unter Absehung der bei Ehrlich aufscheinenden Problematik von Darwinismus und Lamarckismus bezüglich des Menschen) sind als unmittelbare Konsequenzen verbunden

1) die Vorstellung, dass es quantifizierbare Ressourcen unabhängig und außerhalb von Nutzungszusammenhängen gäbe, die als Invarianten in Beziehung gesetzt werden können zu Variablen wie Bevölkerung/Population. Damit

2) die variable Größe zur invarianten in Beziehung gesetzt werden kann, muss die variable Größe mit Eigenschaften ausgestattet sein, die unabhängig von anderen Gegenständen (Umwelt, Ressourcen, anderen Populationen) als dieser Variable an sich eignende Charakteristika zukommen (das in den methodischen Vorbemerkungen angesprochene Problem der Ding-Ontologie). In eben dieser Hinsicht halten Lutz et al. in einem Grundlagenpapier „Population, Natural Resources and Food Security. Lessons from Comparing Full and Reduced Form Models“ fest: „The population-based approach views human beings and their characteristics (such as age, sex, education, health, food security status, place of residence, etc.) as agents of social, economic, cultural and environmental change. But the population is also at risk of suffering from repercussions of these changes and of benefiting from positive implications. In this sense the human population is seen as a driving force of these changes and is affected by the outcomes and consequences of these changes.“ (Lutz et al. 2000: 3) Eine Population ist der Träger von Eigenschaften, die variieren; die Variation der Eigenschaften wird selektiv bewertet durch die vorgegebene Invariante und diese Bewertung wirkt zurück auf die Variation der Eigenschaften.

3) muss festgehalten werden, dass mit der Setzung der Umwelt und der Ressourcen als Invarianten und der Bevölkerung mit ihren Eigenschaften als variabler Größe die Umwelt gedacht wird als vorgegebener „Behälter-Raum“, in den hinein sich eine Bevölkerung verteilt, also die Folgen der Distribution einer selektiven Bewertung unterzogen werden.

4) Als weitere Konsequenz ergibt sich aus der Übernahme des mathematisch-populationsgenetischen Modells, dass von „Bevölkerung“ gesprochen werden kann ohne Qualifizierung des Gegenstandsbereichs: Ob eine Bevölkerung groß oder klein ist, politisch spezifiziert gedacht wird als BürgerInnen eines Staates (Mali, Ruanda, Bundesrepublik Deutschland) oder als Summe der auf der Erde lebenden Menschen spielt insofern keine Rolle, als über das investierte biologische populationsgenetische Konzept die Größe einer Population für die selektive Bewertung irrelevant ist – auch in einer großen Population zeigen sich die (positiven oder negativen) Konsequenzen von Veränderungen innerhalb der Population schnell.

In dem populationsgenetischen Modell der Synthetischen Theorie, das von Sewall Wright übrigens auch vollständig mathematisch entfaltet wurde (insofern kann die terminologische Unterscheidung von mathematischer und naturalistischer resp. organismischer Populationsgenetik auf eine falsche Fährte lenken; Unterscheidungskriterium ist die Bestimmung von Selektion und die Gewichtung ihres Einflusses für die Erklärung evolutionärer Veränderungen und Entwicklungen), stellen sich diese vier Konsequenzen völlig anders dar: Die Größe einer Population ist relevant für die Möglichkeiten evolutionären Wandels; Raum, Ressourcen und Umwelt können als solche erst qualifiziert werden unter Kenntnis der Nutzungsmöglichkeiten von Gegebenheiten durch eine Population, wobei Nutzungsmöglichkeiten wiederum verstanden werden müssen nicht als einfacher Wechsel eines (den Populationsmitgliedern grundsätzlich und immer möglichen) Verhaltens zu einem anderen Verhalten, sondern als Aufschließung anderer, ggf. sogar neuer räumlicher und/oder für die Ernährung relevanter anderer Dimensionen. Als triviales Beispiel: Von „Luft“ als einer Ressource oder einer Umwelt kann erst dann sinnvoll gesprochen werden, wenn über das Verhalten von Lebewesen diese genutzt wird; und diese Ressource oder Umwelt ist als solche auch völlig anders zu qualifizieren, je nachdem, ob sie etwa zum Atmen genutzt wird oder zum Fliegen. Ohne hier näher auf die biowissenschaftliche Debatte um die Geltung der beiden Populationsgenetiken einzugehen, ist festzuhalten, dass die Synthetische Theorie mit dem Genfluss-Konzept zumindest versucht, die Beziehung zwischen Population und Umwelt als gegenständliches Verhältnis zu erfassen, um so Entwicklung nicht nur als Distribution im Raum (Reduktion von Entwicklung als Entstehen von Neuem auf prinzipiell reversible Veränderung), sondern als Resultat der Zirkulation von Veränderungen bestimmen zu können, in deren Folge Veränderungen nicht ausschließlich und vorrangig bewertet werden bezüglich ihrer Passung an externe Umweltgegebenheiten, sondern bezüglich ihrer „Kohäsion“ zum Genpool. Die entscheidende Konsequenz dieses Grundgedankens ist, dass evolutionäre Veränderungen als Differenzierungsprozesse in der Population erfolgen können (nicht notwendigerweise auch müssen), auch bei uni-

formen statischen Umweltbedingungen. „Während für Fisher die Population sozusagen ein homogenes Medium (wie das eines Gases) darstellt, durch welches die vorteilhaften Gene ‚hindurchfegen‘, die Evolution also in Reindarstellung sich auf die Selektion von an sich vorteilhaften Genen reduziert, gilt für Wright, wie man sieht, dass das Schicksal der jeweiligen Gene (und damit auch ihre Selektionswerte) überhaupt erst durch ihre Interaktionseffekte und folglich auch durch die Populationsstruktur und -größe (da diese Parameter die Interaktionseffekte mitbestimmen) festgelegt werden.“ (Beurton 2001: 54) In Wrights „shifting balance theory“ können und brauchen auch nicht alle Veränderungen durch Selektion erklärt zu werden.

Dass im Zuge solcher Untersuchungen Umwelt, Ressourcen und Populationen analytisch voneinander getrennt werden müssen, versteht sich von selbst; der Synthetischen Theorie bleibt aber bewusst, dass es sich bei den Produkten dieser analytischen Unterscheidung um Abstrakta handelt.

THEORETISCHE POPULATIONSGENETIK	NATURALISTISCHE POPULATIONSGENETIK
Epistemologie	
„reductionist geneticists“	„organismic naturalists“
abstrakte Erfassung der Wirklichkeit	Deskription der sinnlich wahrgenommenen Zusammenhänge
analytische und quantitative Erfassung der Evolution	qualitative und interaktive Erfassung der Evolution
<i>Typologisierend</i>	<i>Individualisierend</i>
Momente der Evolution	
„Ein Gen fegt durch die Population hindurch mit größter Regelmäßigkeit und Präzision“	„Der Selektionswert eines Gens ist ein Ergebnis aller seiner Kombinationen.“
Mutation und Selektion	Mutation, Rekombination und Selektion
die Sexualität erhöht die Evolutionsgeschwindigkeit	die Sexualität erzeugt zusätzliche Variabilität durch Rekombination
die Selektion eliminiert ungünstige Mutationen und macht die Individuen in der Tendenz genetisch identisch	die Selektion erhält die genetische Variation in der Population

Tab.2 Vergleich der beiden Schulen der Populationsgenetik. Aus Beurton 1998: 41

Demographie als Sozialwissenschaft

Fragt man nach den Gründen, die einen Anschluss der Demographie an Konzepte und Modellierungsverfahren der Biowissenschaften, insbesondere der Ökologie und Populationsgenetik, so attraktiv machen, dann ist m.E. festzuhalten, dass gerade in diese biowissenschaftlichen Disziplinen *Sozialwissenschaften* eingewandert sind, die im etablierten Diskurs der *Gesellschaftswissenschaften* keinen Platz mehr gefunden

haben. Die Etablierung der modernen Sozialwissenschaften als *Gesellschaftswissenschaften* lässt sich räumlich und zeitlich genau lokalisieren: nämlich mit dem 1. Soziologentag in Frankfurt am Main. Dort hielt Max Weber einen – für seine Verhältnisse – doch sehr heftigen Diskussionsbeitrag, in dem er seine Vorstellungen von Sozialwissenschaften abgrenzte von den Ausführungen von Alfred Ploetz. Dieser ist heute sicherlich bekannt nur und ausschließlich als Vertreter einer Rassenbiologie und des Sozialdarwinismus. Dies ist zwar sicherlich *auch* richtig – würde man Ploetz aber nur in dieser Hinsicht einordnen als einen Vertreter aus der Zunft der Biologen, der sich auf das Feld der Sozialwissenschaften wagt, dann würde man den entscheidenden Moment schon verpasst haben. Denn Ploetz sprach genau *nicht als Biologe*, nicht als – wenn man will – *fachfremder* Gast. Vielmehr repräsentierte er eine forschungsprogrammatische Ausrichtung *in* den Sozialwissenschaften, die versuchte, das Soziale als Moment in der Natur mit den Mitteln der Biologie zu thematisieren; das Soziale sei nicht das „ganz Andere“ gegenüber der Natur, sondern ein Ordnungs- und Organisationszusammenhang von Natürlichem, dessen Besonderheit im Sozialen liegt. In einer philosophisch elaborierten Sprache ist es sinnvoll möglich zu sagen, dass diesem Forschungsprogramm, in dem der Sozialdarwinismus neben bspw. organismus-zentrierten Ansätzen nur eine Variante darstellte, die der Auffassung zugrunde lag, die Differenz zwischen Natürlichem und Sozialem repräsentiere einen *Selbstunterschied in der Natur*; die Natur sei eine „Gattung“, die genau zwei Arten enthalte, nämlich sich selbst und das Soziale.

Die Rassenbiologie als sozialwissenschaftliches Konzept – so Max Weber – beruhe auf ganz unbewiesenen Behauptungen. So handele es sich z.B. bei der Ersetzung römischer Geschlechter als Offiziere des römischen Heeres durch „Barbaren“ nicht um einen biologischen Vorgang der Ausmerzung, sondern um eine bewusste Ausschaltung aus den Offiziersstellen und den Verwaltungen. Für diese Erklärung sei auch nicht die Spur einer rassenbiologischen Theorie als Ergänzung erforderlich.

Viele auf Gesellschaft bezogene Äußerungen seitens der Rassenbiologen haben direkt mystischen, aber keinen Soziales erklärenden oder verstehbar machenden Charakter. „Aber dass es heutzutage auch nur eine einzige Tatsache gibt, die für die Soziologie relevant wäre, auch nur eine exakte konkrete Tatsache, die eine bestimmte Gattung von soziologischen Vorgängen wirklich einleuchtend und endgültig, exakt und einwandfrei zurückführte auf angeborene und vererbliche Qualitäten, welche eine Rasse besitzt und eine andere definitiv – wohlgemerkt: definitiv! – nicht, das bestreite ich mit aller Bestimmtheit und werde ich so lange bestreiten, bis mir diese eine Tatsache genau bezeichnet ist.“ (Weber 1988: 459)

Und Weber sieht sehr genau, dass nicht nur die rassenbiologischen Implikationen problematisch sind, sondern überhaupt die Vorstellung, Biotisches könne konstitutiv sein für Soziales. „Die ‚Gesellschaft‘ hat Herr Dr. Ploetz als ein Lebewesen bezeichnet, mit der bekannten, auch von ihm sehr eindringlich vorgetragenen Begründung ihrer Verwandtschaft mit Zellenstaaten und Aehnlichem. Es kann sein, dass für die

Zwecke des Herrn Dr. Ploetz dabei etwas Fruchtbare herauspringt, – das weiß er natürlich selbst am besten – für die soziologische Betrachtung springt niemals durch die Vereinigung mehrerer präziserer Begriffe zu einem unbestimmten Begriffe etwas Brauchbares heraus. Und so liegt es hier. Wir haben die Möglichkeit, rationales Handeln der einzelnen menschlichen Individuen geistig nacherlebend zu verstehen. Wenn wir eine menschliche Vergesellschaftung, welcher Art immer, nur nach der Art begreifen wollen, wie man eine Tiergesellschaft untersucht, so würden wir auf Erkenntnismittel verzichten, die wir nun einmal beim Menschen haben und bei den Tiergesellschaften nicht. Dies und nichts anderes ist der Grund dafür, weshalb wir für unsere Zwecke im Allgemeinen keinen Nutzen darin erblicken, diese ganz fraglos vorhandene Analogie zwischen Bienenstaat und irgendwelcher menschlichen staatlichen Gesellschaft zur Grundlage irgendwelcher Betrachtungen zu machen.“ (Weber 1988: 461)

Zwei wesentliche Hinweise für Webers Verständnis von Sozialwissenschaften sind dem Zitat zu entnehmen. So ist es zum einen auffallend, dass – bezogen auf die Position von Ploetz – das Wort Gesellschaft in Anführungszeichen gesetzt wird. Weber bezweifelt nämlich, dass Ploetz die Sozialwissenschaften als Gesellschaftswissenschaften verstanden wissen möchte; kennt man den zeitgenössischen Diskussions-Kontext, dann besetzt Ploetz bzw. besetzen insgesamt die mit der Biologie entlehnten Modellen, Metaphern und Erklärungen arbeitenden Sozialwissenschaftler die Position der Gemeinschaft, versuchen soziale Gemeinwesen als Gemeinschaften zu begreifen. Weber dagegen begreift die Sozialwissenschaften als Gesellschaftswissenschaft; und der Grundbegriff der Gesellschaftswissenschaft sei „Handeln“. Damit ist zum zweiten behauptet, dass in Theorien der Gemeinschaft keine Handlungstheorie enthalten ist resp. enthalten sein kann, weil und insofern in ihnen Handeln reduziert wird auf „Verhalten“. Soll dann trotzdem über biologisches Wissen ein Beitrag geleistet werden können zum Verstehen und Erklären sozialer Phänomene, dann – so Weber präzise – müsse am *gesellschaftlichen Handeln* aufgezeigt werden, was an ihm *nur* biologisch erklärt werden könne. Mit dieser Aufgaben-Formulierung kann Weber dann zu Recht darauf hinweisen, dass es ihm nicht um disziplinäre Grabenkriege geht, sondern um ein sachhaltiges Problem, dessen Lösung für das Gelingen gesellschaftswissenschaftlicher Untersuchungen zentral ist. „Ich möchte nur eine allgemeine Bemerkung daran knüpfen. Es scheint mir nicht nützlich, Gebiete und Provinzen des Wissens a priori, ehe dies Wissen da ist, abzustechen und zu sagen: Das gehört zu unserer Wissenschaft und das nicht.“ (Weber 1988: 461) In diesem Sinne mag Ploetz mit seinen Überlegungen *biologisch* recht haben – oder auch nicht –, für die Sozialwissenschaften als Gesellschaftswissenschaft bleibt dies ohne Interesse, solange nicht gezeigt wurde, welcher soziale Tatbestand notwendigerweise mit den Mitteln der Biologie erklärt werden müsse bzw. erklärt worden ist. Aber genau dies fehlt bisher.

Die „differentia specifica“, das disziplinäre Unterscheidungs- und Abgrenzungskriterium von Gesellschaftswissenschaft und Biologie sowie von Gemeinschaftskon-

zepten ist somit nach Weber der Handlungsbegriff. Solange dieser nicht in Biologie und Theorien der Gemeinschaft als Grundlagenbegriff (im Sinne eines zu erforschenden, zu verstehenden Gegenstandes) eingebaut ist, können diese Disziplinen zur Erklärung sozialer, gesellschaftlicher Sachverhalte nichts beitragen. Und zumindest in der Gesellschaftswissenschaft hat sich die Position von Weber, Tönnies et al. durchgesetzt gegenüber dem mit der Biologie verbundenen sozialwissenschaftlichen gemeinschaftsbezogenen Konzeptualisierungsvorschlag.

Es wäre nun eine eigene Aufgabe begrifflich zu rekonstruieren, ob als Grundbegriff der Gesellschaftswissenschaft nicht besser „Tun“, „werktätiges Leben“ und „Handeln“ im Sinne einer differenzierenden Rede von „Tun“ als mögliche Grundbegriffe ausgezeichnet werden sollten. Es kann aber festgehalten werden, dass in dieser gesellschaftswissenschaftlichen Perspektive die Reproduktion von Gemeinwesen begriffen werden muss mittels zweier analytisch unterscheidbarer Produktionstätigkeiten: nämlich erstens den Produktionstätigkeiten, die die Produktion von Gütern zum Zweck haben und zweitens den Produktionstätigkeiten, die die Erzeugung von Menschen in der Generationenfolge bezwecken (das Wort „Fortpflanzung“ wird hier aufgrund seiner naturalistischen Konnotationen bewusst vermieden).

Damit wird eine nicht mehr naturalistische Perspektive eröffnet, die die Einbindung von Naturstücken in die Reproduktion menschlicher Gemeinwesen thematisiert; es wird also versucht zu zeigen, wie in menschlichen Produktionstätigkeiten (die immer in dem doppelten Sinne der Produktion von Gütern und Menschen verstanden werden müssen) nicht nur einfach Natur als Objekt des Tuns transformiert und konsumiert wird, sondern in und mit der Transformation Verhältnisse zwischen Menschen und Natur etabliert und reproduziert werden. Reproduktion von Naturverhältnissen meint dabei, dass durch Tun hergestellte Verhältnisse dann strukturierend wirken für daran anschließende Tätigkeiten – und dies nicht nur in gegenständlicher Form, insofern mit ihnen materiale Bedingungen für weitere Produktionshandlungen gesetzt werden, sondern eben auch symbolische Repräsentationen dieser Verhältnisse etabliert werden, die für die durch Reproduktion der Verhältnisse im Tun herbeigeführten Veränderungen orientierend wirken. So schreibt etwa Pierre Bourdieu in seiner frühen Untersuchung der Transformation des agrarisch verfassten algerischen Staates in eine industrielle Gesellschaft: „Hervorgebracht (die ökonomische Haltung, M.W.) von einer spezifischen Klasse materieller Existenzbedingungen, objektiv erfasst in Gestalt einer besonderen Struktur objektiver Chancen – einer objektiven Zukunft – funktionieren diese Haltungen gegenüber den zukünftigen Strukturen, diese strukturierten Strukturen selbst wieder wie strukturierende Strukturen.“ (Bourdieu 2000: 21)

Agrarisch verfasste Gemeinwesen, die symbolisch repräsentiert werden können als „Dorf“ oder „Land“, realisieren Formen der „einfachen Reproduktion“, in denen die jeweils vorfindliche gesellschaftliche Struktur inklusive der in dieser Struktur enthaltenen Naturverhältnisse im produktiven Tun möglichst unverändert erhalten

werden sollen; hier ergibt sich z.B. eine Verknüpfung von einfacher Reproduktion auf der materialen Ebene des Produzierens und Vorstellungen von einer zyklischen Zeit als symbolischen Repräsentationen der einfachen Reproduktion. „Das Vorsehen (im Sinne von »im Voraus sorgen«) unterscheidet sich von der Vorausschau, insofern die von ihr anvisierte Zukunft direkt der gegebenen Situation selbst so eingeschrieben ist, wie sie mittels der von materiellen Existenzbedingungen aufgedrängten technisch-rituellen Wahrnehmungs- und Bewertungsschemata erfasst wird, wobei letztere dann selbst wiederum mit den gleichen Denkschemata erfasst werden.“ (Bourdieu 2000: 32)

Eine sich einfach reproduzierende Gemeinschaft in Differenz zu einer sich nicht-identisch erweitert reproduzierenden Gesellschaft kann so beschrieben werden: „Im Rahmen einer bäuerlichen Wirtschaft, deren Produktionszyklus sozusagen auf einen Blick erfasst werden kann, und deren Produkte sich in der Regel im Laufe eines Jahres erneuern, macht der Bauer zwischen seiner Arbeit und dem »künftigen« Produkt, mit dem sie schwanger geht, ebenso wenig einen Unterschied wie innerhalb des agrarischen Jahreszyklus zwischen der Arbeitszeit in der Produktionsperiode und der nachfolgenden Phase, in der seine Aktivität fast vollständig zum Stillstand kommt. Weil ganz im Gegenteil dazu die Länge des Produktionszyklus der kapitalistischen Wirtschaft allgemein viel ausgeprägter ist, setzt diese gerade die Bildung einer abstrakten und mittelbaren Zukunft voraus. Hierbei muß das rationale Kalkül den Mangel an intuitivem Einblick in die Gesamtheit des Prozesses ausgleichen. Damit aber ein solches Kalkül möglich wird, muß die Kluft zwischen Arbeitszeit und Produktionszeit wie auch die Abhängigkeit von natürlichen Prozessen entsprechend verringert werden. Anders gesagt muß die organische Einheit, die zwischen dem Hier und Jetzt der Arbeit und ihrer »Zukunft« bestand, zerstört werden, eine Einheit, die identisch ist mit den nicht zerlegbaren und teilbaren Reproduktionszyklen oder mit der Einheit des Produkts als solchem, welche uns durch einen Vergleich zwischen einer landwirtschaftlichen Technik zur Erzeugung vollständiger Produkte und der industriellen Technik, beruhend auf der Zergliederung und Spezialisierung der einzelnen Arbeitsschritte deutlich vor Augen geführt wird.“ (Bourdieu 2000: 34f.)

Rekonstruiert man historische Verläufe unter einer solchen gesellschaftstheoretischen Perspektive, dann kann gezeigt werden, dass bis ca. 1830 die Wirtschaftsstruktur wenig vor Krisen geschützt war, weil die Prekarität der vorhandenen Techniken es nicht erlaubte, die Unbilden des Klimas zu beherrschen. Dies deckt sich mit historischen Untersuchungen von Regionen des Mittelmeer-Raumes, beispielsweise der Untersuchung Emmanuel Le Roy Laduries zu den Bauern des Languedoc. Dort wird herausgearbeitet, dass die Grenzen der Reproduktion, an die die Dörfer im Languedoc resp. das Languedoc als sich einfach reproduzierende Gemeinschaft immer wieder stießen – mit den Konsequenzen der Verelendung, des Ausbruchs von Seuchen und des Zusammenbruchs der Bevölkerungsstruktur – zwar sich auf der Ebene der Symbolisierung als naturale Grenzen darstellten, eigentlich aber Grenzen der Gestaltungs- und Regulationsmöglichkeiten des als Gemeinschaft strukturierten

Reproduktionszusammenhangs über die doppelte (Güter und Nachkommen) Produktion des Lebens, also sozial bedingt, waren. „Die Geldsackgasse besteht natürlich. Aber sie ist nicht das einzige Hindernis für die Expansion. Sie gehört zu einer ganzen Gattung, zu einer Art strukturellem Ganzen von Sackgassen: Wie z.B. die Sackgasse von Grund und Boden – das Fehlen unbegrenzter Reserven guter, leicht zu bearbeitender und gewinnbringender Erde; und hinter dieser gewissermaßen versteckt die grundlegende technologische Sackgasse, die das Haupthindernis darstellt. (...) Mit anderen Worten: Wenn die Gesellschaft zusammenschrumpft und die Wirtschaft verknöchert und schließlich am Ende des 17. Jahrhunderts auf ihre Ausgangsbasis zurücksinkt, so kommt das daher, dass diese Wirtschaft es nicht fertig gebracht hat, ihre Vorräte weder zu vermehren noch zu erneuern. Gewiss, auch ihren Vorrat an Edelmetall, aber auch den Vorrat an guter Erde, der seiner Definition nach begrenzt sein muß; wo diese aber fehlt ist der ‚Vorrat‘ an technischem Fortschritt im 16. und 17. Jahrhundert geradezu lachhaft. Führen wir eine Hypothese weiter, die wir bereits aufgestellt haben: Wenn sich der Kornertrag zwischen 1500 und 1700 um einige Punkte erhöht hätte (wie er es später getan hat), wenn man massenhaft und stetig Wein angepflanzt hätte (wie es fast ununterbrochen zwischen 1760 und 1870 der Fall gewesen ist) oder Bewässerungsanlagen gebaut hätte (wie die Katalanen seit 1720), dann hätte die Gesellschaft des Languedoc durch einfache Erhöhung des im Grundbuch verzeichneten Einkommens fertig werden können mit dem demographischen Aufschwung, der galoppierenden Zerstückelung und der verstärkten Abschöpfung durch Belastungen aller Art. Die Zerstückelung wird nur übermäßig und die Belastungen untragbar, weil sie eine jahrhundertlang stagnierende Produktion und Produktivität treffen.

In Wahrheit ist eine solche technologische Unbeweglichkeit eingebettet in und getragen von einer ganzen Reihe kultureller Sperren. Man hat von einer *natürlichen* Grenze der Ressourcen gesprochen. Aber die hier gemeinte ‚Natur‘ ist die Kultur, es sind die Sitten, die Lebensweise, die Denkstrukturen; es ist das aus technologischen Kenntnissen, aus dem Wertsystem, aus den angewandten Mitteln und den verfolgten Zielen gebildete Ganze.“ (Ladurie 1990: 327f.)

Nimmt man noch Arbeiten von Fernand Braudel et al. hinzu, dann kann an diesem historischen Material systematisch in Richtung einer nicht-naturalistischen Modellierung demographischer Entwicklungen weitergearbeitet werden. So wird zwar von den französischen Historikern aufgezeigt, dass und wo es Alternativen anderer Regulationsformen gesellschaftlicher Naturverhältnisse gegeben hat, um Katastrophen zu vermeiden sowie dass es sich gerade einfachhin nicht um bloße Naturereignisse handelte. *Warum* aber die Alternativen nicht ergriffen wurden oder werden *konnten*, bleibt – beschränkt man sich rein auf die Aufbereitung historischen Materials – unklar. Es ist aber auffallend, dass angesichts von heraufziehenden Krisen die lokalen Produzenten sich immer wieder vom Markt zurückzogen und nur noch versuchten, ihre eigene Reproduktion als geschlossene Produzentengemeinschaft zu gewährleisten. Die Ursachen der Krisen müssen somit in der faktisch noch vorhandenen ge-

meinschaftlichen Reproduktionsform gesucht werden müssen oder in der Symbolisierung des Gesellschaftszusammenhangs als Gemeinschaft, nicht aber in der Natur – die von Le Roy Ladurie genannten Alternativen der Krisenvermeidung verweisen in genau diesem Sinne auf eine verstärkte Öffnung gegenüber Märkten, also Produktion für Märkte, somit auf eine gegenüber der Gemeinschaftlichkeit differenter Reproduktionsform, nämlich der Gesellschaft. „Die von der präkapitalistischen Wirtschaft geförderte Zeiterfahrung ist eine der Modalitäten, die jede Erfahrung von Zeitlichkeit annehmen kann, auch jene also, die die »rationalistischen« ökonomischen Akteure jener Gesellschaften kennzeichnet, welche die Ethnologen hervorgebracht haben. Ihre einzige Spezifität liegt darin, dass sie sich nicht schlicht und einfach als eine Möglichkeit unter anderen anbietet, sondern von einer bestimmten Form des Wirtschaftens als *die einzig mögliche* aufgezwungen wird. Letztere zeichnet sich durch ihre Unfähigkeit aus, die Möglichkeitsbedingungen der Position des Möglichen selbst zu kontrollieren und zu sichern oder, was auf das Gleiche hinausläuft, durch einen Ethos, der nicht mehr und nicht weniger repräsentiert als die Internalisierung des Systems der objektiv in die von Unsicherheit und Schicksalhaftigkeit beherrschten materiellen Existenzbedingungen eingeschriebenen Möglichkeiten und Unmöglichkeiten.“ (Bourdieu 2000: 43)

Ladurie kann mit dem von ihm für das Languedoc erarbeiteten empirischen Material zur demographischen Entwicklung der Bevölkerung zeigen, dass das steile Anwachsen der Bevölkerungszahl insofern doppelt sozial bedingt ist, indem zum einen so versucht wird, die Produktion von Gütern bei mangelnder Technologie und Bodengüte durch eine größere Anzahl von Produzenten zu kompensieren (dies in Übereinstimmung mit damals herrschenden ökonomischen Theorien, die den Reichtum eines Landes in der wachsenden Bevölkerung verorteten); aber dies zum anderen nur eine sinnvolle Perspektive ist im Sinne des Begreifens der Region des Languedoc als einer geschlossenen Gemeinschaft, die gerade nicht im Austausch von Gütern und der Produktion für den Austausch mit anderen Regionen tätig ist, sondern versucht sich als sich selbst versorgende Einheit zu reproduzieren. Erst in dem Moment, in dem mit der Ausbildung Frankreichs als eines Steuerstaates die einzelnen Regionen in einen größeren Zusammenhang integriert werden, verschwinden auch die starken Schwankungen in der demographischen Entwicklung; wird also ein Produktionsmodus von Menschen erreicht, der für den Zustand des Reproduktionsmodus der Gemeinschaftlichkeit kennzeichnend ist.

Historische Arbeiten können die Vermutung stärken, dass dramatische demographische Veränderungen, die das Languedoc über Jahrhunderte gekennzeichnet haben, Indikatoren sind für einen als Entwicklung zu begreifenden Umbruch in den Reproduktionsmodi. Denn als Gemeinschaften strukturierte Gemeinwesen sind ja nicht per se instabil, sondern können sich ungestört (also z.B. bei Fehlen großer Umweltveränderungen) auf Dauer erhalten (vgl. Crone 1992; Gellner 1993). In dieser Perspektive bestreitet z.B. Herlihy, dass es im Übergang vom Mittelalter in die Neuzeit einen malthusianischen Bevölkerungsdruck gegeben habe, der die Struktur

mittelalterlicher Gemeinwesen problematisch gemacht hätte. Übervölkerung sei kein absoluter Maßstab, sondern könne und müsse immer bezogen werden auf lokale Gegebenheiten und die Möglichkeiten der Nutzung dieser Gegebenheiten. Insofern sind Veränderungen in der Reproduktionsstruktur von Gemeinwesen, in deren Gefolge sich dann auch veränderte doppelte Produktionstätigkeiten ausbilden, kontingent. „Die Population Europas war während des Hochmittelalters zu außerordentlicher Größe angewachsen, doch war das Resultat keine malthusianische Verrechnung oder Krise, sondern eine Pattsituation. Trotz häufiger Hungersnöte und verbreiteter Unterernährung behauptete das Gemeinwesen um 1300 erfolgreich seine Zahl. Wahrscheinlich hätte dieses Gleichgewicht auf unabsehbare Dauer gehalten werden können. Und wahrscheinlich hätte das malthusianische Patt jede Bewegung und Verbesserung der Gesellschaft lähmen können. Dann schlug die Pest zu. Sie wirkte als Intervention von außen; sie verdankte ihre Macht nicht sozialen Faktoren, sondern ihrer noch immer unklaren Natur. Und sie verheerte Europa. Doch trotz des Unheils, das sie anrichtete, erwies sie dem Westen einen Dienst. Sie hob die malthusianische Pattsituation auf, in die das mittelalterliche Wachstum geführt hatte und die ein weiteres Wachstum in anderen Formen vielleicht behindert hätte. Sie sorgte dafür, dass Europa in den Generationen nach 1348 nicht einfach das soziale und kulturelle Muster des 13. Jahrhunderts beibehalten würde.“ (Herlihy 2000: 36f.)

Unabhängig davon, ob die Pest wirklich als die entscheidende und einzige Ursache des sozialen Umbruchs hin zur Neuzeit darstellte, bleibt festzuhalten, dass ein Demograph, der um 1300 die Bevölkerungsstruktur Europas analysiert und in ein prognostisches Modell eingebunden hätte, die Veränderungen nach 1348 nicht hätte erfassen können. Und auch wenn er nach Ausbruch der Pest versucht hätte vorauszusagen, welche Veränderungen in Bewältigung der Pest-Krise realisiert werden würden, hätte sich seine Prognose gerade nur an den das Mittelalter kennzeichnenden sozialen und kulturellen Mustern orientieren können, aber nicht an den Mustern, die sich in Bewältigung der Krise als neu etablieren. Solche Kontingenz-Phänomene, die doch eigentlich kennzeichnend sind für Entwicklungen, entziehen sich grundsätzlich einer Modellierung bzw. machen die prinzipiellen Grenzen von über Modellierungen gewonnenen Prognosen für Entwicklungsverläufe deutlich.

Gefragt werden müsste, ob *ausschließlich* durch externe Faktoren Entwicklungen angeschoben werden können, oder ob nicht in der Reproduktionsstruktur von Gemeinwesen auch, vielleicht sogar vorrangig gegenüber externen Faktoren, *interne* Faktoren ausfindig gemacht werden können, die Gemeinwesen als *sich selbst entwickelnde* Reproduktionseinheiten verstehen lassen. Spätestens hier ist dann eine kategoriale Analyse von Tun und Tätigkeit (noch einmal betont: in dem doppelten Sinne der Produktion von Gütern und der Produktion von Menschen/Nachkommen zum Zweck der Reproduktion des jeweiligen Gemeinwesens) unverzichtbar. Gerade hier erscheint der Hinweis auf die Populationsgenetik der Synthetischen Theorie, insbesondere auf die Arbeiten Sewall Wrights, auch in modelltheoretische Hinsicht wichtig, mit dem – bezüglich der für Modellierungen wichtigen formalen Durchgestal-

tung – auch ein ganz anderer Anknüpfungspunkt zur Verfügung steht, ein Anknüpfungspunkt, der insbesondere zu denken erlaubt, dass Gegenstände nicht nur einfachhin entwickelt werden durch extern auf sie einwirkende Ursachen; dass die Faktoren, die für Entwicklungsprozesse notwendig sind, nicht getrennt und unabhängig von den sich entwickelnden Entitäten vorhanden sind, sondern vielmehr als Momente des Reproduktionsprozesses des sich entwickelnden Gegenstandes aufgezeigt werden können.

Diese in der Populationsgenetik ausgearbeitete formale Struktur von Entwicklungsprozessen kann und muss erweitert werden durch ökonomietheoretische Untersuchungen in der Tradition Schumpeters, durch Verknüpfungen mit Diskussionen in der frühen Anthropogeographie und gegenwärtigen Sozialgeographie sowie insbesondere mit Untersuchungen zur demographischen und sozialen Entwicklung einzelner Regionen und der methodischen Reflexion solcher Untersuchungen. Damit soll gezeigt werden, dass sowohl für die Demographie als auch für Fragen der Modellierung demographischer Prozesse in Wechselwirkung mit Ressourcen resp. der Umwelt menschlicher Populationen bisher weitgehend ungenutzte methodische Konzepte und empirisches Material zur Verfügung steht, von denen erwartet werden kann, dass eine Reihe der oben benannten Aporien bisheriger Modellierungen zu umgehen möglich ist.

Literatur

- Beurton, P. (1990): Werkzeugproduktion im Tierreich und menschliche Werkzeugproduktion. Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Heft 12, 1168–1182
- Beurton, P. (1994): Historische und systematische Probleme der Entwicklung des Darwinismus. Jahrbuch für Geschichte und Theorie der Biologie 1. Berlin, 93–211
- Beurton, P. (1998): Darwins Notebooks und die Ausbildung der Selektionstheorie. Jahrbuch für Geschichte und Theorie der Biologie 5. Berlin, 7–34
- Beurton, P. (1999): Was ist die Synthetische Theorie? In: Th. Junker/E.-M. Engels (Hg.): Die Entstehung der Synthetischen Theorie. Berlin, 79–106
- Beurton, P. (2000): Gene – die Atome der Evolution? Jahrbuch für Geschichte und Theorie der Biologie 7. Berlin, 167–186
- Beurton, P. (2001): Sewall Wright. In: I. Jahn/M. Schmitt (Hg.): Darwin & Co. Eine Geschichte der Biologie in Portraits. Bd. 2. München, 44–64
- Borzeszkowski, H.-H./R. Wahsner (1978): Die Mechanisierung der Mechanik. In: H.-J. Treder (Hg.): Newton-Studien. Berlin, 19–75
- Bourdieu, P. (1985): Sozialer Raum und »Klassen«. Leçon sur la leçon. Frankfurt am Main
- Bourdieu, P./L. Boltanski/M. De Saint Martin/P. Malvidier (1981): Titel und Stelle. Über die Reproduktion sozialer Macht. Frankfurt am Main
- Bourdieu, P. (2000): Die zwei Gesichter der Arbeit. Konstanz
- Crone, P. (1992): Die vorindustrielle Gesellschaft. München

- Darwin, Ch. (1899): Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl. Stuttgart
- Dawkins, R. (1978): Das egoistische Gen. Berlin/New York/Heidelberg
- Dawkins, R. (1987): Der blinde Uhrmacher. Stuttgart
- Dawkins, R. (1999): Gipfel des Unwahrscheinlichen. Reinbek
- Ebeling, F. (1994): Geopolitik. Karl Haushofer und seine Raumwissenschaft 1919–1945. Berlin
- Ehrlich, P. (1968): The Population Bomb. New York
- Ehrlich, P./A. Ehrlich (1972): Bevölkerungswachstum und Umweltkrise. Frankfurt am Main
- Ehrlich, P. (1986): The Machinery of Nature. New York
- Ehrlich, P. (1992): Der Verlust der Vielfalt: Ursachen und Konsequenzen. In: E.O. Wilson (Hg.): Ende der biologischen Vielfalt? Heidelberg/Berlin/New York, 39–45.
- Ehrlich, P./A. Ehrlich (1972): Bevölkerungswachstum und Umweltkrise. Frankfurt am Main
- Ehrlich, P./A. Ehrlich (1975): The End of Affluence. New York
- Ehrlich, P./A. Ehrlich (1990): The Population Explosion. New York
- Ehrlich, P./A. Ehrlich (1970): Population – Resources – Environment. Issues in Human Ecology. San Francisco
- Ehrlich, P./A. Ehrlich/J. Holdren (1975): Humanökologie. Berlin/Heidelberg/New York
- Ehrlich, P./P.H. Raven (1969): Differentiation of Populations. Science 165, 1228–1232
- Eisenbart, C. (Hg.) (1979): Humanökologie und Frieden. Stuttgart
- Febvre, L. (1925): A Geographical Introduction to History. New York
- Febvre, L. [1935](1995): Der Rhein und seine Geschichte. Frankfurt am Main
- Fisher, R. A. (1918): The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. Trans. R. Soc. Edinburgh 52, 399–433
- Fisher, R. A. (1930): The Genetical Theory of Natural Selection. Oxford
- Freudenthal, G. (1982): Atom und Individuum im Zeitalter Newtons. Frankfurt am Main
- Gellner, E. (1993): Pflug, Schwert und Buch. München
- Gould, S. J. (1991): Zufall Mensch. München
- Gould, S. J. (1998): Illusion Fortschritt. Frankfurt am Main
- Gutmann, M. (1998): Methodologische und normative Aspekte der Umweltbewertung – Elemente einer Rationalen Ökologie. In: W. Theobald (Hg.): Integrierte Umweltbewertung. Berlin u.a., 65–92
- Gutmann, M. (2001): Die „Sonderstellung des Menschen“. Zum Tier-Mensch-Vergleich. Jahrbuch für Geschichte und Theorie der Biologie 8. Berlin, 27–77
- Gutmann, M./M. Weingarten (1995): Die Struktur des systemtheoretischen Arguments. Jahrbuch für Geschichte und Theorie der Biologie 2. Berlin, 7–15
- Gutmann, M./M. Weingarten (2001): Die Bedeutung von Metaphern für die biologische Theorienbildung. Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Heft 4, 549–566

- Herlihy, D. (2000): Der schwarze Tod und die Verwandlung Europas. Berlin
- Holdren, J./P. Ehrlich (1974): Human Population and the Global Environment. Am. Sci. 62, 282–292
- Hubig, C. (2002): Mittel. Bibliothek dialektischer Grundbegriffe. Bielefeld
- Hummel, D. (2000): Der Bevölkerungsdiskurs. Opladen
- Janich, P./M. Weingarten (1999): Wissenschaftstheorie der Biologie 1. München
- König, J. (1978): Über einen neuen ontologischen Beweis des Satzes von der Notwendigkeit alles Geschehens. In: ders.: Vorträge und Aufsätze. Freiburg – München, 62–121
- König, J. (1978): Bemerkungen über den Begriff der Ursache. In: ders.: Vorträge und Aufsätze. Freiburg – München, 122–255
- König, J. (1978): Einige Bemerkungen über den formalen Charakter des Unterschieds von Ding und Eigenschaft. In: ders.: Vorträge und Aufsätze. Freiburg – München, 338–367
- König, J. (1994): Probleme des Begriffs der Entwicklung. In: ders.: Kleine Schriften. Freiburg – München, 222–244
- Köster, W. (2002): Die Rede über den „Raum“. Heidelberg
- Ladurie, E.L.R. (1990): Die Bauern des Languedoc. München
- Lutz, W. (Ed.) 1994): Population – Development – Environment. Berlin
- Lutz, W./S. Scherbov (1999): Quantifying Vicious Circle Dynamics: The PEDAM Model für Population, Environment, Development and Agriculture in African Countries. Interim Report IR-99-049
- Lutz, W./S. Scherbov/A. Fürnkranz-Prskawetz/M. Dworak/G. Feichtinger (2000): Populations, Natural Resources and Food Security. Lessons from Comparing Full and Reduced Form Models. Interim Report IR-00-038
- Malthus, Th.R. [1798] (1977): Das Bevölkerungsgesetz. München
- Marschalck, P. (1984): Bevölkerungsgeschichte Deutschlands im 19. und 20. Jahrhundert. Frankfurt am Main
- Mayr, E. (1984): Die Entstehung der biologischen Gedankenwelt. Berlin/New York/Heidelberg.
- Mayr, E. (1994): ... und Darwin hat doch recht. München
- Meusburger, P. (Hg.) (1999): Handlungszentrierte Sozialgeographie. Benno Werlens Entwurf in kritischer Diskussion. Stuttgart
- Picht, G. (1979): Ist Humanökologie möglich? In: C. Eisenbart (Hg.): Humanökologie und Frieden. Stuttgart, 14–123
- Picht, G. (1981): Hier und Jetzt: Philosophieren nach Auschwitz und Hiroshima. Bd. 2. Stuttgart
- Provine, W. (1986): Sewall Wright and Evolutionary Biology. Chicago
- Rechenberg, I. (1973): Evolutionsstrategien. Stuttgart/Bad Cannstatt.
- Rohbeck, J. (1993): Technologische Urteilskraft. Frankfurt am Main
- Ruben, P. (1979): Philosophie und Mathematik. Leipzig
- Schumpeter, J. A. (1932): Entwicklung. In: Festschrift für Josef Lederer. Zu seinem fünfzigsten Geburtstag am 22. Juli 1932 (masch.)
- Schumpeter, J. A. (1961): Konjunkturzyklen. 2 Bde. Göttingen

- Schumpeter, J. A. (1987): Beiträge zur Sozialökonomik. Wien u.a.
- Schumpeter, J. A. (1993): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Berlin
- Sedlacek, P./B. Werlen (1998): Texte zur handlungstheoretischen Geographie. Jenaer geographische Manuskripte Bd. 18. Jena
- Stachowiak, H. (Hg.) (1983): Modelle – Konstruktion der Wirklichkeit. München
- Tönnies, F. [1885](1972): Gemeinschaft und Gesellschaft. Darmstadt
- Voland, E. (Hg.) (1992): Fortpflanzung: Natur und Kultur im Wechselspiel. Frankfurt am Main
- Wahsner, R. (1981): Das Aktive und das Passive. Berlin
- Wahsner, R. (1992): Prämissen physikalischer Erfahrung. Berlin
- Wahsner, R./H.-H. Borzeszkowski (1992): Die Wirklichkeit der Physik: Studien zu Idealität und Realität in einer messenden Wissenschaft. Frankfurt am Main
- Weber, M. (1988): Gesammelte Aufsätze zur Soziologie und Sozialpolitik. Tübingen
- Weingarten, M. (1992): Organismuslehre und Evolutionstheorie. Hamburg
- Weingarten, M. (1993): Organismen – Objekte oder Subjekte der Evolution? Darmstadt
- Weingarten, M. (1996): Anfänge und Ursprünge. Programmatische Überlegungen zum Verhältnis von logischer Hermeneutik und hermeneutischer Logik. In: D. Hartmann/P. Janich (Hg.): Methodischer Kulturalismus. Frankfurt am Main, 285–314
- Weingarten, M. (1998): Wissenschaftstheorie als Wissenschaftskritik. Bonn
- Weingarten, M. (2000): Entwicklung und Innovation. Graue Reihe Nr. 21. Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen. Bad Neuenahr/Ahrweiler
- Weingarten, M. (2001): Versuch über das Mißverständnis, der Mensch sei von Natur aus ein Kulturwesen. Jahrbuch für Geschichte und Theorie der Biologie 8. Berlin, 137–171
- Weingarten, M. (2002): Überlegungen zur reproduktionstheoretischen Bestimmung gesellschaftlicher Naturverhältnisse. In: A. Lotz/J. Gnädinger (Hg.): Wie kommt die Ökologie zu ihren Gegenständen? Frankfurt u.a., 17–34
- Weingarten, M. (2003): Von der Beherrschung der Natur zur Strukturierung gesellschaftlicher Naturverhältnisse. In: G. Matschonat/A. Gerber (Hg.): Wissenschaftstheoretische Perspektiven für die Umweltwissenschaften. Weikersheim, 127–144
- Werlen, B. (1997): Gesellschaft, Handlung und Raum. 3., überarbeitete Auflage. Stuttgart
- Werlen, B. (1997): Sozialgeographie alltäglicher Regionalisierungen. Bd. 2: Globalisierung, Region und Regionalisierung. Stuttgart
- Werlen, B. (1999): Sozialgeographie alltäglicher Regionalisierungen. Bd. 1: Zur Ontologie von Gesellschaft und Raum. 2., völlig überarbeitete Ausgabe. Stuttgart
- Werlen, B. (2000): Sozialgeographie. Bern
- Werlen, B./M. Weingarten (ohne Datum): Ein etwas anderer Versuch, den forschungsintegrativen Gehalt der (Sozial)Geographie zu erläutern. (unveröff. MS)
- Wilson, E.O. (1975): Sociobiology – The New Synthesis. Cambridge – London.

- Wilson, E.O./W.H. Bossert (1973): Einführung in die Populationsbiologie. Berlin/Heidelberg
- Wright, S. (1921): Correlation and causation. *J. agric. Res.* 20, 557–585
- Wright, S. (1929): Evolution in a mendelian population. *Anat. Rec.* 44, 287
- Wright, S. (1931): Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16: 97–159
- Wright, S. (1968–78): *Evolution and the Genetics of Populations*. 4 Bde. Chicago

Modellierung in der Demographie

Stefan Liehr

Einleitung

Demographie als wissenschaftliche Disziplin steht selten für sich alleine und damit losgelöst von anderen wissenschaftlichen oder politisch-gesellschaftlichen Bezügen. Die große Bedeutung von demographischer Forschung erwächst ganz wesentlich aus ihrer Einbettung in übergeordnete Fragestellungen. Traditionell spielen hierbei nationalstaatliche (Bevölkerungsstatistik, Haushaltsplanung) und privatinstitutionelle (Versicherungen, Meinungsforschung) Informationsbedürfnisse eine wichtige Rolle. Angesichts eines wachsenden Bewusstseins über die Tragweite gegenwärtiger Entscheidungen hinsichtlich ihrer zukünftigen Bedeutung kommt es verstärkt zu interdisziplinären Verknüpfungen von Erkenntnissen aus demographischen Untersuchungen mit gesellschaftlich, ökonomisch wie auch naturräumlich relevanten Prozessen. Fragen nach dem Wandel von Bevölkerungsstrukturen, dem sozialen System und ebenso nach dem Phänomen der Urbanisierung und der Entwicklung von Konsum und Wohlstand stehen – über ihre jeweiligen Wirkungen auf die Versorgungssysteme von Wasser, Energie und Ernährung – in einer engen Beziehung zum Management der natürlichen Ressourcen.

Als Lehre der Strukturen und Bewegungen von Bevölkerungen versucht die Demographie aus der Untersuchung vergangener und gegenwärtiger Entwicklungen zukünftige Trends aufzuzeigen. In engem Zusammenspiel kommen hierbei Methoden der Datenerhebung, Verfahren zur Datenanalyse und unterschiedliche Modellierungsansätze zur Projektion vergangener Entwicklungen in die Zukunft zur Anwendung. Eine entscheidende Schnittstelle zu fachübergreifenden Themenkomplexen stellt die modellgestützte Beschreibung demographischer Prozesse dar. In ihrer einfachsten Form liefern demographische Modelle die Datengrundlage für weitergehende Studien angrenzender Fragestellungen. Die Abhängigkeit demographischer Entwicklungen von einer Vielzahl von Randbedingungen kommt in elaborierteren Modellen dann zum Tragen, wenn externe, primär nicht-demographische Parameter mit in die Untersuchung demographischer Prozesse eingeschlossen werden. Die Demographie entsteigt damit der früher dominanteren Rolle als Datenlieferant und nimmt in erheblich stärkerem Maße ihre Wechselwirkungen und Interdependenzen zu anderen Disziplinen auf. Dabei ebnet gerade die modernen technischen Möglichkeiten zur Simulation auch komplexer Problembereiche und die Öffnung der zunächst meist quantitativ geprägten Verfahren hin zu einem stärker qualitativen Vorgehen den Weg zu neuen Erkenntnissen und Forschungslinien. Auch gewinnt die Einsicht in die vielfache Beschränktheit der Vorhersagemöglichkeiten für zukünftige Entwicklungen an Tiefe, mit der Konsequenz eines neuen Stellenwertes von Verfahren zum Umgang mit Unsicherheit und Partialwissen.

Dieser Beitrag gibt in einer kurzen Einführung zunächst die wesentlichen Verfahren der demographischen Datenerhebung und Analysemethoden wieder. Diese stellen die Grundlage für den anschließenden ausführlicheren Überblick über gängige Verfahren der Modellierung demographischer Prozesse dar. Neben der Vorstellung des klassischen Vorgehens werden insbesondere auch moderne, mikrobasierte Ansätze wie die Multi-Agenten-Modellierung aufgegriffen. Den Abschluss bildet ein Überblick zu den zwei gängigen Ansätzen in der Behandlung von Unsicherheiten und der Analyse ihres Einflusses auf die Resultate von Modellierungen.

Demographische Datenerhebung

Die Quellen demographischer Daten lassen sich den zwei Bereichen der staatlichen Registrierung und der Umfragen zuordnen. Im Rahmen des staatlichen Verwaltungshandelns erfolgt eine umfassende Registrierung personenbezogener Ereignisse wie Geburt, Heirat, Scheidung, Tod, Umzug, Eintritt in oder Austritt aus verschiedenen Institutionen. Ergänzt und auf Vollständigkeit überprüft werden diese durch die zu den Umfragen gehörenden Totalerhebungen, auch Volkszählungen oder Zensen genannt. Hierbei werden in der gesamten Bevölkerung mit konventionellen Fragebögen Strukturdaten über Biographie, Ausbildung, Beruf, Familie, Wohn- und Arbeitsverhältnisse und Mobilitätsmuster abgefragt. In einer neuen Volkszählungsmethode, dem registergestützten Zensus, werden unter erheblich niedrigeren Kosten und einer deutlich geringeren Belastung von Bevölkerung und Verwaltung ebenfalls demographische Daten erhoben. Dazu basiert diese neue Umfrageart auf einem engen Zusammenspiel zwischen vorhandenen Daten aus den Verwaltungsregistern und der Befragung von Eigentümern von Gebäuden über die in diesen lebenden Personen. Generell werden Volkszählungen von den Vereinten Nationen (UN) im Abstand von etwa zehn Jahren weltweit empfohlen.

In wesentlich kürzeren Abständen als bei Totalerhebungen werden kleinere Anteile der Bevölkerung im Rahmen von Stichprobenerhebungen oder Mikrozensen befragt. In Deutschland erstreckt sich diese Erhebung einer amtlichen Repräsentativstatistik über die Bevölkerung und den Arbeitsmarkt seit 1957 jährlich auf 1% der Haushalte, dies entspricht etwa 370.000 Haushalten mit 820.000 Personen. Sie ist damit die größte jährlich durchgeführte Repräsentativbefragung in Deutschland.

Als weitere Erhebungsart haben sich in den vergangenen Jahrzehnten in unterschiedlicher Regelmäßigkeit Bevölkerungsbeobachtungen mit den Mitteln der empirischen Sozialforschung etabliert. In repräsentativen Stichproben von etwa 1.000 bis 10.000 Befragten werden Daten über Einstellungen, Verhaltensweisen und Sozialstruktur erhoben. Eine letzte Erhebungsart stellen Spezialerhebungen dar. In ihnen werden gezielte Umfragen zu demographischen Einzelthemen durchgeführt oder auch die Verlässlichkeit der in umfassenderen Erhebungen gewonnenen Daten überprüft.

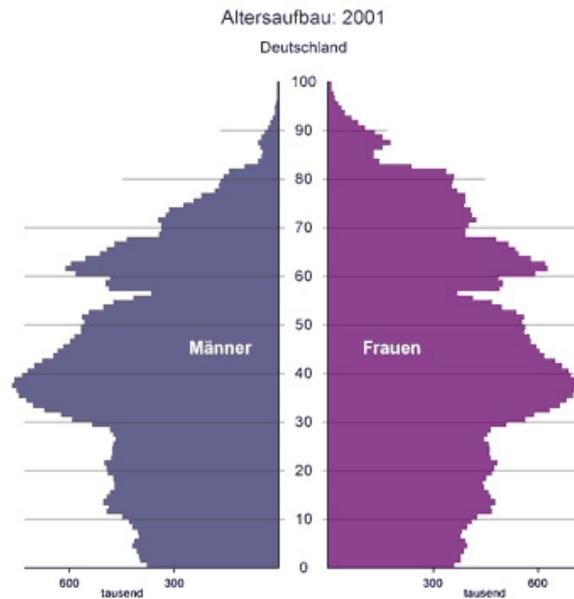


Abbildung 1: Der nach Geschlecht unterteilte Altersaufbau in Deutschland aus dem Jahr 2001. (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Demographische Analysemethoden

Die Charakterisierung demographischer Entwicklungen kann sich grundsätzlich anhand von Strukturen, Ereignissen oder Prozessen vollziehen. Diese sich komplementär ergänzenden Analyseebenen sind ein Ausdruck der Dimensionalität des zugrunde liegenden Gegenstandsbereichs und spiegeln sich in den nun vorgestellten methodischen Vorgehensweisen wider.

In der Strukturanalyse wird zu einem vorgegebenen Zeitpunkt die als Struktur bezeichnete Verteilung bestimmter Merkmale wie Alter, Geschlecht, Familienstand etc. in einem ausgewählten Ausschnitt der Bevölkerung bestimmt und untersucht. Kausalanalysen sind in einer derartigen Querschnittsanalyse der Bevölkerungsstruktur zunächst nicht direkt möglich. Erst die vergleichende Betrachtung zeitlich aufeinander folgender Strukturanalysen eröffnet die Möglichkeit zur Gewinnung von Hypothesen über Kausalzusammenhänge.

Die bei der Strukturanalyse zunächst fehlende zeitliche Dimension wird in der Ereignisanalyse wie auch in der prozessorientierten Analyse der Populationsdynamik generisch mit berücksichtigt. Die Ereignisanalyse schließt mittels Wahrscheinlichkeiten oder Raten aus dem Auftreten von Ereignissen auf ihre Häufigkeiten innerhalb eines Beobachtungszeitraums und führt diese einer Analyse zu. Moderne Verfahren berücksichtigen darüber hinaus zeitlich stetige Übergangsraten, sind also in der Lage auch Veränderungen in den Häufigkeiten implizit zu erfassen. Typisch sind hierbei Fundamentalergebnisse wie Geburt, Tod, Eheschließung und Scheidung, aber auch Krankheiten, Arbeitslosigkeit und weitere gesellschaftsspezifische Vorkommnisse. Bei weitgehender Vollständigkeit der ereignisbezogenen Daten kann mit be-

kannter anfänglicher Bevölkerungsstruktur zu jedem Zeitpunkt auf die jeweiligen strukturellen Änderungen geschlossen werden. Umgekehrt lässt sich eine Ereignisanalyse aus Strukturdaten näherungsweise ableiten, sofern letztere in ausreichend häufiger zeitlicher Abfolge vorliegen.

Neben diesen beiden traditionellen Analyseverfahren gewinnt die prozessorientierte Analyse unter Anwendung von mathematischen Verfahren aus der Theorie der dynamischen Systeme zunehmende Bedeutung. Ausgehend von hypothesen-gestützten Gleichungen über das Wachstumsverhalten von Bevölkerungen werden hierbei die empirisch gewonnenen Daten analysiert. Im Vordergrund stehen nicht Strukturen oder Ereignisse, sondern die Dynamik der die Populationsentwicklung bestimmenden Prozesse.

Mit ihrer stärkeren mathematischen Fundierung stellt die populationsdynamische Analyse einen Übergang zu den demographischen Modellen dar. Sie erlaubt nicht bloß die Analyse historischer Daten, sondern liefert durch ihre Prozessorientierung implizit die Möglichkeit der Extrapolation erkannter Entwicklungen in die Zukunft.

Demographische Modelle

Die Komplexität der Wirklichkeit ist im Allgemeinen nicht in all ihren vielschichtigen Facetten vom menschlichen Bewusstsein erfassbar und verstehbar. Modelle dienen im alltäglichen Erleben, in der Wissenschaft und so auch in der demographischen Forschung einer Strukturierung, Vereinfachung und Verallgemeinerung des jeweils betrachteten Gegenstandsbereichs, indem allgemeine Aussagen und Gesetze zur Überprüfung zugrunde liegender Hypothesen formuliert werden. Sie erfüllen dabei im Wesentlichen die zwei Funktionen der Gewinnung und der Vermittlung von Erkenntnissen.

Erkenntnisorientiertes Wissen über Kausalverhältnisse wird ganz entscheidend durch Simplifikationen gewonnen, indem gezielt bestimmte Wechselwirkungen nicht im Modell berücksichtigt werden. Die Bedeutung von Einzelaspekten hinsichtlich der untersuchten Fragestellung zeigt sich dann in einer Analyse der Veränderungen in der Prognosekraft des Modells. Auf diese Weise wird im Prozess der Modellierung durch die selektive Isolierung relevanter Informationen und Prozesse sowie durch eine mit Beobachtungsdaten gestützte Validierung der Prognosefähigkeit die Eignung von Modellen für den gegebenen Kontext geprüft und optimiert. Gleichzeitig dienen Modelle als Kommunikationsinstrumente zur Vermittlung bereits vorhandener und neu gewonnener Erkenntnisse; sie veranschaulichen und führen zu einem besseren Verständnis komplexer Sachverhalte.

Eine entscheidende Bedeutung kommt im demographischen Modellierungsprozess der konzeptionellen Fassung der Basiseinheit der Bevölkerung zu. Angepasst an den Problemkontext stehen aggregierte Betrachtungen von Gesamtbevölkerungen in so

genannten Makromodellen den detailaufgelösten Betrachtungen von Individuen oder Haushalten in Mikromodellen gegenüber. Die Entscheidung für einen populations- oder individuenbasierten Ansatz muss zielführend in Abhängigkeit von der Fragestellung wie auch der vorliegenden Datenbasis getroffen werden.

Für die Beschreibung der Entwicklung von Bevölkerungen unter Vernachlässigung endogener Entwicklungsfaktoren werden in erster Linie Makromodelle herangezogen. Den mathematischen Kern dieses Modellierungsansatzes bildet die demographische Grundgleichung, nach der Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur als Resultat der drei Komponenten Fertilität (Geburten), Mortalität (Sterbefälle) und Migration (Zu- und Fortzüge) dargestellt werden. Wird zusätzlich eine Differenzierung nach Alters- und Geschlechtsgruppen, den so genannten Kohorten, vorgenommen, spricht man von der Kohorten-Komponenten-Methode. In Abbildung 2 wird diese Methode als typischer Vertreter von Makromodellen schematisch und in Abbildung 3 mathematisch dargestellt. Seinen Ursprung hat die Kohorten-Komponenten-Methode in der „Stable Population Theory“ von Sharpe & Lotka (1911) und wurde durch Leslie (1945) weiterentwickelt. Für die im Modell spezifizierten Zustandsgrößen erzwingt die makroskopische Betrachtungsweise ein hohes Aggregationsniveau, so dass hier im Besonderen populationsbasierte Größen wie die durchschnittliche Fertilität und Migrationssalden, aber auch dem Anwendungsrahmen entsprechend das Bruttosozialprodukt, Arbeitslosenquote, Alphabetisierungsquote etc. zum Tragen kommen können. Eine differenzierte Detailbetrachtung des Zustandekommens dieser Zustandsgrößen liegt außerhalb der gewählten Skalenebene und kann erst durch Berücksichtigung mikroskopischer Methoden erfolgen. Zugrunde liegende Modellannahmen in Makromodellen setzen sich einerseits aus Schätzungen, andererseits aus spezifischen Modellannahmen zusammen. Bezüglich der Schätzungen wird von einer ausreichenden Aussagekraft der zugrunde liegenden Datenbasis und der daraus extrahierten Größen hinsichtlich der Repräsentanz für die Gesamtbevölkerung und der zeitlichen Stabilität ausgegangen. Relevante Schätzdaten stellen beispielsweise die Erwartungswerte von Überlebenswahrscheinlichkeiten, Geburtenhäufigkeiten, Wanderungsraten oder Geschlechterproportionen von Lebendgeborenen dar. Auch abgeleitete Schätzdaten wie die mittlere Lebenserwartung, resultierend aus den kumulierten Überlebenswahrscheinlichkeiten, gilt es letztlich als Schätzgröße zu beachten. Die zweite Art der Annahmen betrifft den strukturellen Aufbau des Modells. Modelle stellen immer eine Reduktion des betrachteten Gegenstandsbereiches auf bestimmte als relevant erachtete Aspekte dar. „Relevanz“ wird dabei nicht allein durch den Problembezug, sondern in einem Abwägungsprozess ebenfalls durch die (technischen, personellen und finanziellen) Rahmenbedingungen während der Modellentwicklung bestimmt. Für einen Eindruck über derartige strukturelle Annahmen sei an dieser Stelle auf das Modell zur Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes verwiesen. Die Reduktion der Wirklichkeit auf eine möglichst einfache Modellstruktur zeigt sich dort an Beschränkungen wie dem Stattfinden aller Geburten exakt zur Jahresmitte, der exakt gleichförmigen Verteilung der Wan-

derungen über das gesamte Jahr und der auf Null gesetzten Überlebenswahrscheinlichkeit der 99-Jährigen.

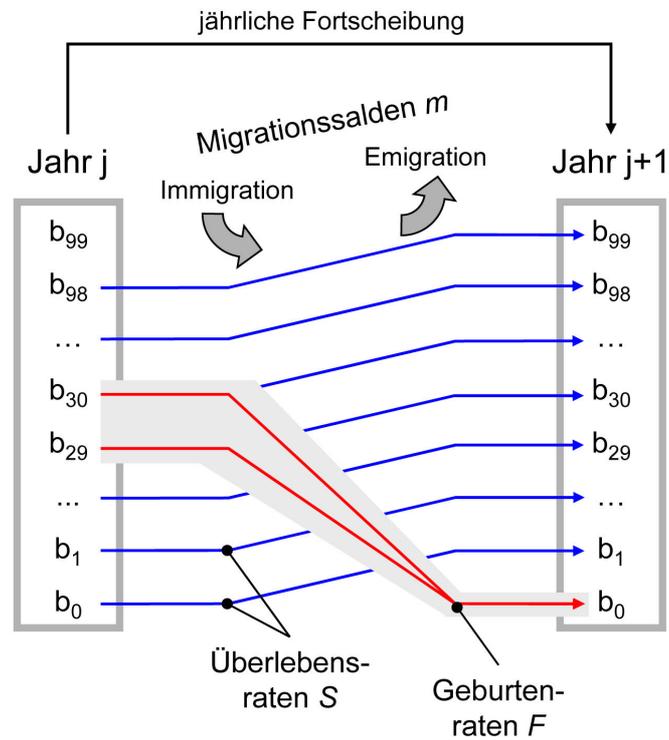


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Kohorten-Komponenten-Methode. Die Altersstruktur $b_{0..99}$ des Jahres j wird mittels altergruppenspezifischen Überlebensraten S , Geburtenraten F und Migrationssalden m in das Folgejahr $j+1$ fortgeschrieben.

$$\begin{pmatrix} \hat{F}_0 & \hat{F}_1 & \hat{F}_2 \\ \hat{S}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \hat{S}_1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}^j + \begin{pmatrix} \hat{m}_0 \\ \hat{m}_1 \\ \hat{m}_2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}^{j+1}$$

$$\hat{L} \cdot \vec{b}^j + \hat{m} \rightarrow \vec{b}^{j+1}$$

Abbildung 3: Die demographische Grundgleichung der Kohorten-Komponenten-Methode in Matrixdarstellung. Oben am Beispiel von drei Kohorten, unten in ihrer allgemeinen Kurzform zur Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Bevölkerungsstruktur b . Die als Leslie-Matrix bezeichnete Matrix L besitzt aufgrund einschränkender Nebenbedingungen hinsichtlich der Übergänge zwischen den Kohorten eine wohldefinierte Struktur aus kohortenspezifischen Fertilitätsraten F und Überlebensraten S . Im Gegensatz zu den Raten wirken die Migrationssalden m additiv.

Näher an den generisch strukturellen Gegebenheiten des untersuchten Problemfelds der Bevölkerungsdynamik arbeiten individuenbasierte Verfahren, die so genannten Mikromodelle. In ihnen werden alle relevanten demographischen Ereignisse und ihre Einflüsse auf die individuellen Merkmale einer repräsentativen Stichprobe der

Bevölkerung simuliert. Zentral ist hierbei die Berücksichtigung endogener Faktoren auf der Mikroebene und damit auch die Erfassung disaggregiert messbarer Zustandsvariablen, wie das individuelle oder häusliche Einkommen. Werden in Makroansätzen hohe Modellkomplexitäten und hoher Rechenaufwand vermieden, so gehen Mikroansätze mit erheblich größerer Modellkomplexität und einem höheren Rechenaufwand einher.

Multi-Agenten-Modelle stellen als diskrete regelbasierte Entscheidungsmodelle derzeit eine der wichtigsten Klassen von Mikromodellen dar. In ihnen wird das Individuum, der Haushalt oder eine näher zu definierende Kleingruppe als handelnde Baseinheit des Modells durch den Begriff des Agenten beschrieben. Obwohl eine einheitliche und eindeutige Definition des Agentenbegriffs nicht existiert, hilft die von Wooldridge & Jennings (1995) gegebene Charakterisierung zu einer genaueren Begriffsbestimmung: „An agent is an autonomous entity that achieves its local goals by interacting with other agents and its environment.“ Als wesentliche Verhaltensmerkmale von intelligenten Agenten sind hierbei ihre Reaktivität (zielgerichtete Reaktion auf wahrgenommene Veränderungen in der Umgebung), ihre Pro-Aktivität (eigen-initiatives, zielorientiertes Verhalten) und ihre sozialen Fähigkeiten (zielorientierte Kommunikation mit anderen Agenten) hervorzuheben.

Zu der im Zitat aus Wooldridge & Jennings (1995) angesprochenen Umgebung des Agenten gehören in einem Multi-Agenten-System alle weiteren Agenten ebenso wie ein geeignet definierter Raum zu ihrer aktionsgebundenen Einbettung. Die Abbildung der Netzwerk- und Raumstruktur, auf der die Agenten interagieren, ermöglicht aus einem bottom-up-Ansatz heraus das Studium des Zusammenwirkens fundamentaler Verhaltensweisen und Entscheidungsprozesse auf individueller Ebene. Wie in Abbildung 4 dargestellt lassen sich mikrobasierte demographische und sozialwissenschaftliche Verhaltenstheorien unter der Voraussetzung einer geeigneten Formalisierbarkeit in die Realisierung der Agenten integrieren. Die inneren Strukturen der Agenten können einen beliebigen Grad an Heterogenität aufweisen, solange die Schnittstellen ihrer gegenseitigen Interaktionen aufeinander abgestimmt sind. Die Berücksichtigung von Feedback-Mechanismen ergibt sich unmittelbar aus der Offenheit und Flexibilität der Vernetzungsstrukturen zwischen den Agenten. Damit wird eine Modellkonstruktion auch in Fällen ohne explizite analytische Lösung sowie die Analyse von transienten Dynamiken, also Prozessen außerhalb von Gleichgewichtssituationen, möglich.

Die Einbettung von Mikromodellen in den Prozess der Modellierung zeigt Abbildung 5. Rohdaten, Annahmen und Prozesswissen mit dem expliziten Einschluss von endogenen Einflussfaktoren auf die Dynamik stellen die Grundlage zur formalen Beschreibung einer Population künstlicher Agenten dar. Diese Agenten zeichnen sich durch Merkmale, Regeln und Prozesse aus. Die Simulation der zeitlichen Entwicklung dieses Modells führt aufgrund der Regeln und Prozesse zu Veränderungen in den Merkmalsausprägungen der Agenten. Die Extraktion von makroskopischen

Variablen aus dem hochdimensionalen Raum mikroskopischer Zustandsgrößen ermöglicht dann die Analyse von Makro-Ereignissen hinsichtlich möglicher zugrunde liegender Wirkungsmechanismen und dem Einfluss von exogenen Faktoren (z. B. politische oder gesellschaftliche Rahmenbedingungen).

Die Breite an Anwendungsgebieten von Mikromodellierungen in der demographischen Forschung soll in einer abschließenden Übersicht anhand von vier Beispielen aufgezeigt werden. Von Heiland wurden Wanderungsbewegungen und Migrationsmuster von Ost- nach Westdeutschland nach der Wende im Jahr 1989 untersucht (Heiland 2003), Todd und Billari entwickelten ein Modell zur Beschreibung von Entscheidungsprozessen bei der Partnersuche (Todd & Billari 2003), Billari, Prskawetz und Fürnkranz studierten die Langzeit-Persistenz von kulturellen Normen und demographischem Verhalten (Billari et al. 2003 und am Santa Fe Institute wurde die historische Entwicklung der Anasazi-Gesellschaft, die etwa zwischen 200 n. Chr. und 1300 n. Chr. im Südwesten der USA lebten, anhand eines Mikromodells nachvollzogen (Axtell et al. 2002).

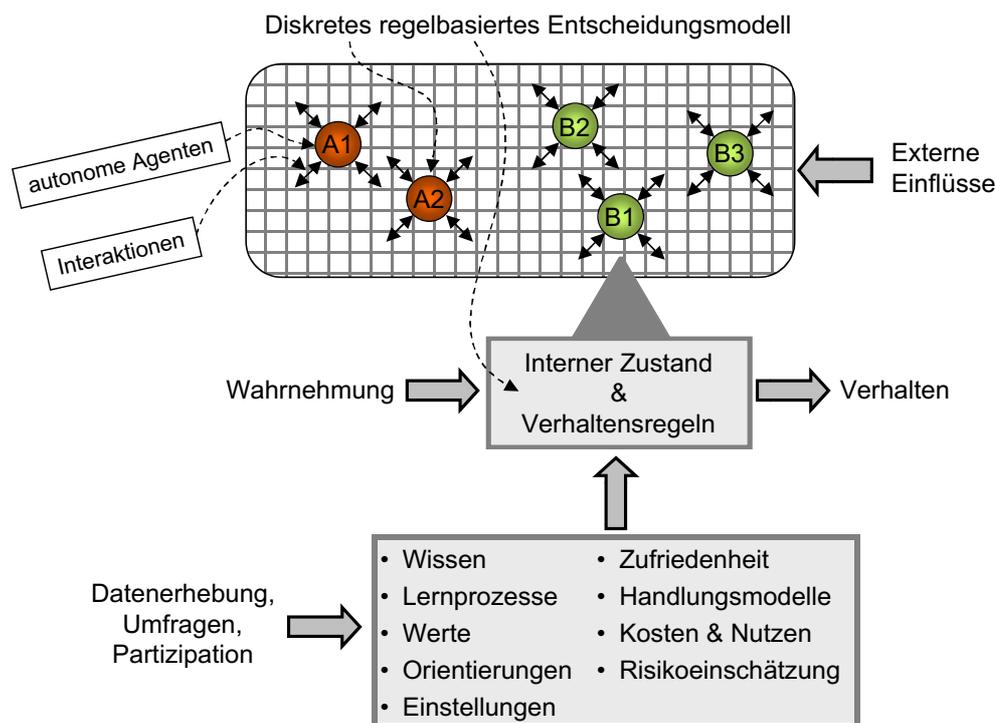


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Multi-Agenten-Modells. Die Agenten sind hier exemplarisch durch zwei bzw. drei Vertreter von zwei unterschiedlichen Typen von Agenten repräsentiert, den A- und B-Agenten. Jeder Agent wechselwirkt über Wahrnehmung und Verhalten mit seiner jeweiligen Umgebung, bestehend aus allen übrigen Agenten und den nicht an Agenten gebundenen, externen Umgebungseinflüssen. Eindeutig charakterisiert wird jeder Agent durch den internen Zustand seiner Merkmalsausprägungen und einem Satz von Verhaltensregeln, in die problembezogen empirische Ergebnisse und theoriegebundene Konzepte eingehen.

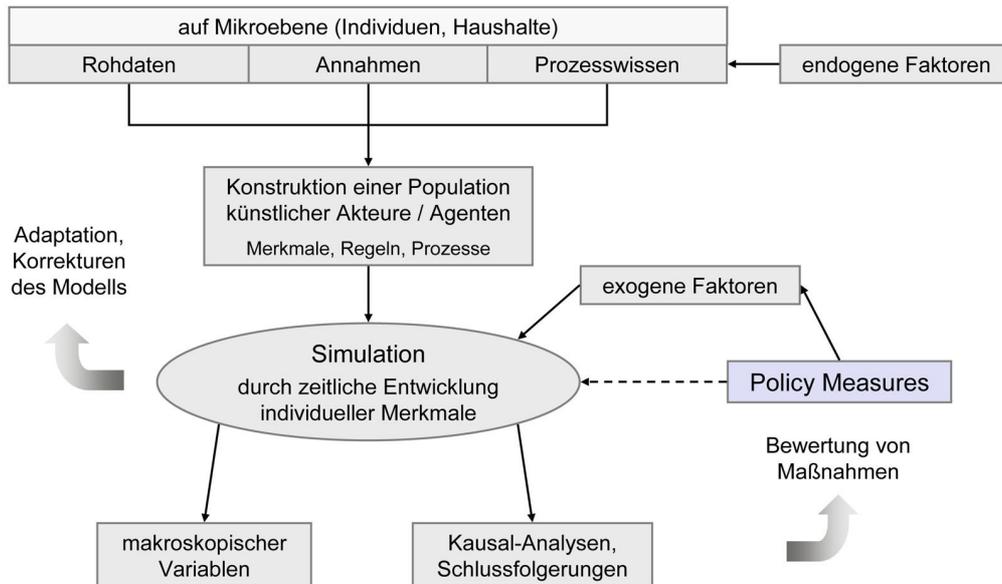


Abbildung 5: Einbettung von Mikromodellen in verschiedene Stufen der Modellierung.

Nicht immer sind demographische Modelle eindeutig einem mikro- oder makro-basierten Ansatz zuzuordnen. Wird eine über die Alters- und Geschlechtsstruktur hinausgehende Differenzierung der Bevölkerung vorgenommen, kann sich die Modellierung ausgehend von einer Makroperspektive sukzessive einer individuenbasierten Mikroperspektive annähern. Das PEDÄ-Modell des International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) ist hierfür als Beispiel zu nennen. Ausgehend von der Theorie des Teufelskreises zwischen Bevölkerungswachstum, Umweltzerstörung und Armut (Dasgupta 1993; Nerlove 1991) wurde mit PEDÄ ein interaktives Computer-Simulationsmodell zur Illustrierung der Wechselwirkungen zwischen Veränderungen der Bevölkerungsstruktur, des Umweltzustandes, der sozio-ökonomischen Entwicklung und der Landwirtschaft entwickelt. An zentraler Stelle steht im PEDÄ-Modell die Gruppierung aller Individuen einer Population in unterschiedliche Subpopulationen. Dazu wird innerhalb jeder Geschlechts-/Alters-Gruppe anhand der drei Aspekte des Lebensraums (ländlich/urban), des Bildungsgrads (ungebildet/gebildet) und der Ernährungssicherheit (sicher/unsicher) unterschieden. In Kombination führt die Differenzierung zu acht Subpopulationen mit jeweils spezifischen Parametersätzen und Abhängigkeiten von Einflussfaktoren. Eine ausführliche Darstellung des Modells findet sich in dem Beitrag von A. Fürnkranz-Prskawetz.

Obwohl noch weit von einer individuenbasierten Modellierung entfernt, kann hier bereits von einem ersten Übergang von der reinen Makromodellierung hin zu einer tieferen, detailaufgelösten Betrachtung von Bevölkerungen gesprochen werden. Darüber hinaus erlaubt die intermediäre Stellung des PEDÄ-Modells ein weitergehendes und vergleichendes Studium der Stärken und Schwächen hochgradig disaggregierter Ansätze gegenüber stark reduktionistischen Modellen (Lutz et al. 2000).

Umgang mit Unsicherheiten in demographischen Modellen

Nach Stachowiak (1973) erfassen Modelle „im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellschaffern und/oder Modellbenutzern relevant erscheinen.“ Damit stellt sich grundsätzlich nicht die Frage nach dem Wahrheitsgehalt von Modellen im Sinne einer möglichst perfekten Korrespondenz zur Realität, sondern vielmehr die Frage nach dem Grad der Eignung im betreffenden Problemkontext. Modelle sind daher nicht zu verifizieren oder falsifizieren, sondern zu validieren. Die Bewertung eines Vergleichs zwischen Modellaussagen und betrachtetem Wirklichkeitsausschnitt kann hierbei immer nur im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit erfolgen. Eine exakte Übereinstimmung ist aus Gründen der immer beschränkten Messgenauigkeit und eingeschränkten Rekonstruktionsmöglichkeit des repräsentierten Originals prinzipiell ausgeschlossen. Im Hinblick auf die Glaubwürdigkeit von Modellen kommt daher dem Umgang mit Unsicherheiten eine besondere Bedeutung zu.

Die unterschiedlichen Verfahren zum Umgang mit Unsicherheiten basieren in der Regel auf zwei methodischen Zugängen. Die Entscheidung für einen dieser Zugänge bestimmt in starkem Maße die Art des zu verwendenden Modells mit. Im ersten Fall der Entwicklung eines deterministischen Modells stellen Unsicherheiten keinen integralen Modellbestandteil dar. Die Resultate eines deterministischen Modells lassen sich als unmittelbare Wiedergabe zunächst als exakter angenommener Ursache-Wirkungsbeziehungen in der von ihm repräsentierten Wirklichkeit interpretieren. Die Berücksichtigung von Unsicherheiten erfolgt dann im Rahmen von Szenarien. Sie werden dazu durch alternative Hypothesen über Parameter oder Modellannahmen eingeführt und mittels einer vergleichenden Analyse der sich neu ergebenden Entwicklungsverläufe des Modells hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Ergebnis untersucht.

Die beschriebene Methode findet vor allem in offiziell-staatlichen Bevölkerungsprognosen Anwendung, so beispielsweise im Statistischen Bundesamt Deutschland und den Vereinten Nationen (UN). In Abbildung 6 und Abbildung 7 ist dieses Vorgehen anhand der 10. Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (2003) dargestellt. Aus einer Kombination von jeweils drei Hypothesen über den langfristigen Außenwanderungssaldo und die Entwicklung der Lebenserwartung bis zum Jahr 2050 ergeben sich wie in Abbildung 6 dargestellt neun unterschiedliche Szenarien, auch als Varianten bezeichnet. Die Wirkung der drei auf der Diagonale liegenden Varianten im Rahmen des vom Statistischen Bundesamt zur Vorausberechnung eingesetzten Kohorten-Komponenten-Verfahrens zeigt Abbildung 7. Liegen die Unsicherheiten der Parameter beispielsweise in dem durch die Varianten 1 und 9 überdeckten Bereich, kann unter Vernachlässigung anderer Einflüsse und bei Akzeptanz der Geeignetheit des Modells auf die resultierende Unsicherheit in den Vorausberechnungen gefolgert werden.

Die Alternative zur Entwicklung eines deterministischen Modells und der anschließenden Anwendung der Szenarientechnik liegt in einer expliziten Einführung von Stochastizität als struktureller Bestandteil des Modells. Diese so genannten stochastischen Modelle liefern im Ergebnis keine exakte Prognose der zukünftigen Entwicklung, sondern stattdessen Wahrscheinlichkeitsaussagen und Konfidenzintervalle über die zu erwartenden Entwicklungspfade. Ursächlich gehen die Wahrscheinlichkeitsaussagen auf die im Modell eingebetteten stochastischen Grundgrößen und deren Wechselwirkung innerhalb der dynamischen Modellstruktur zurück. Eine Schätzung der stochastischen Grundgrößen kann auf Basis von drei unterschiedlichen Ansätzen erfolgen. Bei der Analyse historischer Prognosefehler werden frühere Prognosen mit der tatsächlichen Bevölkerungsdynamik verglichen und anschließend eine Abschätzung des Standardfehlers vorgenommen (Keyfitz 1981; Stoto 1983). Bei Anwendung der Delphi-Methode sind die stochastischen Grundgrößen Ergebnis der Befragung einer Expertengruppe über zukünftige Entwicklungen der Parameter und ihrer Unsicherheiten mit abschließender Einigung innerhalb eines Diskussions- und Argumentationsprozesses (Lutz et al. 1996). Im Rahmen der Zeitreihenanalyse werden die mit einer Prognose verbundenen Unsicherheiten durch ein Zeitreihenmodell mit internalisierter Stochastizität geschätzt. Komplexe Zeitreihenmodelle können auch strukturelle Brüche in den stochastischen Prozessen einbeziehen und erfassen (Lee & Carter 1992).

Die Anwendung stochastischer Prognosemodelle liegt derzeit noch verstärkt im wissenschaftlichen Bereich. Beispiele finden sich in Analysen des *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) (Leiwen & O'Neill 2003; Lutz & Schwerbov 2003) und des *Mannheim Research Institute for the Economics of Aging* (MEA) (Lipps & Betz, 2003). In Abbildung 8 ist oben eine probabilistische Bevölkerungsprojektion für die Europäische Union unter einer bestimmten Annahme über zukünftige Migrationsalden, Geburten- und Sterberaten dargestellt. Die Farbbereiche repräsentieren nach Wahrscheinlichkeiten abgestuft unterschiedliche Entwicklungsbereiche der Bevölkerungszahl. Mit 20% Wahrscheinlichkeit liegt demnach die Bevölkerungsentwicklung im zentralen, dunklen Bereich, mit 95% innerhalb des gesamten farbig markierten Bereichs. Rechts neben der Graphik ist die dazugehörige Dichteverteilung der Wahrscheinlichkeit aufgetragen. Eine Detailanalyse der Modellergebnisse ergibt die in Abbildung 8 unten dargestellte probabilistische Bevölkerungspyramide für das Jahr 2050. Die zunehmend hohen Unsicherheiten in der zukünftigen Fertilität zeigen sich in der Verbreiterung des Bereichs möglicher Bevölkerungszahlen hin zu den Kohorten geringen Alters. Die Verbreiterung des Konfidenzbereichs der Kohorten hohen Alters geht wesentlich auf Unsicherheiten in Migration und Mortalität zurück.

In einem Vergleich der beiden methodischen Zugänge zum Umgang mit Unsicherheiten gilt es insbesondere die Aspekte der Validität der zugrunde liegenden Datenbasis und den Informationsgehalt des Ergebnisses zu diskutieren. Zunächst ist festzuhalten, dass jeder Modellkonstruktion inhärent die Subjektivität des Modellierers

zugrunde liegt. Im Hinblick auf die Handhabung von Unsicherheiten findet die Subjektivität des Modellierers oder Anwenders im Falle der deterministischen Modelle ihren Ausdruck in den Annahmen über begründete Szenarienparameter. Dabei sind nicht allein die unterschiedlich gewählten Größenordnungen eines spezifischen Parameters entscheidend, sondern ebenso die Kombinationen aus verschiedenen Parametern. Ein klares und transparentes Vorgehen erscheint hier von besonderer Bedeutung, um einer Angreifbarkeit der Modellergebnisse zu begegnen. Im Fall der stochastischen Modelle zielt die Anwendung etablierter Verfahren zur Schätzung der Unsicherheiten in den stochastischen Modellkomponenten, wie der Analyse historischer Prognosefehler, der Delphi-Methode und der Zeitreihenanalyse, auf eine Reduktion der Subjektivität. Inwieweit jedoch die einzelnen, aufgeführten Verfahren für eine begründete Charakterisierung der Unsicherheiten geeignet sind, wird durch die Aussagekraft der Methoden begrenzt und verbleibt auch hier letztlich im Beurteilungsspielraum des Modellierers.

Eine besondere Schwierigkeit in der Anwendung der Szenarientechnik besteht in impliziten und oftmals unrealistischen Annahmen über die Korrelationen von Modellkomponenten. Korrelationen zwischen den Komponenten der Bevölkerungsentwicklung ebenso wie Autokorrelationen können trotz eines breiten Spektrums an modellierten Varianten zu einer unzureichenden Erfassung des gesamten Spektrums an möglichen Resultaten führen. Ein stochastischer Ansatz ermöglicht es dagegen, die gesamte Bandbreite aller potenziell interessierenden Ausgangsparameter aus einem Modell in ihrer Gesamtheit abzudecken [Lipps & Betz, 2003].

Letztlich liefern Szenarientechnik und stochastische Modellierung Ergebnisse mit unterschiedlichem Informationsgehalt. Während die Szenarientechnik für jede Variante entsprechend ihrer deterministischen Modellgrundlage exakt ein Resultat ohne Zusatzinformationen über die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens liefert, besteht das Ergebnis einer stochastischen Modellierung aus einer Verteilungsfunktion über die Wahrscheinlichkeiten möglicher Entwicklungspfade. Mit Blick auf den Einsatz in der Politikberatung bedeutet dies eine wertvolle Zusatzinformation zur Beurteilung der Wirkungsweise einzelner Maßnahmen oder Maßnahmenbündel.

Annahmen zum langfristigen Außenwanderungssaldo bis zum Jahr 2050			Annahmen zur Lebenserwartung (LE) im Jahr 2050 bei Geburt (bzw. im Alter von 60 Jahren)		
			M: 78,9 (fernere LE: 22,0)	M: 81,1 (fernere LE: 23,7)	M: 82,6 (fernere LE: 24,9)
			W: 85,7 (fernere LE: 27,7)	W: 86,6 (fernere LE: 28,2)	W: 88,1 (fernere LE: 29,4)
Deutsche	Ausländer/ innen		L1	L2	L3
Schrittweiser Abbau des Wanderungs- überschusses von jährlich 80 000 bis zum Nullniveau im Jahr 2040 (gilt für alle Varianten)	100 000	W1	Variante 1 (niedrigste Bevölkerungs- zahl)	Variante 4	Variante 7 („relativ alte“ Bevölkerung)
	200 000	W2	Variante 2	Variante 5 („mittlere“ Bevölkerung)	Variante 8
	200 000 ab dem Jahr 2011 300 000	W3	Variante 3 („relativ junge“ Bevölkerung)	Variante 6	Variante 9 (höchste Bevölkerungs- zahl)

M = männlich, W = weiblich

Abbildung 6: Übersicht über die neun Varianten der 10. Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes. Im Sinne von Szenarien werden diese Varianten hinsichtlich ihres Einflusses auf die Bevölkerungsvorausberechnung mittels des eingesetzten Kohorten-Komponenten-Verfahrens untersucht. (Quelle: Statistisches Bundesamt 2003)

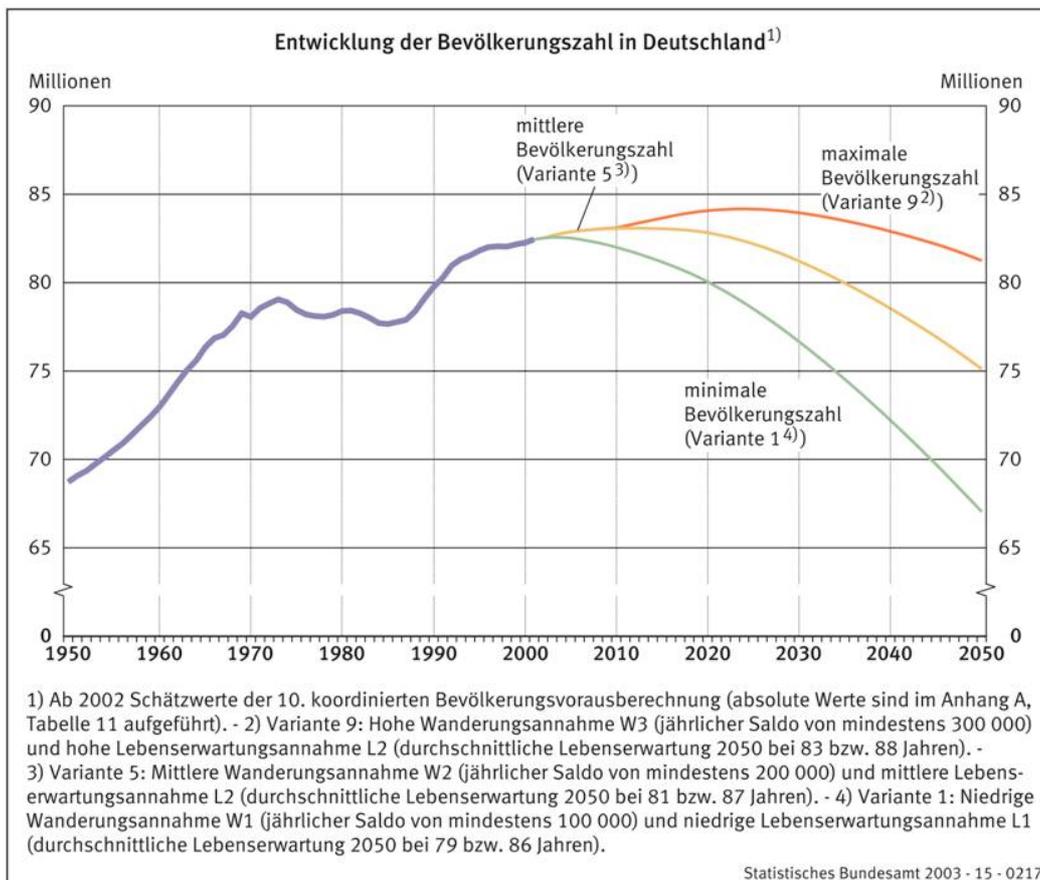


Abbildung 7: Entwicklung der Bevölkerungszahl in Deutschland nach der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Der Einfluss unterschiedlicher Varianten ist ab dem Beginn des Prognosezeitraums im Jahr zunehmend erkennbar. (Quelle: Statistisches Bundesamt 2003)

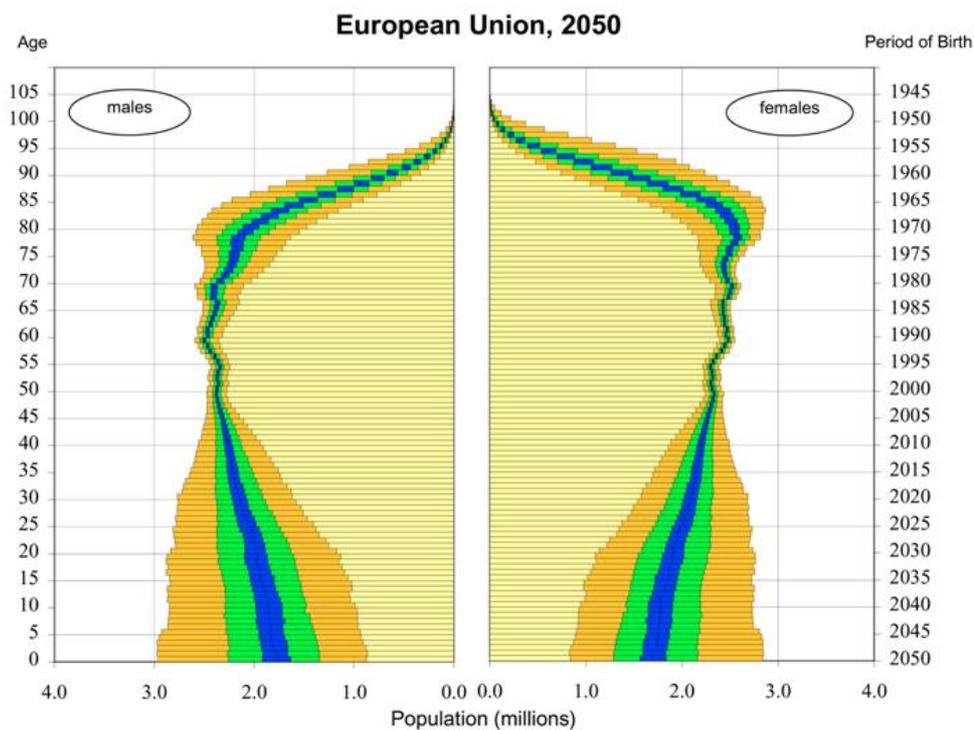
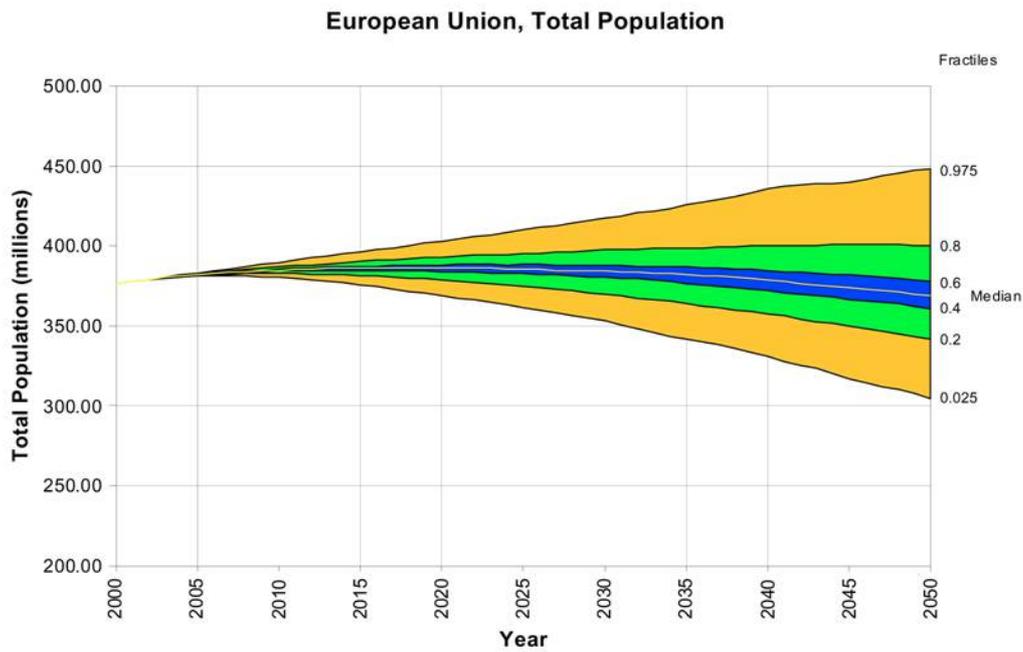


Abbildung 8: Repräsentation von Unsicherheiten bei stochastischer Modellierung der Bevölkerungsentwicklung, hier am Beispiel der Bevölkerung der Europäischen Union, durchgeführt vom *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA) in Laxenburg. Oben die Darstellung zeitliche Darstellung der Gesamtbevölkerungsentwicklung mit drei farblich markierten Bereichen unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit. Unten die vorausberechnete probabilistische Bevölkerungspyramide für das Jahr 2050. (Quelle: Lutz & Schwerbov 2003)

Fazit

Modellierung im Rahmen der demographischen Forschung liegt an der Schnittstelle der Interessen von Wissenschaftlern, Entscheidungsträgern, Planern und Betroffenen. Einzeldisziplinäre und verengte Sichtweisen lösen sich hier zugunsten einer Integration gesellschaftlicher, ökologischer, ökonomischer und politischer Perspektiven auf oder treten in den Hintergrund. Die demographische Modellierung greift hierbei auf das breite Spektrum von Modellierungstechniken zurück, mit dem Ziel der Erklärung historischer Entwicklungen und der Abschätzung zukünftiger Trends. Die Eignung für unterschiedliche Anwendungsgebiete und Fragestellungen wird dabei in entscheidendem Maße von den spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Modellierungstechnik und dem mit ihr gewählten Umgang mit Unsicherheiten und Partialwissen bestimmt.

Literatur

- Axtell, R.L./J.M. Epstein/J.S. Dean/G.J. Gumerman/A.C. Swedlund/J. Harburger/
S. Chakravarty/R. Hammond/J. Parker/M. Parker (2002): Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley. *PNAS*, 99(3):7275–7279.
- Billari, F.C./A. Prskawetz/J. Fürnkranz (2003): The cultural evolution of age-at-marriage norms. In F.C. Billari/A. Prskawetz (Ed.): *Agent-Based Computational Demography*. Heidelberg: Physica-Verlag Springer, 139–157
- Dasgupta, P. (1993): *An Inquiry into Well-Being and Destitution*. Oxford University Press
- Heiland, F. (2003): The Collapse of the Berlin Wall – Simulating State-Level East to West German Migration Patterns. In F. Billari/A. Prskawetz (Ed.): *Agent-Based Computational Demography*. Heidelberg: Physica-Verlag Springer
- Keyfitz, N. (1981): The limits of populations forecasting. *Population and Development Review*, 7(4):579–593
- Lee, R./L. Carter (1992): Modelling and forecasting the time series of us mortality. *Journal of the American Statistical Association*, 87(419):659–671
- Leiwen, J./B.C. O’Neill (2003): Toward a new model for probabilistic household forecasts. Interim Report IR-03-050. IIASA. Laxenburg (Austria)
- Leslie, P.H. (1945): On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33(3):183–212
- Lipps, O./F. Betz (2003): Stochastische Bevölkerungsprognose für West- und Ostdeutschland. Discussion Paper 41–2003. Mannheimer Forschungsinstitut Ökonomie und Demographischer Wandel (MEA)
- Lutz, W./W. Sanderson/S. Scherbov (1996): Probabilistic population projections based on expert opinion. In W. Lutz (Ed): *The future population of the world: What can we assume today?* London: earthscan
- Lutz, W./S. Scherbov (2003): Future demographic change in Europe: The contribution of migration. Interim Report IR-03-066. IIASA. Laxenburg (Austria)

- Lutz, W./S. Scherbov/A. Fürnkranz-Prskawetz/G. Feichtinger (2000): Population, natural resources and food security: Lessons from comparing full and reduced form models. Interim Report IR-00-038. IIASA. Laxenburg (Austria)
- Nerlove, M. (1991): Population and the environment: A parable of firewood and other tales. *American Journal of Agricultural Economics*, 73:1334–1347
- Sharpe, F./A.J. Lotka (1911): A problem in age-distribution. *Philosophical Magazine*, 21:435–438
- Stachowiak, H. (1973): *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer
- Statistisches Bundesamt (2003): *Bevölkerung Deutschlands bis 2050 – 10. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Presseexemplar. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Stoto, M. (1983): The accuracy of population projections. *Journal of the American Statistical Association*, 78:13–20
- Todd, P./F.C. Billari (2003): Population-wide marriage patterns produced by individual mate-search heuristics. In: A. Prskawetz (Ed.): *Agent-Based Computational Demography*. Heidelberg: Physica-Verlag Springer, 117–137
- Wooldridge, M./N.R. Jennings (1995): Intelligent agents: Theory and practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2):115–152

Quantifying Vicious Circle Dynamics: The PEDA Model for Population, Environment, Development and Agriculture in African Countries¹

Wolfgang Lutz, Sergei Scherbov

Abstract. This paper develops a quantitative simulation model linking population parameters and education to land degradation, food production and distribution, and resulting in the proportion of the population which is food insecure. This model is inspired by the Vicious Circle Model of Dasgupta and others, but can be applied more generally to interactions between these variables. The model chooses a population-based approach which groups individuals into eight categories as defined by rural/urban place of residence, literacy status and food security status. Using the tools of multi-state population projections, each group is simulated by age and sex. The model links this population module to an agricultural production function and a food distribution function which considers the fact that not all people have equal access to the food produced. This model has been applied to several African countries. Here it is illustrated with an application to Burkina Faso.

1 Introduction: Population-Environment Models

Broadly speaking, in the field of population-environment models we can distinguish between two kinds of approaches: 1) comprehensive models that try to assess the full range of population-environment interactions for a specific region, and 2) other models that limit the focus to specific assumed chains of causation and therefore tend to be more focused and theory-driven. Both approaches can contribute to the better understanding of this complex field of studies. Both have their strengths and weaknesses. The more comprehensive (holistic) approach (1), which tries to evaluate all relevant factors, can help us to better understand the relative contribution of specific factors to the full picture. The series of PDE (Population-Development-Environment) case studies conducted by IIASA in different parts of the world are a good example for such comprehensive studies, which try to incorporate all relevant factors. The PEDA model presented in this paper follows the other, substantively more focused, strategy (2). It attempts to quantify one specific causal path which actually is an assumed loop or circle that follows a clearly-defined theoretical model. It is restricted to portraying factors that are relevant to that specific mechanism, leaving out all others. This approach is more in line with the tradition of economic modeling that tends to make *ceteris paribus* assumptions on all factors that

¹ Der Beitrag wurde erstmals veröffentlicht unter: Lutz, W./S. Scherbov (2000): Quantifying vicious circle dynamics: The PEDA model for population, environment, development and agriculture in African countries. In: E.J. Dockner/R.F. Hartl/M. Luptacik/G. Sorger (Hg.): Optimization, Dynamics, and Economic Analysis. Essays in Honor of Gustav Feichtinger. Heidelberg. Physica Verlag, 311-322. Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Physica Verlags.

are not directly relevant to the hypothesis studied, even though such factors may be very significant for the future of a country under a more comprehensive approach. For planning purposes and science-policy interactions, both the more comprehensive and the focused approaches have their virtues and shortcomings. In an ideal world a comprehensive super-model may incorporate several focused models, but this is difficult to achieve and may, indeed, suffer from some of the well-known shortages of mammoth models.

PEDA has been commissioned by the United Nations Economic Commission for Africa (UN-ECA) as an advocacy tool at the national level. In this it should compare with the widely used RAPID models but with a different focus and – this was the precondition of the authors' participation – a strong scientific foundation. It is meant to do advocacy not for any specific policy but for policies to take account of the strong existing nexus between population, environment and agricultural development. By the end of 1999 PEDA will have been initialized for six African countries (Burkina Faso, Cameroon, Madagascar, Mali, Uganda, and Zambia). It is planned to be applied to several more African countries in which food insecurity is a serious issue.

2 Focusing on the Vicious Circle Model (VCM)

In recent years a theoretical model, often labeled the “vicious circle model,” has become a very influential paradigm for describing the interactions between population growth, low status of women and children, environmental degradation and food insecurity. It is essentially an extension of the basic neoclassical economic model which adds a poverty trap based not on the macroeconomic reasoning of Malthus, but on microeconomic effects at the household and community level (O'Neill et al. 1999). This model is based on the assumption that high fertility, poverty, low education and low status of women and children are bound up in a web of interactions with environmental degradation and declining food production, in such a way that stress from one of these sources can trap certain rural societies, especially those living in marginal lands, into a vicious circle of increasingly destructive responses.

Dasgupta (1993) presents this argument in a generalized form. The condition of poverty and illiteracy of the households concerned prevents substitution of alternative fuel sources or alternative livelihoods. A gender dimension is being added through the fact that the low status of women and girls also devalues the increasing amount of time and effort that they must devote to daily fuelwood gathering (Agarwal 1994; Sen 1994). The education of girls is blocked because girls are kept at home to help their mothers. The result is faster population growth, further degradation of the renewable resource base, increasing food insecurity, stagnating education levels, and yet a further erosion of women's status.

Leaving aside its actual empirical relevance, this vicious circle reasoning presents an important contribution to theory: it provides a unified framework for fertility, poverty, low female status and environmental degradation, which is also politically attractive because it explicitly addresses equity concerns. In this spirit, PEDAs has been developed as a model that among other things can help quantify assumed vicious circle dynamics at the level of individual African countries. The PEDAs model (as summarized in Figure 1) can be set up in a way that rapid population growth due to high fertility of the illiterate, food-insecure population in marginal rural areas² contributes to further degradation of the land, thus lowering agricultural production and further increasing the number of food-insecure. If not broken this vicious circle would lead to ever increasing land degradation and increases in the food-insecure population. The circle can be broken, however, through several possible interventions in the field of food production, food distribution, education, environmental protection and population dynamics. Such a quantitative model can help policy makers and other users to (a) view these interconnected aspects, and (b) think in terms of alternative outcomes of alternative policy scenarios.

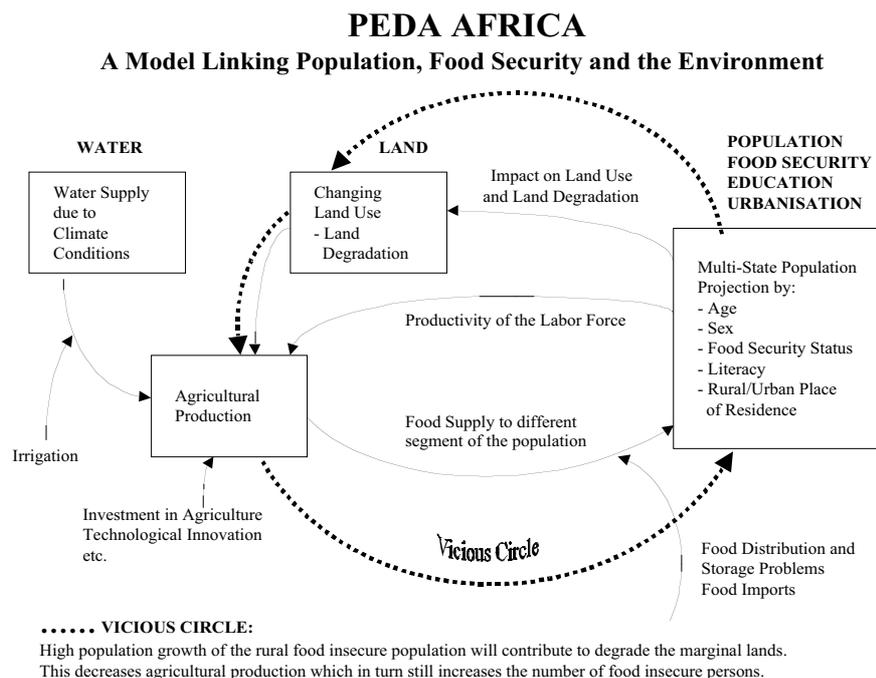


Figure 1. Basic structure of the PEDAs Model.

² Unlike some of the theoretical models, PEDAs does not assume that fertility increases due to land degradation. Fertility is an exogenous variable here for which scenarios can be set by the user for each of the eight sub-populations.

two dimensions which are core elements of the vicious circle reasoning as specified in this setting. Education, or more precisely literacy status, has been introduced into the model as one of the assumed key sources of population heterogeneity, which is related to both agricultural production and land degradation. Significant educational fertility differentials give the explicit consideration of education in the model a strong rationale. There is abundant literature on the significance of literacy in population-development-environment interactions (see, e.g., Lutz 1994). The potential of explicitly including education as a demographic dimension in multi-state population projection models has recently been evaluated (see Lutz et al. 1999) and is strongly recommended in the case of educational fertility (or other behavioral) differentials.

Each of these eight sub-groups further subdivides the population by age and sex, i.e., every one of the eight groups has its own age pyramid. During each one-year simulation step, a person will move up the age pyramid by one year within the same sub-group, or move to another sub-group while aging by one year. The movements between groups that are possible within each step are shown by arrows in Figure 2. For education and rural/urban migration, the model is hierarchical, i.e., people can only move in one direction, from lower to higher education and from rural areas to urban areas. Movement between food security states can happen in both directions, depending on the food conditions in the relevant year.

3.1 Fertility and mortality

In addition to the movements between sub-groups, each of the groups also experiences the vital events of births and deaths. Different sets of age-specific fertility rates are applied to the female populations in each of the sub-groups. The data for the starting year are based on empirical information about differential fertility rates by education and urban/rural place of residence. Fertility differentials by food security status typically need to be assumed because of the absence of empirical information. For the future years, fertility within each sub-group can either be held constant or be changed according to an assumed linear trend.

Age- and sex-specific mortality rates can also be set up independently for the different groups. This can have important implications for population dynamics since the food-insecure groups can be expected to have much higher mortality rates than the food-secure groups. Unfortunately, since almost no empirical information exists on these mortality differentials, most of the differentials have to be based on assumptions. Sensitivity analysis can then demonstrate the implications of different assumptions. Of course, special survey information on this could provide the necessary empirical data.

3.2 Education and rural/urban migration

As indicated above, it is assumed that persons can only move from the illiterate to the literate state, but if considered important, secondary illiteracy can be incorporated relatively easily. For simplicity, it is assumed that all education takes place in childhood, but again, adult literacy campaigns can be incorporated, if necessary.

In the model the transition to literacy can be defined in terms of the total educational transition rate, which defines the proportion of each cohort of girls or boys that will become literate.

In a similar fashion, the level of rural to urban migration can be defined through the total migration rate, giving the proportion of each rural cohort to move to urban areas. The only difference to education is that the migration is assumed to be less concentrated in a specific age group, but is spread over a broader age range according to typical age-specific migration patterns.

4 Land, Water and Agricultural Production

As indicated in Figure 1, the population module, i.e., the population by age and sex in the eight defined categories and for each year in time, affects the total agricultural production in two different ways. The productivity of the rural labor force as measured by the proportion literate of the rural population of productive age will directly enter the agricultural production function as discussed below. The other chain of causation is a direct reflection of the vicious circle reasoning: the factor land is degraded as a function of the increase in the number of people in the rural, food-insecure and illiterate category. In the current version of PEDDA this impact is operationalized in the following manner: the total amount of high quality agricultural land enters the production function in an index form which is assumed to combine quantity and quality aspects. The higher the increase (as compared to the starting conditions) in this critical group of food-insecure, rural, illiterate population, the more this land factor will decline. The user can set a scenario variable, the land degradation impact factor, that determines to which degree a certain percentage increase in this critical population impacts on the land index.

Water is another important environmental factor for food security and agricultural production. No life can exist without water. And certainly no economic or human development is possible without water. But water only becomes a problem for food production if the demand (including household consumption and industrial consumption in addition to agricultural demand) exceeds the supply. Water supply, however, can vary greatly according to short- and long-term natural fluctuations in rainfall. It is greatly influenced by the surface structure, the pattern of river basins and groundwater systems, and it can be strongly influenced by human engineering (dams, irrigation, etc.). Because water is so important for sustainable development and follows complex non-linear dynamics, the PDE models developed by IASA all

have water modules that tend to be at least as complex as the population modules. For PEDDA, however, water modeling is not a prime focus. In the vicious circle model, water only matters as one additional exogenous factor that can have impacts on the total food production, especially with respect to drought on the one hand, and irrigation efforts on the other. For this reason PEDDA treats water as an index variable (with 1.0 reflecting the average conditions around the starting year) that can be enhanced through irrigation or natural changes and diminished through declines on water supply.

The total agricultural production in one year, measured in total calories produced, will then be a result of the input in terms of human labor force by different educational levels, water, land, and technological inputs such as fertilizers, mechanization, etc. Those additional inputs will also be treated in terms of externally-defined scenarios because these factors are not assumed to depend directly on other variables of the PEDDA model. (If a user, however, wants to make, e.g., the rate of new agricultural investment dependent on population growth in either a positive or negative way, it is not difficult to do so and study the alternative results.) The specific agricultural production function used here is a Cobb-Douglas type production function estimated on time series data for a large number of developing countries, and has been derived from an internationally highly renowned book in the field (Hayami and Ruttan 1971, p. 145, Q 19): $.534 * \text{Rural Labor Force (specified here as total rural adult population aged 15-60, calculated from combining the appropriate age groups in all four rural sub-groups)}$; $.088 * \text{Total Agricultural Land (can be modified through land degradation or the clearing of new land as discussed)}$; $.162 * \text{Fertilizer Use (will be treated as an exogenous scenario variable)}$; $.072 * \text{Tractors Available (will be treated as an exogenous scenario variable called more broadly "mechanization")}$; $.276 * \text{Literacy (specified here as the proportion literate of the total rural population aged 10-45, calculated by combining both the food-secure and the food-insecure rural literate sub-populations)}$; $.158 * \text{Technical Education (still treated here as an exogenous scenario variable, may later be related to the educational efforts parameter)}$.

All these input variables to agricultural production are considered here on a relative scale, i.e., they are set to equal 1.0 in the starting year, and then change over time as it results from the other sectors of the model for the endogenous production factors or as defined in the scenario setting for the exogenous variables. (For example, an assumed increase in fertilizer input of 20 percent by 2003 would mean that the variable is set to gradually increase to 1.2 by that year.)

Unfortunately, in reality, not all the production will be consumed by individuals to satisfy their food needs. Some calories will be lost during the treatment of the food, others will be lost during transport and some will be lost due to inadequate storage. Of the food that will actually reach people for consumption, a certain fraction will go to urban areas and another to rural areas. All these factors can be assumed in

PEDA as scenario variables specific for a country and can be changed over time, or alternative starting values can be assumed. More specifically, in the model there are three different scenario variables that the user can set: loss in transport and storage, food import/export, and an urban bias factor. The latter determines to what degree the total available food should be disproportionately distributed between urban and rural areas. If this factor is 1, then food will be distributed according to the population size of urban and rural areas. Within these areas, however not everybody will receive an equal amount of food. Reality shows that there are gross inequalities in access to food and therefore, PEDA has an explicit food distribution module.

5 Food Distribution

Even when the total amount of food reaching the (urban and rural total) population would be theoretically sufficient to provide the necessary minimum diet for everybody, in practice the distribution of food is unequal because some persons do have more purchasing power than others or have privileged access to food by other means. This will result in the fact that some people remain food-insecure even when the average total amount of food reaching the population is above the minimum.

There is abundant empirical evidence, backed up by theoretical considerations, clearly showing that the distribution of food is at least as important as the total production of food in explaining food insecurity. Especially the path-breaking work of Amartya Sen (1994) demonstrated that some of the worst famines occurred under conditions in which theoretically there would have been enough food for everybody if the distribution had been appropriate. For this reason it is evident that a model focusing on food security without paying attention to the distributional aspects would be incomplete, if not misleading. The main problem with considering such distributions, however, lies in the fact that hardly any empirical data exist on distributive mechanisms in the countries of Africa today, and that theoretical distributions are hardly appropriate because conditions tend to vary significantly from one country to another. As a solution to this problem, in PEDA we chose to approximate the food distribution function through an income distribution function, which exists for a number of African countries based on household income surveys. This allocation of food to urban and rural populations and the food distribution within these populations then determines the new sizes of the food-secure and food-insecure sub-populations in the following year.

Figure 3 shows such a food distribution function that is applied after allocating the total available food to urban and rural populations (according to an exogenously-defined “urban bias” variable). This figure shows a Lorenz curve with the cumulated proportion of the population on one axis and the cumulated calories available for distribution on the other. The available food is then distributed from left to right along the black curve. The given curve indicates that in this case, the first (most privileged) 10 percent of the population use 30 percent of the available food. Going

further down the curve, about 23 percent of the population use half of the food, and half of the population uses 75 percent of the food. The borderline between the food-secure and the food-insecure population is then established by applying an externally-defined minimum calorie requirement per person. At the point where the remaining food supply falls below the minimum requirement times the remaining population, the border line for the population considered to be food-insecure is established. Over time the proportions food-insecure may change as a consequence of changes in the calories available for distribution or possible changes in the assumed food distribution function.

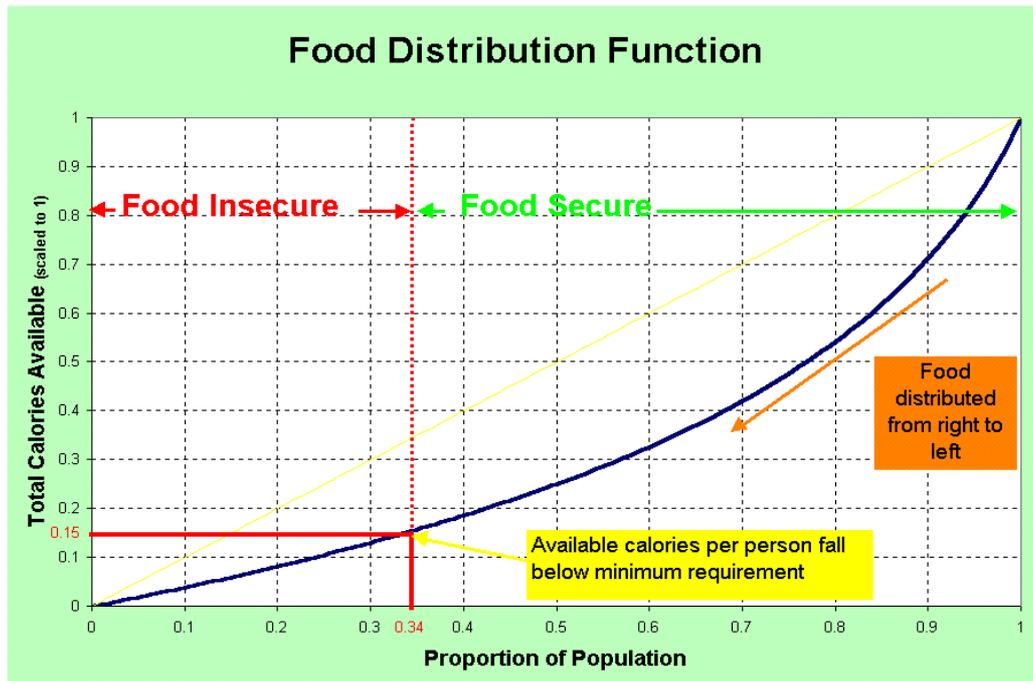


Figure 3. Food distribution function.

6 Operationalization and Sample Application to Burkina Faso

PEDA needs empirical data primarily for the starting conditions, for the transition rates between the different population groups, and for the factors associated with food production and food distribution. Since data sources for many African countries are limited, some of these data need to be based on estimations and assumptions. For the starting year one must have the distribution of the population by age: in 100 single-year age groups, sex (female/male), food security status (food secure/food insecure as defined below), literacy (literate/illiterate according to the UNESCO definition) and urban/rural place of residence (according to the national definition of a town). If the information is not readily available, one must estimate some of the distributions, as will be discussed below.

Before the model can be applied to a new country, it needs to be initialized. If all data would be readily available by single years of age, this would be a relatively straightforward process of entering data. Unfortunately, only a few countries in the

world have this kind of data available, and none of them are in the African region. Hence, the process of initializing the model for African countries requires quite elaborate estimation techniques whose specific nature will vary from case to case, depending on the kind of empirical information available. In most cases, this requires special skills in mathematical demography and the programming of macros for spreadsheets. For this reason the process of initialization will not be described here. For the following description we assume that a country application has already been initialized.

The model is based on Excel and will run under Windows 95, 98, NT, 2000. It should run on any standard PC (given that all the necessary libraries have been installed) but the performance will depend on the speed of the hardware.

The model runs in single years of time. In the first year the people that are members of the eight different sub-groups will impact in two independent ways on the rest of the model. This is indicated in Figure 1 of the vicious circle by the two solid arrows leaving the population box on the right. Together with the other input factors these population factors will then result in a certain total calorie supply in the following year ($t+1$). After adjustments for loss and import/exports in that year, the above-described food distribution function will then determine the proportions considered food secure and insecure in urban and rural areas. Together with the demographic transition rates (fertility, mortality, migration, education, etc.) applied between time t and $t+1$ this food distribution will then result in the new distribution of the total population by age and sex over the eight states at time $t+1$. This population will then serve as input to the agricultural production at time $t+2$, and so on.

We choose Burkina Faso as an example of a country that has already been initialized. It is a country with high food insecurity, high illiteracy, very high fertility and land degradation problems, which are rather typical for the whole Sahel region. For this application all data have been derived from internationally available sources. Missing data had to be estimated using various indirect procedures. It is, of course, desirable to ultimately run the model with as much empirical data as possible. This needs to be collected in collaboration with local scientists.

Current fertility levels in Burkina Faso are still very high. According to surveys, the rural illiterate population has a TFR of almost seven. The rural literate and the urban illiterate populations have rather similar fertility levels around five. Only the urban literate population has levels slightly below four. Because of a lack of empirical information about fertility by food security status, we assumed in these illustrative scenarios equal fertility levels for the food secure and insecure. These high fertility levels together with the fact that about three out of four women in Burkina Faso are rural and illiterate lets us expect very rapid population growth under the constant rates scenario.

The following four scenarios have been defined for illustration: *Constant Rates*: All parameters (including fertility and school enrolment) remain at their 1996 levels; *Increased Technological Inputs*: Fertilizer use, machinery and irrigation all increase by 3 percent per year (other parameters constant); *Strong Educational Efforts*: 80 percent of all girls and 90 percent of all boys learn to read and write (other parameters constant); *Combining Increased Technological Inputs, Strong Educational Efforts and Fertility Decline*: Levels decline to half of their 1996 values by 2030.

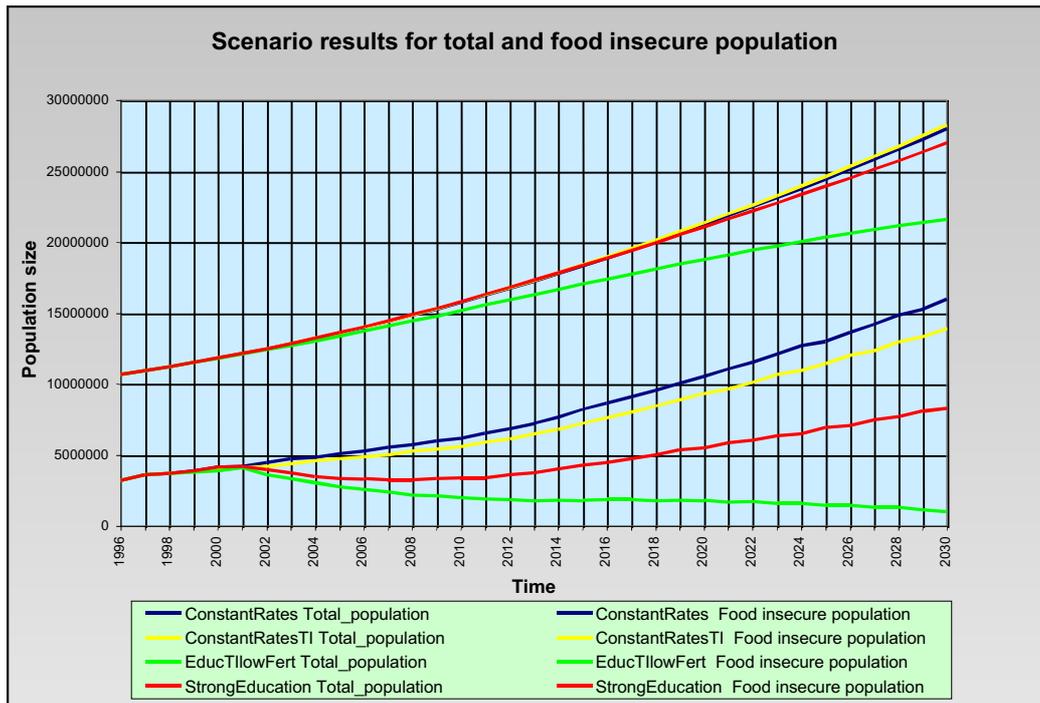


Figure 4. Scenario results for Burkina Faso for the total population (top lines) and for the food insecure population (bottom lines).

Figure 4 shows the results for the four scenarios for Burkina Faso to the year 2030 giving the total population (all eight sub-groups combined) and the food-insecure population (all four food-insecure sub-groups combined) in two separate sets of lines.

The constant rates scenario shows that over these 35 years the total population would increase by a factor of almost three. The food insecure population grows even more rapidly under this scenario with the proportion food insecure increasing from around 30 percent to more than 50 percent in 2030.

Adding the increased technological inputs to otherwise constant parameters does not affect the total population size but has a visible impact on reducing food insecurity which, under this scenario, would not reach 50 percent by 2030.

Adding the educational efforts to otherwise constant parameters (and no increased technological inputs) already has a visible impact on reducing total population size (through lower fertility of educated women) and also shows a very sizeable effect on reducing food insecurity (through the additional effect of higher productivity).

It is interesting to note that the effect of increased educational efforts only starts to become visible with a certain time lag, because education is concentrated in the younger ages that will only later enter the reproductive ages and the labor force. Hence in the very short run increased technological input has a great immediate effect, but in the longer run the educational effect is by far more important (at least under the specific assumptions made in this example). The decline in food insecurity brought along by education alone is not sustainable, however. After 2010-15 the proportion food-insecure starts to increase again because the still very high rates of population growth will outweigh the improvements in agricultural production.

Only the fourth scenario, combining the increased technological inputs with the education efforts and an assumed gradual halving of fertility rates by 2030, will result in a sustainable decline in the proportion food-insecure and in a path of total population growth that would “only” result in a doubling of the population by 2030.

As stated above, these four illustrative scenarios result from four specific rather *ad hoc* choices of model parameters. They provide some interesting stories and insights into the dynamics of the system. Other scenarios may tell other stories. The user of PEDDA can calibrate innumerable different scenarios based on different parameter assumptions that he/she may find interesting or worth communicating to the policy makers.

It is our hope that this effort of trying to quantify vicious circle dynamics for specific African countries presents a useful step in further advancing work on the model itself, empirical applications to real world conditions, interdisciplinary dialogue on population-environment interactions, and finally, science-policy dialogue on the importance of dealing with these interconnected issues in an integrated manner.

References

- Agarwal, B. (1994): The Gender and Environment Debate: Lessons from India. In: L. Arizpe/M.P. Stone/D.C. Major (Ed.): Population and the Environment: Rethinking the Debate. Boulder: Westview Press, CO, 97-124
- Dasgupta, P.S. (1993): An Inquiry into Well-Being and Destitution. Oxford U.K.: Oxford University Press
- Hayami, Y./V. Ruttan (1971): Agricultural Development: An International Perspective. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press

- Lutz, W. (Ed.) (1994): Population-Development-Environment: Understanding their Interactions in Mauritius. Berlin: Springer Verlag
- Lutz, W./A. Goujon/G. Doblhammer-Reiter (1999): Demographic Dimensions in Forecasting: Adding Education to Age and Sex. In: W. Lutz/J.W. Vaupel/D.A. Ahlburg (Ed.): Frontiers of Population Forecasting. A Supplement to Vol. 24, 1998, Population and Development Review. New York: Population Council, 42-58
- O'Neill, B.C./F.L. MacKellar/W. Lutz (1999): Population and Climate Change. To be published by Cambridge University Press, forthcoming
- Sen, A. (1994): Women, Poverty, and Population: Issues for the Concerned Environmentalist. In: L. Arizpe/M.P. Stone/D.C. Major (Ed.): Population and the Environment: Rethinking the Debate. Boulder: Westview Press, CO, 67-86

Die Bevölkerungsdynamik im Syndrom-Ansatz des PIK

Matthias Lüdeke

1 Einleitung

Der Syndromansatz strebt an, problematische Mensch-Naturinteraktion musterhaft zu erfassen. D. h. hier ist der Gedanke des typischen Musters im Vordergrund, das eine Form darstellt, mit Regionalisierungs- und Verallgemeinerungsproblemen umzugehen, wie sie häufig diskutiert werden. Die Hypothese, die das Syndromkonzept verfolgt, kann kontrastierend so dargestellt werden, dass man nicht versucht, von einem oder wenigen „First Principles“ aus die Gesamtheit der Phänomene zu erklären, sondern dass man (hoffentlich) eine übersichtliche Anzahl von typischen Mustern finden kann, die die relevanten Phänomene des Globalen Wandels erfassen. Diese typischen Muster oder Syndrome des Globalen Wandels sollen dann jeweils den Ausgangspunkt für genauere, transdisziplinäre Untersuchungen darstellen.

Wir unterteilen die Syndromanalyse in einen diagnostischen Teil, der die Bestandsaufnahme des gegenwärtigen globalen Wandels in den Vordergrund stellt und einen eingeschränkt prognostischen Teil, der auf Handlungsoptionen zur Syndrom-Mitigation zielt.

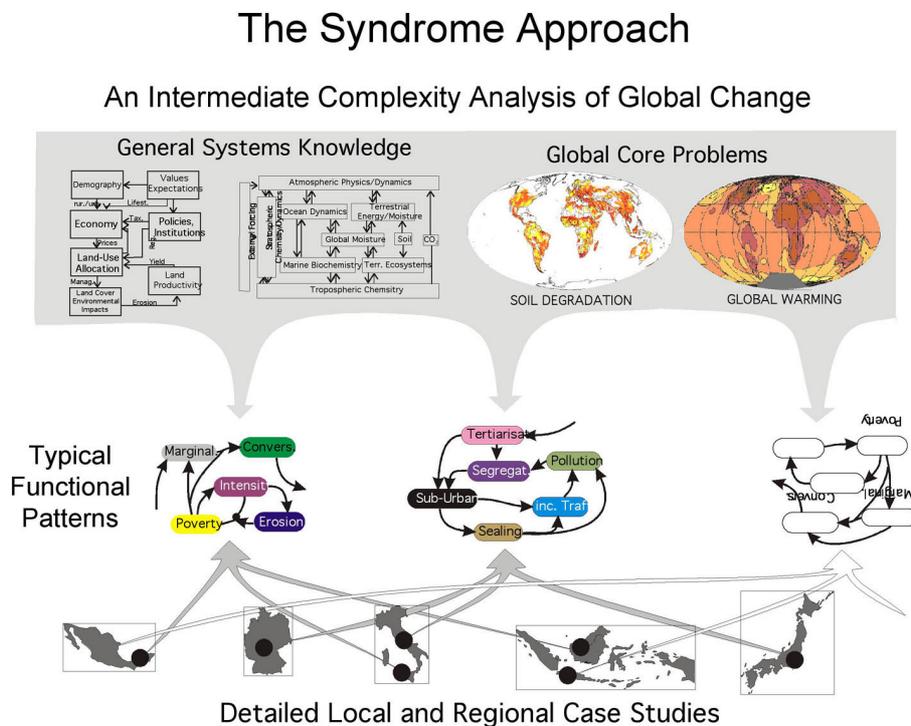


Abbildung 1: Analyseschema

Die Syndrome des globalen Wandels umfassen das Verhältnis von Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen, soweit es mit globalen Umweltproblematiken verknüpft ist, wobei eine niedrigere funktionale Auflösung erreicht wird als z. B. im PEDDA-Modell angestrebt ist, da das Ziel im Erfassen des Typischen und Verallgemeinerbaren im Sinne eines globalen Überblicks liegt. Wir glauben jedoch, dass die Methodik der Syndromanalyse auch verwendet werden kann, um mehr ins Detail zu gehen, weil sich letztlich die Verallgemeinerungsprobleme auf jeder räumlichen und funktionalen Skala wiederholen.

Der Bezug zu Bevölkerungsentwicklung und Versorgungssystemen soll nun beispielhaft am Sahel-Syndrom, dem Favela-Syndrom, dem Urban-Sprawl-Syndrom und dem Grüne-Revolutionen-Syndrom erläutert werden. Das Sahel-Syndrom thematisiert den Zusammenhang zwischen ländlicher Armut, mangelnder Entwicklung der Ressourcenproduktivität und Landflucht und greift damit wichtige Aspekte auf, die auch dem PEDDA-Modell zugrunde liegen. Das Favela-Syndrom befasst sich mit dem Komplex des unkontrollierten Stadtwachstums in Entwicklungsländern, in erster Linie angetrieben durch Landflucht. Das Urban-Sprawl-Syndrom thematisiert die Zersiedlung der Landschaft um städtische Agglomerationen in Industrieländern mit den vieldiskutierten Folgen für Umwelt und öffentliche Budgets und schließlich das Grüne-Revolutionen-Syndrom die unerwarteten Nebenwirkungen von angebotsorientierten und technokratischen Maßnahmen zur Bekämpfung der Armut.

Abbildung 1 zeigt grob, wie wir die Syndrome angelegt sehen: als Mechanismus-Muster mittlerer funktionaler Auflösung, hier unter „Typical Functional Patterns“ gefasst. Die Hypothese ist, dass man unter Verwendung generellen Systemwissens über einzelne Sektoren aus disziplinärer Sicht, zusammen mit detailliertem Fallstudienwissen (in der untersten Zeile von Abb. 1), eine mittlere Ebene funktionaler Auflösung erreichen kann. Dies bedeutet eine Verallgemeinerung der Kenntnisse, die aus detaillierten Fallstudien gewonnen wurden und gleichzeitig (meist) eine Differenzierung allgemeiner theoriegeleiteter Aussagen zur Funktionsweise einzelner Sektoren.

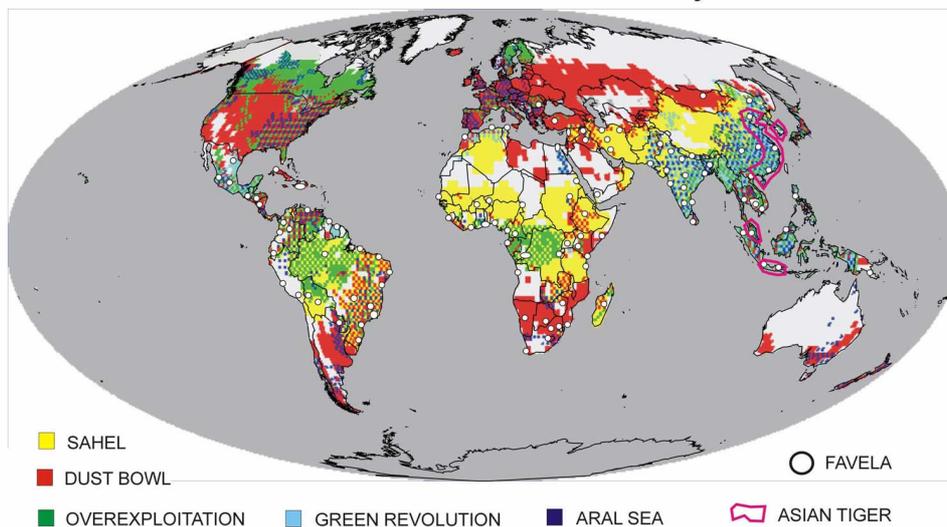
2 Syndrom-Diagnose

In Abb. 2 wird beispielhaft gezeigt, wie das Resultat einer globalen Syndromdiagnose aussieht. Nachdem typische Ursache-Wirkungs-Muster gefunden wurden (einige der hier gezeigten Syndrome werden später noch detaillierter erläutert), zeigt diese Karte deren globale Verteilung in den 90er Jahren. Im Unterschied zu globalen Karten, die in der Global Change Forschung üblicherweise gezeigt werden, verortet Abb. 2 nicht Auftreten und Intensität einer *Problemlage* (Armut, Bodendegradation, Verschuldung etc.), sondern das Auftreten eines bestimmten *Ursache-Wirkungszusammenhangs* problematischer Mensch-Umwelt-Interaktion. Die Indizierung des Auftretens der hier untersuchten 7 Syndrome (derzeit sind 16 Syndrome postuliert) wurde auf der Basis von etwa 60 Indikatoren durchgeführt, die in verschiedenen

räumlichen Auflösungen und angestrebter globaler Abdeckung vorlagen. Wegen der Lücken in den Datensätzen zeigt die Karte zuverlässiger das Auftreten als die Abwesenheit der Syndrome. Die räumliche Auflösung der Karte ist ein $2^\circ \times 2^\circ$ -Raster, wobei im Falle der „Koexistenz“ verschiedener Syndrome in einer solchen Rasterzelle die entsprechenden Farben schachbrettartig angeordnet sind.

Nordost-Brasilien etwa ist gekennzeichnet durch ein gelb-rotes Schachbrettmuster, was das gleichzeitige Auftreten des Sahel- und Dust-Bowl-Syndroms anzeigt. Ersteres ist nahe am in PEDA diskutierten Teufelskreis zwischen Verarmung und Degradation während Letzteres die Umwelt- und Ressourcendegradation durch kapitalintensive Landwirtschaft charakterisiert. Beides existiert nebeneinander und steht wahrscheinlich in Wechselwirkung (Stichwort: Großbauern-Kleinbauern-Konflikt). Dennoch ist die Hypothese, dass die beiden Mechanismenmuster zunächst sinnvoll getrennt behandelt werden können. Dies wird im globalen Maßstab durch die Karte gerechtfertigt: es tritt in vielen Regionen eines der beiden Syndrome in „Reinform“ auf. Es könnte jedoch sein, dass in Regionen des „Gelb-Rot-Schachbrettmusters“ (z.B. in Kenia) die Wechselwirkungen zwischen den Syndromen wichtiger sind als deren endogene Dynamik – sollte sich dies erweisen, wäre ein neues typisches Ursache-Wirkungsmuster einzuführen (eben das „Großbauern-Kleinbauern-Syndrom“). In soweit ist die Syndromanalyse als Prozess zu begreifen, der auch immer wieder die typische systemtheoretische Frage nach den (Sub-)Systemgrenzen thematisiert.

Global Distribution of Selected Syndromes



Based on 60 indicators with global coverage. Uncharted regions: absence of selected Syndromes or data gaps.

Lüdeke/Petschel-Held/Schellnhuber 2004, Gaia 1/04

Abbildung 2: Räumliche Verteilung von 7 Syndromen in den 90er Jahren

3 Syndrome, Bevölkerungswachstum und Versorgungssysteme

Tabelle 1 zeigt den derzeitigen Stand der Syndromidentifizierung. Der Anspruch ist, dass alle in ihrer Summe global relevanten Fälle von problematischem Umweltwandel in diesen Satz von 16 typischen Mustern einzuordnen sind. In der Liste sind Kurzcharakterisierungen enthalten, die ahnen lassen, was der jeweilige Grundgedanke ist – für eine genauere Erläuterung der 16 Ursache-Wirkungsmuster muss auf die Literatur verwiesen werden (Lüdeke / Petschel-Held / Schellnhuber 2004; WBGU-Gutachten 1994, 1996, 1997; Veröffentlichungen zu einzelnen Syndromen: siehe Literaturliste).

Die Grundstruktur dieser Liste stammt aus der Mitte der 90er Jahre und derzeit ist eine „zweite Runde“ der Syndromidentifikation in Vorbereitung („syndromes revisited“), wo wir auf ähnliche Weise, wie die erste Liste entstanden ist, mit einem interdisziplinären Expertengremium arbeiten wollen, das, unbeeinflusst von der alten Aufteilung des problematischen Wandels, eine erneute induktive Identifikation typischer Muster durchführen soll. Leider ist dies keine optimale „Versuchsanordnung“ zur Aufdeckung der Bestimmungsfaktoren der Syndromwahl, da das Expertengremium ein anderes sein wird (wir werden mehr Wert auf eine internationale Besetzung legen), der Prozess des Globalen Wandels zehn Jahre fortgeschritten ist und die Wahrnehmung – auch in Expertenkreisen – sich gewandelt haben kann. Dennoch werden mögliche Persistenzen (die, wie wir aus aktuellen Diskussionen abschätzen können, beträchtlich sein werden) sowie Neuerungen und Umgruppierungen interessante Einsichten in den Nettoeffekt der obigen 3 Wandelformen erlauben.

Syndromliste: typische Muster problematischen Globalen Wandels

Utilization syndromes	
Sahel Syndrome (*)	Overcultivation of marginal land
Overexploitation Syndrome (*)	Overexploitation of natural ecosystems
Rural Exodus Syndrome	Environmental degradation through abandonment of traditional agricultural practices
Dust Bowl Syndrome (*)	Non-sustainable agro-industrial use of soils and water
Katanga Syndrome	Environmental degradation through depletion of non-renewable resources
Mass Tourism Syndrome	Development and destruction of nature for recreational ends
Scorched Earth Syndrome	Environmental destruction through war and military action
Development syndromes	
Aral Sea Syndrome (*)	Environmental damage of natural landscapes as a result of large-scale projects
Green Revolution Syndrome (*)	Environmental degradation through the adoption of inappropriate farming methods
Asian Tiger Syndrome (*)	Disregard for environmental standards in the context of rapid economic growth
Favela Syndrome (*)	Environmental degradation through uncontrolled urban growth
Urban Sprawl Syndrome	Destruction of landscapes through planned expansion of urban infrastructures
Disaster Syndrome	Singular anthropogenic environmental disasters with long-term impacts
Sink syndromes	
High Stack Syndrome	Environmental degradation through large-scale dispersion of emissions
Waste Dumping Syndrome	Environmental degradation through controlled and uncontrolled waste disposal: Waste Dumping Syndrome
Contaminated Land Syndrome	Local contamination of environmental assets at industrial locations

Tabelle 1: Syndromliste, derzeitiger Stand

Besonders eng mit Bevölkerungsdynamik verknüpft sind nun das Sahel-, Favela-, Urban-Sprawl- und das Grüne-Revolution-Syndrom (siehe Tab.2). Im Sahel-Syndrom spielt das Bevölkerungswachstum auf dem Land und die armutsgetriebene Migration in die Städte, also Landflucht, eine wichtige Rolle. Dies hat was Rückwirkungen auf die Produktivität des ländlichen Raums – das landwirtschaftliche Versorgungssystem. Die Änderungen in der Zusammensetzung der ländlichen Bevölkerung (Frauenanteil, Altersverteilung) wirkt sich ebenfalls auf die landwirtschaftliche Produktivität aus. Dann haben wir das Favela-Syndrom, das ungeplante Wachstum der städtischen Agglomerationen in Entwicklungs- und Schwellenländern, das wesentlich auch durch diese Landflucht angetrieben wird, wobei das natürliche Bevölkerungswachstum in den Städten ebenfalls eine Rolle spielt. Die Folgen in den Städten (besonders in den Slum-Gürteln) sind viel diskutiert und reichen von den Konsequenzen fehlender Infrastrukturentwicklung für Mensch und Umwelt bis zur Entwicklung informeller Ökonomien mit deren ambivalenten Auswirkungen. Die Form der Stadtentwicklung, die durch das Urban-Sprawl-Syndrom beschrieben wird, bezieht sich dagegen auf die Ausdehnung der Städte in ihr Umland mit niedriger Besiedlungsdichte, wie sie zuerst in den USA („Suburbia“) und später auch in Europa und anderen Teilen der industrialisierten Welt anzutreffen ist. Hier spielt die Migration aus den verdichteten städtischen Zentren in die Peripherie die treibende Rolle. Durch die niedrige Dichte entstehen hohe Kosten für die Bereitstellung der Versorgungssysteme und der Verkehrsinfrastruktur, die stark auf Individualverkehrsmittel ausgerichtet ist, da der ÖPNV der Flächigkeit dieser Besiedlungsform nur schwer gerecht werden kann. Verkehrsemissionen und die Zerstörung oder Fragmentierung von Ökosystemen sind neben den hohen Kosten, die oft nicht von den Nutznießern dieser Siedlungsform getragen werden, relevante mit diesem Syndrom verknüpfte Problemlagen.

Schließlich ist das Grüne-Revolution-Syndrom zu nennen, das den teilweise fehlgeschlagenen Versuch beschreibt, auf Bevölkerungswachstum in Entwicklungsländern zu reagieren, indem man technologisch effiziente, aber unangepasste Agrartechnologie importiert hat. Die dadurch erreichte Armutsbekämpfung blieb hinter den Erwartungen zurück, sowohl regionale als auch soziale Unterschiede wurden verstärkt und die Ressourcenproduktivität auf Gunststandorten ging mittelfristig sogar wieder zurück. Das Spezifikum, mit unangepasster Agrartechnologie rein angebotsorientiert und unter Vernachlässigung der ländlichen Entwicklung Ernährungsprobleme zu lösen, erscheint uns als relevantes, immer wiederkehrendes problematisches Muster. Die öffentliche Diskussion um die grüne Gentechnik als Lösung der Nahrungsknappeits-Problematik zeigt, dass die möglichen Lehren aus dem relativen Fehlschlag der „ersten“ Grünen Revolution (beginnend in den 60er Jahren in Süd-Ost-Asien) keineswegs gezogen wurden.

Eng mit Bevölkerungsdynamik verknüpfte Syndrome

Sahel	Natürliches Bevölkerungswachstum auf dem Land, armutsgetriebene Migration in die Städte - Änderung der Zusammensetzung der ländlichen Bevölkerung mit Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktivität
Favela	Rapide und ungeplante Urbanisierung in Entwicklungs- und Schwellenländern, durch Landflucht und natürliches Bevölkerungswachstum getrieben
Urban Spawl	Migrationbewegung von dichter besiedelten Innenstädten in die Stadtperipherie und den ländlichen Raum
Grüne Revolution	Als Antwort auf teils bevölkerungswachstumsbedingte Nahrungsmittelknappheit Einsatz unangepasster Agrartechnologie. Rein angebotsorientiertes Programm, das die ländliche Entwicklung vernachlässigt

Tabelle 2: Syndrome mit enger Beziehung zu Bevölkerungsdynamik und Versorgung

4 Anmerkungen zur Methode der Syndromdefinition

Wie sind nun diese 16 Syndrome als typische Muster des problematischen globalen Umweltwandels bestimmt worden? Es gab hierzu ein interdisziplinäres Gremium aus unterschiedlichen Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen (ursprünglich der WBGU: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltfragen), das zunächst eine Sammlung von Trends erstellte, die den globalen Wandel charakterisieren, soweit er mit problematischen Umweltentwicklungen verknüpft ist (siehe Abb. 3). Da diese Sammlung sicherlich von der konkreten Zusammensetzung des Gremiums abhängt, wurde sie immer wieder mit weiteren Experten diskutiert und gegebenenfalls erweitert/korrigiert, wobei sich eine gewisse Konvergenz einstellte. Die hier vorgestellte Liste zeigt den Stand um 2000.

Ein typisches Problem interdisziplinärer Arbeit zeigt sich schon bei der Erstellung einer solchen Liste, das damit zusammenhängt, dass jede Disziplin sich unterkomplex repräsentiert fühlt. Betrachtet man etwa den Bereich „Bevölkerung“ in der Trendsammlung, findet man Bevölkerungswachstum, Migration, Urbanisierung, Landflucht, Zersiedlung und gesundheitsschädigende Umweltbelastungen. Dies ist aus der Sicht der Demographie eine deutlich unterkomplexe Darstellung. Die Komplexität in einem interdisziplinären Projekt besteht jedoch wesentlich darin, dass man sich verstärkt um die Wechselwirkungen über die unterschiedlichen Sphären und Disziplinen hinweg zu kümmern hat – eine zusätzliche Aufgabe, derer sich die disziplinäre Forschung ja gerade entledigt hat (woraus die beschränkte Anwendbarkeit dieser Forschungsergebnisse in vielen gesellschaftlich relevanten Bereichen herrührt). Es ist nun davon auszugehen, dass nur ein bestimmter Grad an Komplexität

wissenschaftlich behandelbar ist, weshalb es nötig ist, zumindest in der ersten Iteration, die einzelnen disziplinären Aspekte etwas gröber zu repräsentieren.

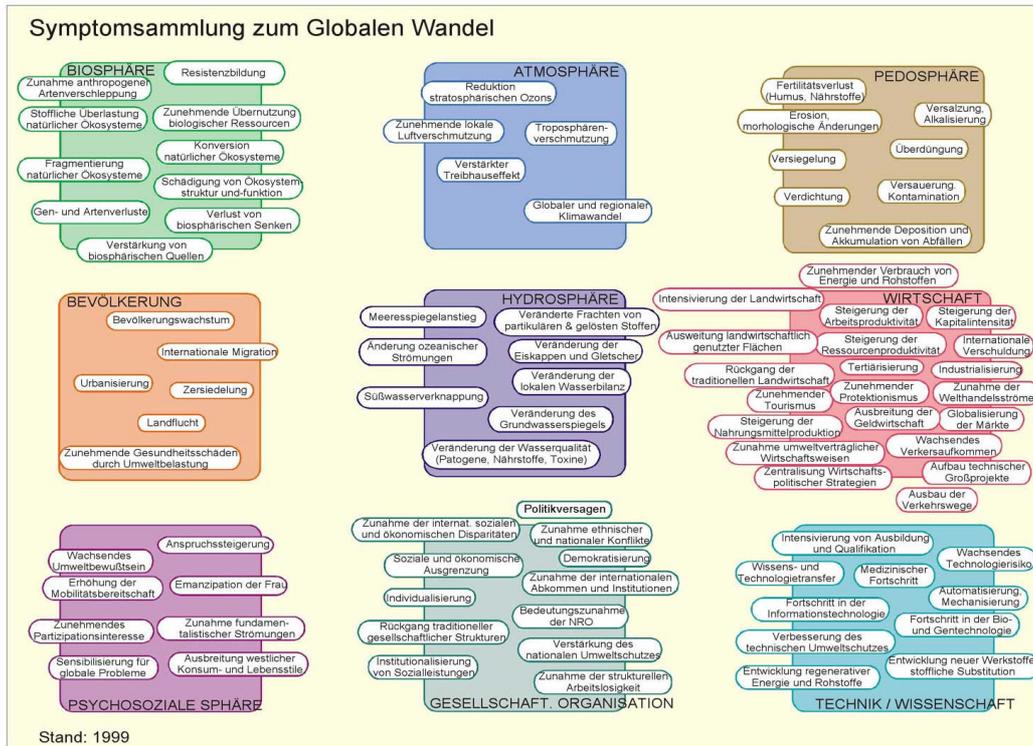


Abbildung 3: Zusammenstellung relevanter Trends im Zusammenhang mit dem globalen Umweltwandel

Der nächste Schritt bei der Syndromidentifikation ist dann, Ursache-Wirkungs-Geflechte zwischen diesen problematischen Trends zu postulieren, die typische, d. h. in unterschiedlichen Regionen oder in unterschiedlichen Epochen sich wiederholende Mechanismen problematischen Umweltwandels charakterisieren. Als Zwischenschritt vor der Identifikation solcher Ursache-Wirkungsnetze ist oft die Sammlung von paarweisen Wechselwirkungen zwischen Trends nützlich, das diese noch eher im Blickfeld disziplinärer Forschung liegt, die ja immerhin die „direkte Umwelt“ ihrer Disziplin im Sinne von Randbedingungen berücksichtigen muss. Auf der Basis dieser Sammlung kann man dann Mechanismuscluster (d. h. Netze aus paarweisen Interaktionen) diskutieren.

Als Beispiel für das Resultat einer solchen Diskussion ist in Abb. 4 das syndromspezifische Beziehungsgeflecht für das Sahel-Syndrom dargestellt. Die Interaktionen sind hier nach ihrer Richtung (A wirkt auf B) und ihrer Art – entweder als verstärkend (Pfeil) oder abschwächend (Linie mit Punkt am Ende) – kodiert. Es fällt nun auf, dass dieses Beziehungsgeflecht sehr umfassend ist, also viele Trends und entsprechend viele Wechselwirkungen involviert sind, was daher rührt, dass die Vielzahl der konkreten Fälle, die unter dieses Muster gefasst werden sollen, die entsprechenden Mechanismen enthalten, andererseits aber nicht alle angeführten Mechanismen auch in allen Fällen vorkommen. Dies legt die Frage nahe, welches Mecha-

Worten: die problematischen Entwicklungen in der großbäuerlichen und der kleinbäuerlichen Landwirtschaft unterliegen unterschiedlichen Mechanismen. Ein Schritt des PEDA-Modells in diese Richtung ist die Berücksichtigung von Verteilungsmaßen anstelle von Mittelwerten, die diese Unterschiedlichkeit implizit anspricht.

Inspiziert man die Zusammenhänge in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft genauer, stellt sich heraus, dass die Entscheidung, entweder auf der eigenen Farm zu arbeiten oder „off-farm-Arbeit“ zu leisten und die Entscheidung, einen Teil des erzielten Einkommens zur Verbesserung oder zum Erhalt der Ressource zu verwenden oder es vollständig zu konsumieren, wesentlich Einkommens- und Umweltentwicklung bestimmen. Diese Entscheidungen werden im Kontext von Verfügbarkeit und Vergütung von Lohnarbeit, erzielten Preisen beim Verkauf landwirtschaftlicher Güter, Ressourcenqualität von verfügbarem Weide- und Ackerland (oft eingeschränkt durch politische und ökonomische Marginalisierung) getroffen. Tabelle 3 fasst diese Annahmen zusammen, die nur noch um die Hypothese erweitert wurden, dass die Entscheidung zwischen „on-farm“ und „off-farm“-Arbeit nach der augenblicklichen Profitabilität getroffen wird und dass es ein Einkommenslevel gibt, unterhalb dessen keine Investitionen in Ressourcenerhalt oder -Verbesserung getätigt werden.

Im syndromprognostischen Teil versuchen wir, aus den oben gemachten Annahmen die möglichen zeitlichen Entwicklungen des Systems zu deduzieren, wobei wir uns methodisch auf „dynamische qualitative Modellierung“ stützen (in der QDE-Formulierung [qualitative differential equations] nach Kuipers, 1994). Zur Erläuterung dieser Methode ist ein Vergleich mit der methodischen Vorgehensweise im PEDA-Modell hilfreich. Auch dort beginnt man mit einer qualitativen Analyse, welche Variablen welche anderen beeinflussen (symbolisiert in Form eines „Blasendiagramms“). Der nächste Schritt besteht in der Quantifizierung dieser Zusammenhänge, um dann im Sinne einer Differenzgleichung oder Differentialgleichung den Zeitverlauf der Variablen bestimmen zu können. Uns hat immer interessiert, wie man unter der Bedingung, dass diese Zusammenhänge nicht genau quantifizierbar sind, Aussagen über das dynamische Verhalten des Systems machen kann. Die qualitative dynamische Modellierung stellt eine Möglichkeit dar, dies zu tun. Der Begriff „qualitativ“ ist hier so zu verstehen wie Mathematiker ihn benutzen, was sich u. U. vom Qualitätsbegriff unterscheidet, wie er in den eher qualitativen Wissenschaften (z. B. Soziologie) benutzt wird. Hier wird als qualitative Modellcharakterisierung ein Blasendiagramm (wie in Abb.4 gezeigt), und als daraus resultierende, qualitative Trajektorien Sequenzen von Trendkombinationen der Variablen verstanden. Letzteres bedeutet, dass die Variablen so beschaffen sein müssen, dass eine Größer-Kleiner-Beziehung auf ihnen definierbar ist. In der traditionellen quantitativen dynamischen Modellierung gehen ausführliche Sensitivitätsstudien in eine ähnliche Richtung. Hier wird gefragt: Was hat es für Auswirkungen auf die berechnete Dynamik, wenn im Rahmen der bestehenden Unsicherheiten über die Wechselwirkungen deren quantitative Darstellung variiert wird und was heißt das für die Vorhersagen. Man kann QDEs als Theorie auffassen, die von vornherein mit all diesen Mög-

lichkeiten gleichzeitig rechnet (formal: es wird eine ganze Klasse von Differentialgleichungen gelöst, deren rechte Seiten nur durch Monotonieannahmen (steigt/fällt) charakterisiert sind).

Sahel Syndrome in NE-Brazil: A Qualitative Model

Choices amongst livelihood and management options:

- off-farm vs. on-farm labour
- consumption vs. investment in resource quality

Interaction of these choices with resource quality:

- overuse of resource resulting in degradation and potential yield losses
- income-dependent possibility of resource improvement

Socio-economic and natural conditions:

- producer prices, existence and accessibility of good land
- wages, existence and accessibility of off-farm labour

Tabelle 3: Elemente des qualitativen Modells für die kleinbäuerliche Landwirtschaft in Nordost Brasilien (aus Sietz et al. 2005)

Sahel Syndrome in NE-Brazil: Qualitative Trajectories

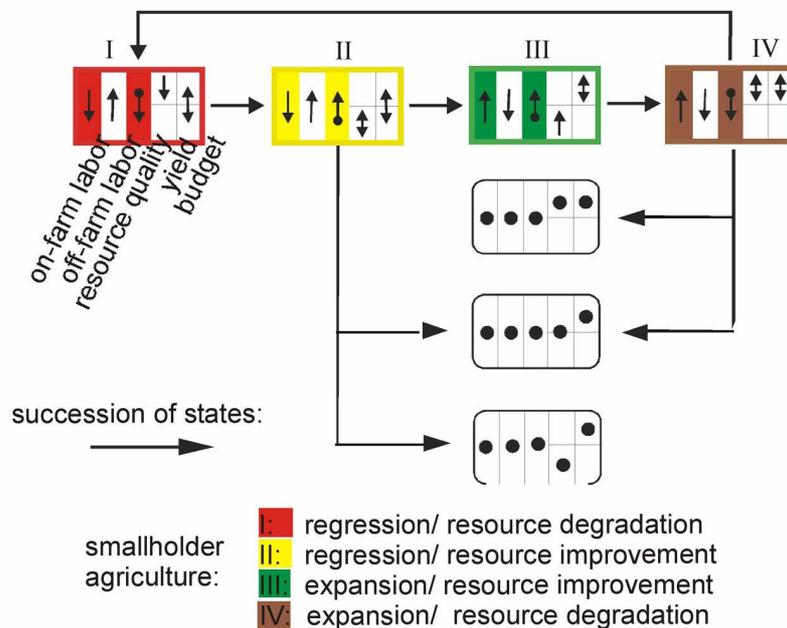


Abbildung 5: Resultierende Entwicklungspfade (aus Sietz et al. 2005)

Abb. 5 zeigt die qualitative Trajektorie, die man erhält, wenn man die Annahmen aus Tab.3 als QDE aufschreibt und diese dann löst. Es soll nochmals betont werden, dass im Wesentlichen nur die „qualitativen“ Aussagen aus Tab.3 als Input verwen-

det werden. Der dynamische Zustand des Systems wird durch die Trends der 5 Variablen On-farm-Arbeit, Off-farm-Arbeit, Ressourcenqualität, Ernteertrag und Haushaltsbudget charakterisiert (die 5 Spalten in jedem der großen Rechtecke). „Steigend“ und „fallend“ sind durch entsprechende Pfeile gekennzeichnet, Konstanz mit einem Punkt. Doppelpfeile bedeuten, dass der Trend uneindeutig ist. Die Pfeile zwischen den großen Rechtecken geben die mögliche Sequenz der dynamischen Zustände (Trendkombinationen) an. Es ergibt sich ein Zyklus aus 4 Zuständen mit „Exit-Optionen“ in ein Gleichgewicht von den Zuständen II und IV aus. Im hier gezeigten Fall erhält man also aus einem recht vage formulierten Modell sehr starke Aussagen. Betrachtet man etwa Zustand I, kann man sagen, dass diese Trendkombination [fallend, steigend, fallend oder konstant, fallend, unklar] entweder anhält (d.h. der dynamische Zustand ändert sich nicht, die Variablen wohl, allerdings immer in die gleiche Richtung) oder in die Trendkombination II übergeht, die hauptsächlich durch eine Umkehr des Trends der Ressourcenqualität gekennzeichnet ist. Vergleicht man das mit der Vielzahl der möglichen zukünftigen Entwicklungen ($3^5=243$ prinzipiell mögliche Nachfolger von Zustand I), erkennt man die starke Vorhersagekraft der Modellannahmen in diesem Fall.

Man kann nun mit Hilfe von flächendeckend vorliegenden Datensätzen über die verwendeten Variablen indizieren, in welchem dynamischen Zustand sich, z.B., eine Gemeinde in Nordost-Brasilien befindet, wie dies in Abb. 6 dokumentiert ist. Dies bedeutet im Weiteren, dass man, falls man dem Modell glaubt, fundierte Szenarien der weiteren Entwicklung in den einzelnen Gemeinden aufstellen kann. Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass hier „dem Modell glauben“ bedeutet, die Modellstruktur zu akzeptieren, d. h. die Auswahl der Variablen, die sich direkt beeinflussen sowie die Charakterisierung dieser Beeinflussung als verstärkend oder abschwächend.

Kehren wir nun zu den Bevölkerungsaspekten zurück, so sehen wir, dass die Zustände 1 und 2 im Wesentlichen durch Landflucht charakterisiert sind. D.h., dass z.B. für Gemeinden im Zustand 1 (in Abb. 6 rot markiert) sich das demnächst auch nicht ändern wird. Hier müsste sich zunächst der Trend der Ressourcenqualität umkehren (die entspräche dann Zustand II), bevor die Landflucht gestoppt werden könnte (Zustand III). Für Gemeinden, die jetzt schon in Zustand II sind (gelb markiert), kann eine Umkehr einsetzen, muss aber nicht, da das System auch noch lange in II verbleiben oder in einen stabilen Zustand übergehen kann.

Man kann nun die berechneten unterschiedlichen Entwicklungsszenarien bewerten und politische Handlungsoptionen daraufhin überprüfen, ob sie gewünschte Übergänge (z.B. II->III) befördern und unerwünschte (z.B. IV->I) verhindern und erhält so eine räumlich explizite (auf Gemeindeebene) Bewertung möglicher Interventionen zur Syndrom-Mitigation.

Sahel Syndrome in NE-Brazil: Present Dynamic State

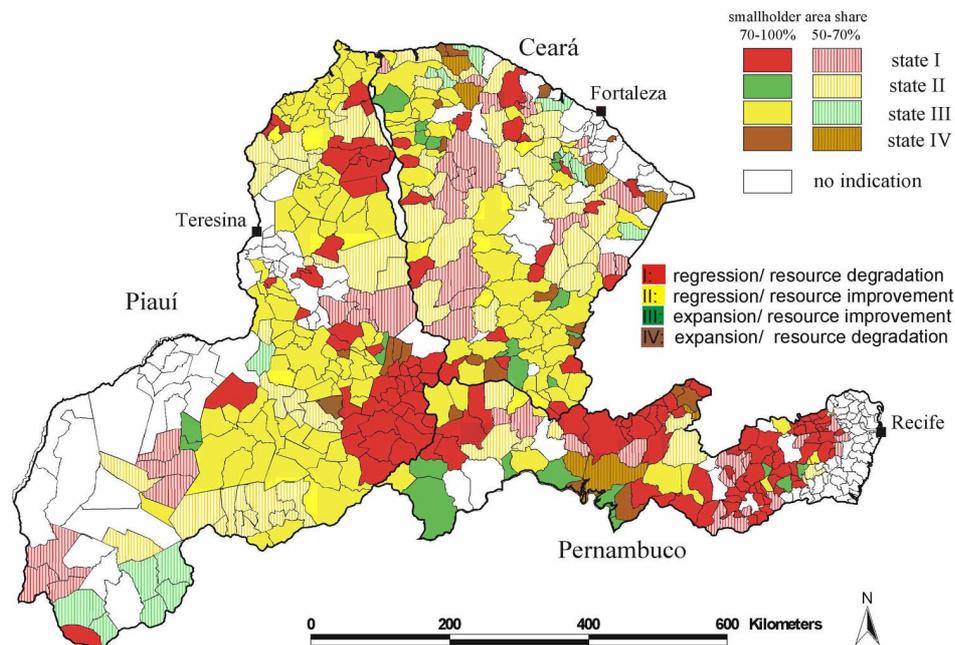


Abbildung 6: Räumliche Verteilung der dynamischen Zustände Ende der 90er Jahre

6 Diskussion

Nach einer allgemeinen Erläuterung der Ziele und Methoden des Syndromprojekts wurde die derzeitige Syndromliste aus Sicht der Aspekte Bevölkerungsentwicklung und Versorgungssysteme betrachtet. Beide Aspekte werden in praktisch allen Syndromen angesprochen, ihre Rolle für die Syndromkerne, die die wesentlichen Mechanismen der Syndrome beschreiben, ist jedoch unterschiedlich. Besonders relevant ist der Bevölkerungsentwicklungsaspekt im Sahel-, Favela-, Urban Sprawl- und Grüne-Revolutionen-Syndrom. Aus Sicht der Versorgungssysteme (wenn man dies wie im demons-Projekt weit fasst), sind dagegen alle Syndrome fast gleich relevant, sprechen jedoch teilweise unterschiedliche Ausprägungen an, je nachdem ob die Syndrome auf landwirtschaftliche Aktivitäten, Stadtentwicklung, Ausbeutung nachwachsender oder nicht-regenerativer Ressourcen abzielen.

Am Beispiel des Sahel-Syndroms wurde aufgezeigt, wie mit Hilfe qualitativer dynamischer Modellierung im Wesentlichen auf der Grundlage von qualitativen Ursache-Wirkungs-Diagrammen Szenarien für die zukünftige Entwicklung einzelner Regionen erstellt werden können und die Modellierungsmethode wurde zur herkömmlichen dynamischen Modellierung in Beziehung gesetzt. Wie auf der Basis solcher „beschränkter Prognosen“ Interventionsmöglichkeiten zur Vermeidung unerwünschter Entwicklungen bewertet werden können, wurde angedeutet.

Setzt man nun das Syndromprojekt mit einem auf die Aspekte Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystem fokussierten Projekt in Bezug, fällt zunächst auf, dass

das Syndromprojekt diese beiden Aspekte einschließt, jedoch deren Verknüpfung mit den anderen Trends des globalen Wandels in den Vordergrund stellt.

Eine Möglichkeit der gegenseitigen Befruchtung könnte nun darin liegen, Modellvorstellungen der Bevölkerungs-/Versorgungswelt daraufhin zu überprüfen, ob sie die in den Syndromen postulierten Wechselwirkungen mit anderen Aspekten hinreichend berücksichtigen. Dies müsste in Form von Szenarien geschehen, die in das definierte Subsystem eingreifen – und möglicherweise die interne Dynamik des Subsystems überprägen könnten.

Eine anderer Berührungspunkt könnte methodischer Art sein und die Vorgehensweise entlang der Identifikation typischer Mechanismenmuster betreffen, insbesondere wenn es darum ginge, einen ganzen Bereich (Region, Problem), der komplex und heterogen erscheint, zu durchdringen. Die Induktionsschritte des Syndromprojekts (Trendsammlung, Mechanismus/Wechselwirkungssammlung, Clusterung letzterer in typische Muster) haben in multidisziplinären Zusammenhängen zu diskutablen Resultaten geführt.

7 Literatur

Diese Liste umfasst im Text zitierte Literatur sowie weitere syndromrelevante Veröffentlichungen. Viele davon können von <http://www.pik-potsdam.de/~luedeke/litact.htm> heruntergeladen werden.

Cassel-Gintz M.A./M.K.B. Lüdeke/G. Petschel-Held/F. Reusswig/M. Plöchl/G.

Lammel/H.J. Schellnhuber (1997): Fuzzy logic based global assessment of the marginality of agricultural land use. *CLIMATE RES* 8 (2): 135-150

Downing, T.E./M.K.B. Lüdeke (2002): International Desertification: Social

Geographies of Vulnerability and Adaptation. In: J.E. Reynolds/D.M. Stafford Smith (Ed.): *Global Desertification*. Berlin: Dahlem University Press, 233-252

Kropp, J./M.K.B. Lüdeke/F. Reusswig (2001): Global analysis and distribution of unbalanced urbanization processes: Favela syndrome. *Gaia*, 10, 2, 109-121

Kuipers, B. (1994): *Qualitative Reasoning: Modeling and Simulation with incomplete Knowledge*. Cambridge: MIT Press

Lambin, E.F./P.S. Chasek/T.E. Downing/C. Kerven/A. Kleidon/R. Leemans/M.K.B.

Lüdeke/S.D. Prince/Y. Xue (2002): The Interplay between International and Local Processes affecting Desertification. In: J.E. Reynolds/D.M. Stafford Smith (Ed.): *Global Desertification*. Berlin: Dahlem University Press, 387-401

Lüdeke, M.K.B./D. Reckien/G. Petschel-Held (2004): Modellierung von Urban

Sprawl am Beispiel von Leipzig. In: H. Nuissel/D. Rink (Hg.): *Schrumpfung und Urban Sprawl – Analytische und Planerische Problemstellungen*. Leipzig: UFZ-Diskussionspapiere 3/2004, 7-18

Lüdeke, M.K.B./G. Petschel-Held/H.J. Schellnhuber (2004): Syndromes of Global Change: The First Panoramic View. *GAIA* 13(1)

- Lüdeke, M.K.B. (2003): Rural poverty driven soil degradation under Climate Change: the Sahel Syndrome. Proceedings 3. Forum Katastrophenvorsorge, DKKV. Potsdam: Oktober 7.-9., 2002
- Lüdeke, M.B.K. (2002): Environmental and socio-economic dynamics of smallholder agriculture: A systematic generalisation of case studies resulting in a formal qualitative model as a basis for policy assessment. The fourth open meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community. Rio de Janeiro, Brazil: October 5-8, 2001
- Lüdeke, M.K.B./O. Moldenhauer/G. Petschel-Held (1999): Rural poverty driven soil degradation under climate change: the sensitivity of disposition towards the Sahel syndrome with respect to climate. *Environmental Modeling and Assessment*, 4, 4, 295-314
- Lüdeke, M.K.B./G. Petschel-Held (1997): Syndromes of Global Change – An Information Structure for Sustainable Development. In: B. Moldan/S. Billharz (Hg.): *Sustainability Indicators – A Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*. Chiche: John Wiley & Sons, 58, 96-98
- Lüdeke, M.K.B. (1997): Archetypical Patterns of Non-Sustainable Development on the Global Scale: The Syndrome Concept. Proceedings 14th International Conference of WACRA EUROPE: Sustainable Development: Towards Measuring the Performance of Integrated Socioeconomic and Environmental Systems. Madrid, 324-333
- Lüdeke, M.K.B./F. Reusswig/M. Cassel-Gintz/A. Block/G. Lammel/W. Lass/R. Liengkamp/G. Petschel-Held/M. Plöchl (1996): Das Sahel-Syndrom. Autorenkollektiv Questions-Kernprojekt (Hg.): *Reader zum Status-Workshop des Questions-Projekts*, Potsdam, 29.-30. Juni 1996. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., 35-96
- Petschel-Held, G./M.K.B. Lüdeke (2001): Integration of case studies on global change by means of qualitative differential equations. *Integrated Assessment*, 2, 3, 123-138
- Petschel-Held, G./M.K.B. Lüdeke/F. Reusswig (2001): Mustermodellierung anthropogener Landnutzung: Von globalen zu lokalen Skalen und zurück. In: V. Linneweber (Hg.): *Zukünftige Bedrohung durch (anthropogene) Naturkatastrophen*. Schriftenreihe des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge, 22, 72-87
- Petschel-Held, G./F. Reusswig/M. Cassel-Gintz/M.K.B. Lüdeke (2001): Nachhaltigkeit in der Lehre: Die Chancen des Syndromkonzeptes. In: A. Fischer/G. Hahn (Hg.), *Interdisziplinarität fängt im Kopf an*. Frankfurt am Main: Verlag für Akademische Schriften, 51-76
- Petschel-Held, G./M.K.B. Lüdeke/F. Reusswig (1999): Actors, structures and environment. A comparative and transdisciplinary view on regional case studies of global environmental change. In: B. Lohnert/H. Geist (Hg.): *Coping with changing environments*. London: Ashgate, 255-291
- Petschel-Held, G./A. Block/M. Cassel-Gintz/J. Kropp/M.K.B. Lüdeke/O. Moldenhauer/F. Reusswig/H.J. Schellnhuber (1999): Syndromes of Global Change.

- A qualitative modelling approach to assist global environmental management. *Environmental Modelling and Assessment* Nr. 4, 315–326
- Reusswig, F./M.K.B. Lüdeke (1997): Modelling Land Use Changes and their Socio-Economic Driving Forces by Using Syndromes of Global Change. *International Workshop on Prospects for Co-ordinated Activities in Core Projects of GCTE, BAHC and L. Wageningen*: 172f.
- Schellnhuber, H.-J./M.K.B. Lüdeke/G. Petschel-Held (2002): The syndromes approach to scaling-describing global change on an intermediate functional scale. *Integrated Assessment* 3, 2-3, 201-219
- Schellnhuber, H.-J./A. Block/H. Held/M.K.B. Lüdeke/O. Moldenhauer/G. Petschel-Held (2001): Syndrome & Co. – Qualitative und semi-quantitative Ansätze in der Forschung zum Globalen Wandel – Stand der Wissenschaft. In: R. Coenen (Hg.): *Integrative Forschung zum Globalen Wandel*. Frankfurt am Main/New York: Campus, 51–96
- Schellnhuber, H.-J./A. Block/M. Cassel-Gintz/J. Kropp/G. Lammel/W. Lass/R. Liengkamp/C. Loose/M.K.B. Lüdeke/O. Moldenhauer/G. Petschel-Held/M. Plöchl/F. Reusswig (1997): Syndromes of Global Change. *GAIA*, 6, 1, 19–34
- Sietz, D./B. Untied/O. Walkenhorst/M.K.B. Lüdeke/G. Mertins/G. Petschel-Held/H.J. Schellnhuber (2004): Smallholder agriculture in Northeast Brazil: Assessing heterogeneous human–environmental dynamics. In press: *Regional Environmental Change*
- WBGU, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (<http://www.wbgu.de>)
- 1994: *Welt im Wandel – Die Gefährdung der Böden*. Bonn: *Economica Verlag*, 278 Seiten
- 1996: *Welt im Wandel – Herausforderung für die deutsche Wissenschaft*. Berlin-Heidelberg: *Springer Verlag*, 201 Seiten
- 1997: *Welt im Wandel – Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Berlin-Heidelberg: *Springer-Verlag*, 419 Seiten

Wechselbeziehungen zwischen Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen – Einige Überlegungen zur Modellbildung

Christine Hertler/Diana Hummel

„Wir schwimmen in einem Meer komplexer Systeme, ohne es überhaupt zu merken.“

Alberto Gandolfi

Im Zentrum der methodischen Arbeit des Projekts *demons* steht die Entwicklung eines konzeptionellen Modells über Wirkungszusammenhänge zwischen demographischen Entwicklungen und Versorgungssystemen. Ein solches Modell soll mehreres leisten können: Mit ihm sollen einerseits komplexe Interaktionen formal dargestellt werden; andererseits soll es dazu dienen, unterschiedliche Bevölkerungsdynamiken, verschieden beschaffene Versorgungssysteme (Wasser und Ernährung) und unterschiedliche soziale und kulturelle Kontexte zu untersuchen. Anspruch des Modells ist es, zu einem besseren Verständnis der komplexen Zusammenhänge beizutragen und die inter- und transdisziplinäre Integration zu ermöglichen.

Die Modellierung, d. h. der Prozess der Modellbildung hat im Projekt in erster Linie die Funktion der Erkenntnisgewinnung, in deren Zuge das über den Gegenstandsbereich vorhandene Wissen geordnet und bewertet werden soll. Das Modell soll es ermöglichen, dynamische Größen zu identifizieren, die Prozesse stärken oder schwächen, um Ursachen für Regulationsstörungen zu erkennen. Dabei handelt es sich zunächst um eine Darstellung von Strukturbeziehungen ohne räumlich-zeitliche Differenzierung. Diese Form ermöglicht es, allgemeine Wirkungshypothesen zu formulieren. Spezifizierungen werden getrennt davon fallabhängig vorgenommen. Sukzessive werden auf diese Weise differenzierte Aussagen über das Netz der Wirkungszusammenhänge entwickelt. Im Projekt wird vornehmlich qualitativ modelliert. Es besteht nicht der Anspruch, das gesamte Netz der Wirkungszusammenhänge in eine quantitative Form zu bringen. Zwar mögen sich einzelne Zusammenhänge isolieren und quantitativ darstellen lassen; dies ist aber nicht für jeden Bestandteil des Modells möglich und sinnvoll. Durch die Modellierung sollen zentrale Faktoren identifiziert und Wirkungen beurteilt werden, die am Ende in einer Synthese zusammengefügt werden.

Übergreifende Modellbildung und Überprüfung des allgemeinen Modells im Rahmen von Fallstudien wechseln sich in einem iterativen Verfahren ab. Demgemäß ist die Modellbildung ein laufender Prozess, der entsprechend der iterativen Vorgehensweise darauf zielt, das Modell in einzelnen Fallstudien weiter auszudifferenzieren. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, das allgemeine Modell begleitend zu seiner Entwicklung in der Forschungspraxis anzuwenden und auf seine Tauglichkeit

hin zu überprüfen. Außerdem wird so sichergestellt, dass das übergreifende Modell zwischen den stärker disziplinär konzipierten Fallstudien vermittelt.

Im folgenden Beitrag sollen einige Überlegungen zur Modellierung der Wirkungszusammenhänge zusammengefasst werden. Dabei geht es insbesondere darum, zentrale methodische Fragen, wesentliche Parameter und Schwierigkeiten der Modellierung zu skizzieren. Der Beitrag stellt daher eine Art Zwischenresümee im Laufe des „work in progress“ im transdisziplinären Forschungsprojekt dar.

1 Bestehende Modellansätze

Versorgungssysteme nehmen nach dem sozial-ökologischen Verständnis eine Mittlerfunktion zwischen Gesellschaft und Natur ein. Es sind spezifische Strukturen und Regulationsformen zur Versorgung der Menschen mit Trink- und Brauchwasser, Nahrungsmitteln, Energie und Brennstoffen, Wohnraum etc. Sie umfassen materiell-energetische wie auch kulturell-symbolische Dimensionen und in ihnen sind ökologische, soziale, ökonomische, technische und politische Anteile auf je spezifische Weise verwoben. Innerhalb der Versorgungssysteme lassen sich grundsätzlich zwei unterschiedliche Positionen unterscheiden: auf der einen Seite die Nutzer, auf der anderen Seite die Ressourcen. In den Versorgungssystemen für Wasser und Ernährung umfassen Ressourcen räumlich-materielle Strukturen innerhalb eines ökologischen und bio-physischen Zusammenhangs. Die Nutzer als Teil des Versorgungssystems umfassen sowohl die Erbringer als auch die Empfänger von Versorgungsgütern und -dienstleistungen. Nutzer und Ressourcen stehen jedoch in keinem direkten Verhältnis, zwischen ihnen vermitteln Wissen, Institutionen, Praktiken und Techniken (siehe Abbildung 1 sowie ausführlich in Hummel et al. 2004: 12ff.). Im vorliegenden Beitrag befassen wir uns mit der Frage, welche Bedeutung der Bevölkerungsdynamik in diesem Zusammenhang zukommt und welche methodischen Aspekte dabei zu berücksichtigen sind.

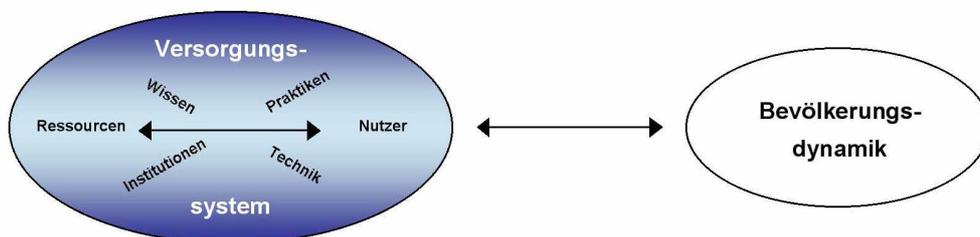
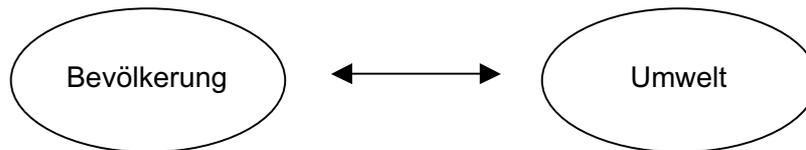


Abb. 1: Versorgungssystem & Bevölkerungsdynamik

Konzeptionelle Ansätze zur Analyse von Wechselwirkungen beziehen sich in der Regel auf das Verhältnis zwischen Bevölkerung und Umwelt. Welche weiteren Modelle gibt es? Der Gliederung von Marquette und Bilsborrow (1999) folgend können verallgemeinert lineare, multiplikative und vermittelnde Perspektiven sowie Ansätze der Komplexitätsforschung unterschieden werden.

Lineare Ansätze

Diese Perspektive geht von reziproken, linearen und direkten Beziehungen zwischen Bevölkerung und Umwelt aus: Ein Beispiel dafür ist der malthusianische Ansatz, demzufolge das Bevölkerungswachstum immer dazu tendiert, die Kapazität der natürlichen Ressourcen zu übersteigen. Das Resultat sind ‚positive checks‘ wie Hungersnöte und steigende Mortalität oder ‚preventive checks‘ wie die Begrenzung der Familiengröße, die auf die Verminderung des Bevölkerungswachstums hinwirken. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass der Bedarf der Bevölkerung direkt die Verfügbarkeit von Ressourcen und umgekehrt die Ressourcenverfügbarkeit das Bevölkerungswachstum begrenzt.



Der Ansatz Boserups (1976; 1981) bezieht technologische Veränderungen ein: Bevölkerungswachstum und die damit einhergehende steigende Bevölkerungsdichte induzieren technologische Veränderungen wie z. B. die Nutzung des Pflugs oder den Einsatz von Düngemitteln. Dies ermöglicht, dass die Nahrungsmittelproduktion mit dem Bevölkerungswachstum Schritt halten kann. Auch hier werden die Beziehungen zwischen Bevölkerung, technologischem Wandel in der Landwirtschaft und Umweltveränderungen als einfache und direkt lineare Wechselbeziehungen konzipiert.



Multiplikative Ansätze

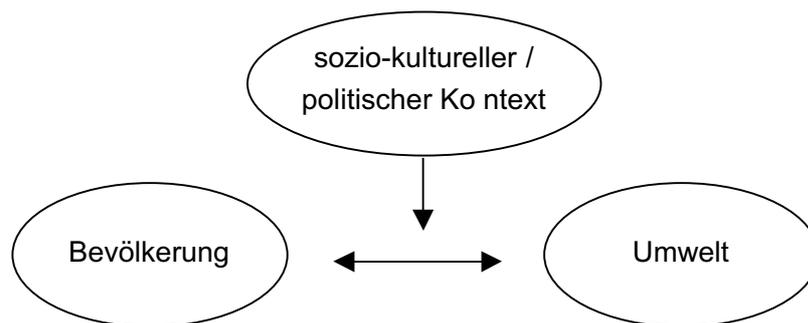
In dieser Perspektive wird die Bevölkerung(sgröße) als mit anderen Faktoren verknüpft betrachtet. Das bekannteste Beispiel ist die $I=P \times A \times T$ -Gleichung (zur ausführlichen Darstellung und Diskussion siehe Weingarten in diesem Band; s. a. Hummel 2000: 79ff.).

Umweltauswirkungen (I) = Populationsgröße (P) x Wohlstand / Pro-Kopf-Verbrauch (A) x Technologieniveau (T)

Die drei Faktoren Bevölkerung, Konsum und Technologie sind unabhängige Variablen und stehen nach diesem Ansatz in einem Wechselverhältnis. Die Folgen der einzelnen Größen multiplizieren sich in ihren Auswirkungen auf die Umwelt. Im mathematischen Sinne handelt es sich auch hier um lineare Beziehungen: Die Verdopplung des Wertes einer Variablen verdoppelt auch die Umweltauswirkungen.

Vermittelnde Perspektiven

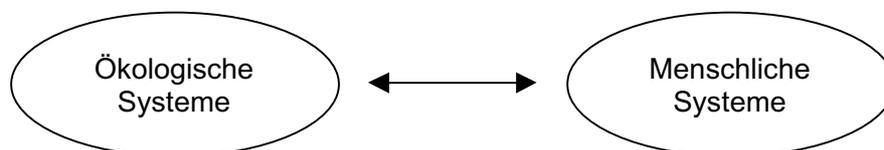
In diesen Ansätzen werden insbesondere soziale, kulturelle, institutionelle und politische Faktoren einbezogen, welche in den Beziehungen zwischen Bevölkerung und Umwelt vermitteln bzw. intervenieren. Dabei wird z.B. im Hinblick auf Landnutzung und Agrarproduktion untersucht, in welcher Weise sozio-ökonomische Bedingungen wie Armut, Regierungspolitiken und Marktgeschehen bestimmen, inwieweit ein Bevölkerungswachstum zu technologischen Veränderungen in der Landwirtschaft, Bodendegradation oder Abwanderung führen (Marquette/ Bilsborrow 1999: 32, siehe z.B. Indian National Science Academy et al. 2001).



Diese Ansätze unterstreichen, dass politische Rahmenbedingungen sowie soziale Organisation und Kultur die Beziehungen zwischen Bevölkerung und natürlicher Umwelt beeinflussen. Umweltveränderungen werden dabei als natürliche wie auch soziale Prozesse betrachtet.

Komplexe Systeme

Aus einer Komplexitätstheoretischen Perspektive werden vermittelnde Faktoren berücksichtigt und Umwelt und Bevölkerung als interagierende, ‚komplexe‘ Systeme verstanden. Dieser Ansatz zielt auf ein Verständnis dessen ab, wie ökologische und soziale (soziokulturelle, demographische und ökonomische) Systeme miteinander verknüpft sind und größere ‚sozio-ökologische‘ Systeme bilden, in welche Bevölkerungs-Umwelt-Beziehungen eingebunden sind.



Ohne bereits über die mathematischen Methoden der neueren Komplexitätsforschung zu verfügen und nur geringen Kenntnissen über die Geschichte der Populationsökologie (Billari / Prskawetz 2004; Kingsland 1995), rekurrieren Studien in der Populationsökologie, Human- und Kulturökologie, die untersuchen, wie menschliche Systeme sich an natürliche Ökosysteme anpassen und diese beeinflussen, auf ein derartiges Systemverständnis. So gilt in der Humanökologie die Bevölkerung neben

Technologie, sozialer Organisation und Umwelt als einer der vier elementaren Faktoren im „ökologischen Komplex“ (Duncan 1966). Sie wird definiert als die Anzahl von Menschen innerhalb des Geltungs- und Wirkungsbereichs eines bestimmten ökologischen Systems, steht jedoch in einem Abhängigkeitsverhältnis mit den anderen drei Faktoren (Poston/Frisbie 1998).

Gemeinsam ist allen dargestellten Perspektiven ein wenig expliziertes Verständnis von ‚Umwelt‘. Darunter können so unterschiedliche ökologische Faktoren wie z.B. Wasserqualität, Bodenbeschaffenheit, natürliche Ressourcen, Klima / CO₂-Emissionen, Biodiversität etc. subsumiert werden. Am differenziertesten sind vermittelnde sowie Komplexitätstheoretische Perspektiven, welche Umweltveränderungen als nicht nur natürliche, sondern zugleich soziale Prozesse konzipieren³. Hinsichtlich der Konzeptualisierung von ‚Bevölkerung‘ werden in der Regel in den verschiedenen Modellansätzen auf die beiden Aspekte der Bevölkerungsgröße und des Bevölkerungswachstums fokussiert. Auch hier sind vermittelnde Perspektiven hervorzuheben, die es erlauben, weitere Dimensionen wie z. B. Migration und räumliche Verteilung der Bevölkerung sowie Größe und Struktur von Haushalten zu berücksichtigen.

Lineare Perspektiven sind für die Modellierung von Wirkungszusammenhängen zwischen Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen kaum geeignet, da sie (abgesehen vom ideologischen Streit zwischen ‚Neomalthusianern‘ und ‚Bevölkerungsoptimisten‘) zwar von einer wechselseitigen, aber doch einfachen linearen Kausalbeziehung zwischen Bevölkerung und nicht weiter differenzierter ‚Umwelt‘ ausgehen. Die Stärke multiplikativer Ansätze wie der IPAT-Gleichung ist darin zu sehen, dass die Bevölkerungsentwicklung nicht unabhängig von sozio-ökonomischen und technologischen Bedingungen betrachtet wird. Auf der anderen Seite birgt die einfache Gleichung die Gefahr, komplexe Phänomene auf wenige quantitative Parameter zu reduzieren (Bevölkerungsgröße, Pro-Kopf-Konsum und Technologieniveau) und dabei lokale Besonderheiten der Ressourcennutzung zu vernachlässigen. Inwieweit diese Parameter überhaupt quantifizierbar sind, wird nicht diskutiert. Vermittelnde Ansätze wiederum berücksichtigen stärker die lokalen Bedingungen und den Kontext. Die Vorstellung der ‚Vermittlung‘ bestimmter Faktoren

³ Aus der sozial-ökologischen Perspektive ist ein allgemeines Verständnis von Umwelt zu unspezifisch und problematisch, denn es stellt sich die Frage, wie von einer Umwelt gesprochen werden kann, ohne zugleich genauer zu sagen, um wessen Umwelt es sich handelt – die einzelner Menschen, von Gruppen oder von kulturellen Gemeinschaften. Wir sprechen daher nicht vom Verhältnis zwischen Umwelt und Bevölkerung, sondern von den dynamischen Beziehungen zwischen Menschen, Gesellschaft und Natur. Dieses Geflecht der vermittelnden Beziehungen und Verhaltensformen zwischen Individuen, Gesellschaft und Natur und die sich dabei herausbildenden Muster bezeichnen wir zusammenfassend mit dem Begriff der gesellschaftlichen Naturverhältnisse. Dabei handelt es sich um historisch variable Formen und Praktiken, in und mit denen Gesellschaften ihr Verhältnis zur Natur stofflich-materiell und kulturell-symbolisch regulieren. Nach diesem Verständnis sind die Bedingungen der Bevölkerungsentwicklung in den Nexus gesellschaftlicher Naturverhältnisse eingebunden.

wie Regierungspolitiken etc. zeichnet aber noch keine Wirkungsrichtung oder Prioritäten aus. Die Perspektive komplexer Systeme spezifiziert diese Vermittlungsformen, erfordert jedoch auch umfassende Informationen und Daten aus den unterschiedlichen Sektoren auf unterschiedlichen Aggregationsebenen.

2 PEDA-Modell und Syndromansatz: Was kann daraus gelernt werden?

Im folgenden werden die in diesem Band vorgestellten Modelle PEDA (Lutz / Scherbov) sowie der Syndrom-Ansatz (Lüdeke) in ihren Gemeinsamkeiten und Differenzen zum Modell in *demons* diskutiert. Dabei soll auch skizziert werden, welche Ansätze und Vorgehensweisen daraus für die Modellierung von Wechselwirkungen zwischen Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen nutzbar gemacht werden können. Beide Modelle sind nach der oben dargestellten Klassifizierung von Ansätzen im Bereich der vermittelnden Perspektiven bzw. von komplexen Systemen einzuordnen.

PEDA-Modell

Im Zentrum steht der Zusammenhang zwischen Armut, Bevölkerungswachstum und Landnutzung. Das im PEDA-Ansatz entwickelte Modell (vorgestellt von Lutz & Scherbov in diesem Band) wurde am Beispiel sozial-ökologischer Zusammenhänge in afrikanischen Ländern entwickelt. Es ist quantitativ formuliert, d.h. es erlaubt auch eine quantitative Beurteilung bestimmter Prozesse. Verwendung findet es seitens der UNESCO für prognostische Zwecke. Der quantitative Ansatz geht von der Annahme aus, dass Bevölkerungswachstum und Bodendegradation sich stetig wechselseitig verstärken. Sie stellen die Hauptkomponenten eines Teufelskreises dar. Das System wird instabil und bricht zusammen, sobald das Ausmaß der Wechselwirkungen einen bestimmten Punkt überschreitet.

Das PEDA-Modell ist vor allem bevölkerungsbasiert: Die Populationsdynamik bildet die zentrale Variable des Modells. Bedeutsam ist, dass im Hinblick auf die Frage nach der Ernährungssicherheit (food security) nach unterschiedlichen Sub-Gruppen von Bevölkerungen differenziert wird (food secure / food insecure, literate / illiterate, rural / urban) und damit nicht bloß natürliche Faktoren der Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt, sondern auch soziokulturelle Faktoren einbezogen werden. Wie die Ressourcennutzung durch die Bevölkerungsentwicklung beeinflusst wird, ist demnach auch abhängig von solchen Merkmalen der jeweiligen Bevölkerungsgruppe, die in schlicht linearen oder multiplikativen Modellen keine Berücksichtigung finden.

Syndrom-Ansatz

In der Syndrom-Analyse (vorgestellt von Matthias Lüdeke in diesem Band) wird zwischen diagnostischen und prognostischen Zwecken unterschieden. Ziel ist die Identifikation von Ursache-Wirkungsmustern, die zu spezifischen Problemlagen führen. Der Syndromansatz geht von Problemlagen aus und zeichnet zunächst die

Faktoren aus, die für das betrachtete Syndrom von Bedeutung sind. Mit Hilfe global verfügbarer Daten werden unterschiedliche Muster identifiziert. Die Bevölkerungsdynamik ist vor allem in den Syndromen „Sahel“, „Favela“, „Urban Sprawl“⁴ und „Grüne Revolution“ relevant. Das Sahel-Syndrom etwa weist Ähnlichkeiten zu dem in PEDDA diskutierten Teufelskreis zwischen Verarmung und Bodendegradation auf, jedoch zielt der Syndrom-Ansatz darauf ab, die Dynamik qualitativ zu modellieren. Die Besonderheit des Syndrom-Ansatzes liegt darin, Aussagen über die Dynamik des Verhaltens der Sub-Systeme zu treffen, auch wenn wenig Wissen über die Zusammenhänge vorliegt. Auf Basis der Analyse der Ursache-Wirkungsmuster werden dann unterschiedliche Politik-Optionen abgeschätzt. Die Modellierungstechnik der qualitativen Modellierung besteht insbesondere in der Auszeichnung relevanter Variablen und dem Qualifizieren von Wirkungen: So werden Größer-Kleiner-Beziehungen angegeben, das heißt es wird in der Beschreibung des Syndroms spezifiziert, ob eine Variable eine andere verstärkt oder abschwächt.

Beide Ansätze bieten Orientierungen zur Spezifizierung von Wirkungszusammenhängen: Das PEDDA-Modell berücksichtigt qualitative Aspekte der Bevölkerungsentwicklung wie z.B. den Bildungsgrad und Ernährungsstatus der Bevölkerung und differenziert zwischen Bevölkerungen in städtischen und ländlichen Gebieten. Damit werden in der Strukturierung der Bevölkerung weitere Faktoren einbezogen, die auch Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion haben. Es stellt sich aber die Frage, inwieweit dieses Modell auf andere Versorgungssysteme wie zum Beispiel die Wasserversorgung übertragen werden kann und wie es für diese Zwecke angepasst werden muss. Das Syndrom-Konzept stellt stark auf verflochtene Ursache-Wirkungsbeziehungen ab und es wird eine Verknüpfung unterschiedlicher Zustände erreicht. Ebenso ist es das Anliegen von *demons*, Wechselwirkungen und damit Dynamiken zu modellieren. Im Folgenden soll dargestellt werden, welche Faktoren dabei besonders zu beachten sind.

3 Relevante Faktoren bei der Modellierung von Wirkungszusammenhängen von Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen

Bedeutung der Bevölkerungsdynamik

Im Hinblick auf die Bevölkerung steht in *demons* nicht deren Gesamtzahl, sondern die Änderung der Zahl und Struktur, die *Dynamik* im Zentrum. Die bekannten demographischen Variablen Mortalität, Fertilität und Migrationsraten bringen an sich noch keine Wechselwirkungen zum Ausdruck. Die Fragestellung lautet daher: Wie beeinflussen diese Variablen die Versorgungssysteme?

⁴ Das „Urban Sprawl“-Syndrom befasst sich mit Migrationsbewegungen aus den Innenstädten in die Peripherie und den weniger dicht besiedelten ländlichen Raum (vgl. Lüdeke in diesem Band)

Diese Fragestellung lässt sich in zweierlei Hinsicht entfalten: Erstens wird damit nach der Strukturierung einer Bevölkerung gefragt. Neben die klassischen Strukturparameter Alter und Geschlecht treten qualitative Veränderungen. Bei diesen qualitativen Veränderungen sind etwa die Kategorien Bildung, Einkommen, Haushalte, räumliche Verteilung (Stadt/Land), Dichte und Staatsangehörigkeit von Bedeutung.

Mit diesen Kategorien unterscheiden sich Bevölkerungskonzepte stark von Populationskonzepten der Biowissenschaften, die die Dynamik der Populationen viel stärker einschränken. In der Biologie werden Populationen im Wesentlichen als Fortpflanzungsgemeinschaften verstanden. Der Aufbau einer Population wird hier je nach Fragestellung anhand von Alter, Geschlecht und räumlichen Verteilungsparametern beschrieben. Dabei werden die Ansprüche, die die Unterhaltung aller Mitglieder einer Population an den Lebensraum stellen, gezielt als konstant gesetzt. Verändern sich diese Ansprüche, dann wird dies in der Biologie als qualitativer Übergang verstanden. Zur Darstellung der Bevölkerungsgruppen im Sinne des Modells der Versorgungssysteme reichen diese Parameter jedoch nicht aus. Zwar liefern biologische Größen zur Beschreibung von Populationsstrukturen weiterhin wichtige Bezugspunkte, darüber hinaus sind jedoch weitere Parameter notwendig, die sich in biologisch beschriebenen Populationen so nicht abbilden lassen; ohne organisierte Schul- und Ausbildungssysteme ist der Bildungsgrad einer Population und ihrer Mitglieder kaum zu beurteilen. Die häufig als Indikator verwendete Analphabetenrate eignet sich nicht für illiterate Kulturen. Desgleichen ist die Unterscheidung von städtischen und ländlichen Gruppen vor der Entstehung von Städten bedeutungslos. Daneben unterscheiden sich beide Konzepte – das biologische und das demographische – auch im Hinblick auf die Modellierungszwecke: Während die Populationsdynamik in der Biologie stets auch im Hinblick auf ihre Aussagen für Artbildungsprozesse gesehen wird, ist dies bei der Untersuchung von Bevölkerungen in der Demographie keine relevante Fragestellung.

Bei der Untersuchung gegenwärtiger Dynamiken spielen diese Strukturen allerdings unter anderem deswegen eine zentrale Rolle, weil sie eine differenziertere Perspektive auf eine Bevölkerung eröffnen. Die Entwicklung einer Bevölkerung muss damit nicht als bloße Veränderung in der Gesamtzahl begriffen werden. Veränderungen in der Gesamtzahl werden von Verschiebungen in der Besetzung unterschiedlicher Klassen innerhalb der Bevölkerung unterlagert. Jenseits einer übergreifenden Zu- oder Abnahme steht diese Dynamik bereits in Wechselwirkung mit Versorgungsstrukturen. Dies trifft zwar auch auf die demographischen Kategorien Alter und Geschlecht zu, allerdings eröffnet die Berücksichtigung des Bildungsgrads oder der Stadt/Land-Verteilung gerade deswegen neue Ansätze zur Untersuchung von Dynamiken, weil sie ihrerseits die Grenzen und Möglichkeiten der Strukturierung von Systemen der Wasser- bzw. Nahrungsversorgung mit bedingen.

In *demons* wird nicht beabsichtigt, einerseits Versorgungssysteme und andererseits die Bevölkerungsdynamik getrennt zu modellieren und beides anschließend wieder

miteinander in Beziehung zu setzen. Dies ist allein deswegen unangemessen, weil eine Bevölkerung als Nutzer eines Versorgungssystems eine gewichtige Einflussgröße darstellt. Diesen Punkt wollen wir gleich noch etwas genauer ins Auge fassen.

In der Entfaltung des Modells für konkrete Problemlagen ist es darüber hinaus erforderlich, räumliche und zeitliche Abgrenzungen vorzunehmen. Einerseits ist die Bevölkerungsdichte und die räumliche Verteilung einer Bevölkerung von wesentlicher Bedeutung, da sich je nach Fallkonstellation unterschiedliche Problemlagen ergeben. Andererseits muss bei der Analyse von Wechselwirkungen und Rückkopplungen zwischen kurzfristigen und langfristigen Prozessen unterschieden werden. Ein Beispiel hierfür liefert die Wasserversorgung einer schrumpfenden Bevölkerung in Ostdeutschland. Dort zeigt sich ein räumliches Nebeneinander unterschiedlicher Entwicklungen: Regionen mit Wachstum bzw. Stagnation stehen großen Gebieten mit starkem Bevölkerungsrückgang gegenüber. Die Funktionsfähigkeit der Anlagen der Wasserver- und Abwasserentsorgung setzt jedoch eine bestimmte Bevölkerungsgröße und -dichte voraus. Infrastrukturanlagen haben eine lange Lebensdauer; die Nachfrageentwicklung ist so langfristig jedoch nur beschränkt prognostizierbar, da sich kleinräumige Bevölkerungsentwicklungen, die sich aufgrund der starken Bedeutung der Binnenmigration (für große Zeiträume) nur schwer vorhersagen lassen. Damit wird das Überlagern von kurz- und langfristig wirkenden Prozessen zentral für die Modellbildung.

Zum Verhältnis von Nutzern und Bevölkerung

Die Nutzer von Versorgungsgütern und -dienstleistungen und die Bevölkerung sind nicht identisch; je nach untersuchtem Versorgungssystem muss die Gruppe der Nutzer unterschiedlich differenziert werden. In der Wasserversorgung etwa handelt es sich bei den Nutzern um so unterschiedliche Gruppen wie Individuen, Haushalte, Kommunen, Gewerbe, Landwirtschaft, Industrie etc. Bei der Nahrungsversorgung umfasst die Gruppe der Nutzer dagegen nur die Individuen und Haushalte sowie die Gruppe derjenigen, die Nahrungsmittel weiterverarbeiten. Je nach Untersuchungsskala und -frage können unterschiedliche Aufteilungen (Individuen, Haushalte, Kommunen, Verbrauchssektoren, Stadt- vs. LandbewohnerInnen etc.) getroffen werden.

Unterschiede zwischen den Nutzergruppen bestehen zum einen in dem Verbrauchsanteil der Versorgungsgüter (der sich bei Wasser noch annähernd bestimmen lässt, kaum jedoch bei Nahrungsmitteln). Weitere Unterschiede bestehen in den zeitlichen, qualitativen und quantitativen Bedarfsmustern, in den Zugangsmöglichkeiten bzw. -wegen zum Versorgungssystem sowie in kulturell-symbolischen geprägten Formen der Nutzung (z. B. Verzehr von Schweinefleisch, Reinheitsvorschriften bei Wasser). Zu berücksichtigen sind zudem Unterschiede *innerhalb* der einzelnen Nutzergruppen.

Hinsichtlich der Bedeutung der Populationsdynamik für die Nutzergruppen wird die Hypothese vertreten, dass die Bevölkerungsdynamik direkte Einwirkungen auf die Struktur der Nutzergruppe Individuen und Haushalte hat (z. B. Bevölkerungsgröße und -dichte, Altersstruktur, Haushaltsstruktur etc.) und damit den Bedarf an Versorgungsgütern und -dienstleistungen bestimmt. Jedoch kann nicht von einem linearen oder proportionalen Einfluss zahlenmäßiger Bevölkerungsveränderungen ausgegangen werden, da auch Verhaltensmuster und technologische Änderungen den Bedarf und Verbrauch bestimmen. Beispielsweise spielen beim Wasserverbrauch Umweltbewusstsein, Verhaltensmuster (z. B. bei Körperpflege) und Entwicklungen der Haushaltstechnologie (z. B. wassersparende Geschirrspüler) eine bedeutende Rolle (Hummel / Lux 2005). Der Bedarf an und Verbrauch von Nahrungsmitteln ist nicht nur abhängig von soziodemographischen Merkmalen wie Alter und Geschlecht, sondern von sozialstrukturellen Merkmalen, Haushaltstypen und Lebensphasen (Stieß / Hayn 2005). Die einfache Gleichung: mehr / weniger Menschen = mehr / weniger Ressourcenverbrauch ist daher irreführend. Es ist vielmehr ein Zusammenspiel von qualitativen und quantitativen demographischen Veränderungen, technologischen Veränderungen und Verhaltensformen, welche den Konsum von Versorgungsgütern beeinflussen.

Zum Verhältnis von Bedarf, Verbrauch und Verfügbarkeit

Bei der Analyse von Wechselwirkungen zwischen Bevölkerungsveränderungen und Versorgungssystemen sind der Bedarf an und Verbrauch von Gütern und -dienstleistungen zentrale Größen, welche die Interaktion der Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen auszeichnen. Dabei stellt sich die Frage: Ist es der Verbrauch der Nutzer oder der Bedarf, welcher heute und in Zukunft die Art der Versorgung bestimmt? Zwischen den drei Kategorien Bedarf, Verbrauch und Verfügbarkeit besteht ein enger Zusammenhang, doch ist eine differenzierte Betrachtungsweise erforderlich, um die Relevanz der Bevölkerungsdynamik zu ermitteln:

- Die Versorgung mit Wasser und Nahrungsmitteln richtet sich auf die Befriedigung elementarer, lebensnotwendiger Bedürfnisse. Für die Modellierung unterscheiden wir zwischen individuellen Bedürfnissen, die im Kern unbestimmt sind (Hummel / Becker, in Vorbereitung) und dem gesellschaftlichen Bedarf als einer Größe, die abhängig ist von der Bevölkerungsdynamik. Im Hinblick auf die Bereitstellung von Gütern und Dienstleistungen durch Versorgungssysteme sprechen wir vom *Bedarf* der Bevölkerung, der sich prinzipiell quantifizieren lässt. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Ermittlung des Bedarfs an Nahrungsmitteln und Wasser mit Schwierigkeiten verbunden ist, da sich kaum ein universell gültiger Wert für einen menschlichen Mindestbedarf bestimmen lässt. Der Bedarf an Kalorien und Mineralien hängt insbesondere von Alter, Geschlecht, Körperstatur und -aktivität, Lebensweisen und Gesundheitszustand ab. Für jedes Alter und Geschlecht gibt es Durchschnittswerte. Bei dem Bedarf nach Nahrungsmitteln sind überdies nicht nur kalorische und energetische Aspekte zu beachten, sondern auch kulturelle Besonderheiten der Ernährungsweise. Auch hinsichtlich

der Mindestmenge für den täglichen individuellen Wasserbedarf variieren die Angaben. Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ) setzt 20-40 Liter, die Vereinten Nationen 50 Liter/Tag/Person als Maßstab an (Edig 2001: 69). Ebenso geht Gleick (1996) von einem individuellen Bedarf von 50 Litern pro Tag aus, der Trinkwasser (3 L), Wasser für sanitäre Einrichtungen (20 L), für die Zubereitung von Essen (10 L) sowie Hygiene (15 L) umfasst⁵. Der Bedarf der Individuen (nach Trinkwasser, Nahrungsmitteln) wird vielfach als objektivierbar betrachtet, doch handelt es sich zugleich um eine stark normative Größe. Bei der Modellierung ist die Unterscheidung von Bedarf und Verbrauch daher grundlegend. Sie ermöglicht auch einen Soll-Ist-Vergleich, der letztlich auch für prognostische Zwecke bedeutsam ist. Die dargestellten Kennzahlen für den Mindestbedarf können so als Richtwerte genutzt werden, um Defizite der Versorgung auszuweisen.

- Hinsichtlich des *Verbrauchs* wird im Projekt von der Annahme ausgegangen, dass die Qualität und Intensität des Verbrauchs von Wasser und Nahrungsmitteln entscheidend sind, nicht nur die Bevölkerungsgröße und -dichte. Kennzahlen wie der auf einer hohen Aggregationsebene ermittelte Pro-Kopf-Verbrauch sind somit nicht ausreichend, da lokal spezifische Nutzungsmuster sowie die unterschiedlichen Nutzungszwecke (z. B. Wasser als Lebensmittel, für die landwirtschaftliche Bewässerung etc.) zu unterscheiden sind. Wie der Verbrauch in die Modellierung eingeht, hängt auch von der Kurz- oder Langfristigkeit des Modells ab: Bei kurzfristigen Betrachtungen kann der Verbrauch die relevante Größe sein, da sich hierüber die Nutzungsmuster abbilden lassen. Langfristig ausgerichtete Modellierungen müssen jedoch die Verbrauchsmuster ins Verhältnis zu Veränderungen oder zu den Grenzen der Verfügbarkeit von Ressourcen setzen. Nur so können die Wirkungszusammenhänge zwischen der Dynamik von Ressourcen und Verbrauchsveränderungen erfasst werden. Zentral ist dies, wenn mit Hilfe der Modellierung Handlungsempfehlungen für die zukünftige Gestaltung der Versorgung abgeleitet werden sollen.
- Bei der *Verfügbarkeit* der Ressourcen sind natürliche und soziale Faktoren zu berücksichtigen. Zu den natürlichen Faktoren zählen vor allem die räumliche und zeitliche Verteilung von Ressourcen; klimatische und saisonale Variabilitäten bestimmen die Verfügbarkeit. Probleme der Verfügbarkeit von Wasser beispielsweise resultieren aus der räumlichen Variabilität und zeitlichen Fluktuationen im Frischwasserdargebot und der Nachfrage (vgl. Feitelson/Chenoweth 2002). Soziale Faktoren werden dort wirksam, wo nicht alle von der Natur ‚angebotenen‘ Stoffe gesellschaftlich auch als nutzbare Ressourcen definiert werden. Diese Definition ist vor allem abhängig von sozialen und ökonomischen Bedingungen

⁵ Im Hinblick auf Wasser ist neben den bekannten weltweit unterschiedlichen Verbrauchszahlen zu unterscheiden, ob es um den Grundbedarf geht oder z.B. auch landwirtschaftlich genutztes Wasser mit einbezogen wird (vgl. Edig 2001: 67).

sowie den institutionellen Mechanismen und technischen Möglichkeiten in den unterschiedlichen Gesellschaften (vgl. Klaphake 2003). Eine Ressource existiert nicht naturgegeben, sondern ist eine Konsequenz aus einer gesellschaftlichen Bedarfssituation. Ferner ist zu beachten, dass die Verfügbarkeit zwar hauptsächlich durch die lokalen Ressourcenvorkommen definiert ist, doch Transport und Außenhandel eine Ausweitung der zur Verfügung stehenden Ressourcen erlauben. So werden Lebensmittel nahezu global verfügbar, Orte der Produktion müssen nicht mehr mit den Orten der Konsumption zusammenfallen. Ähnlich verhält es sich mit Wasser unter dem Gesichtspunkt Virtuellen Wasserhandels⁶.

Bei der Modellierung ist es nicht möglich, die gesamte Begriffskette Bedürfnisse – Bedarf – Verbrauch – Verfügbarkeit aufzunehmen. Vielmehr erscheint es sinnvoll, mit einer vereinfachten, aber robusten Begrifflichkeit zu arbeiten. In der theoretischen Arbeit wird die Differenz von Bedarf und Bedürfnissen, Nachfrage, Verbrauch und Verfügbarkeit reflektiert. Aus pragmatischen Gründen konzentriert sich die Modellierung in den Fallstudien zunächst auf die Kategorien des Verbrauchs und die Verfügbarkeit, da bei diesen Größen auf bestehende Daten zurückgegriffen werden kann.

4 Ausblick

Als ein wesentlicher Schritt zur Modellbildung wurde im Projekt auf Grundlage der Präzisierung des Konzepts der „Versorgungssysteme“ ein allgemeines konzeptionelles Modell erarbeitet und graphisch dargestellt. Es strukturiert den Wirkungszusammenhang von Bevölkerungsveränderungen und Versorgungssystemen und die dabei wesentlichen Elemente aus sozial-ökologischer Sicht. In den disziplinären Teilprojekten und Fallstudien wurde dieses Strukturmodell weiter ausgearbeitet und spezifiziert (Hummel et al. 2003). Auf diese Weise gelang eine erste fachübergreifende Integration, die es ermöglichte, zentrale Faktoren für den Wirkungszusammenhang von Bevölkerungsdynamik und Versorgungssystemen auszubuchstabieren, auf die sich alle beteiligten Disziplinen beziehen.

Die Strukturierung von Zusammenhängen und Beziehungen sowie die Identifikation wesentlicher Faktoren ist die eine Seite der Modellbildung, die Beschreibung von Dynamiken und Veränderungen die andere, um differenzierte Aussagen über das Netz der Wirkungszusammenhänge treffen und Ursachen für Regulationsstörungen der Versorgungssysteme erkennen zu können. Die in diesem Band diskutierten un-

⁶ Virtuelles Wasser bezieht sich auf Wasser, welches für die Produktion von Gütern wie Nahrungsmitteln notwendig ist und meint die Menge an Wasser, die in einem Produkt wie z.B. Weizen „eingebettet“ ist. Der Handel mit virtuellem Wasser bietet die Möglichkeit des Wasseraustauschs zwischen Ländern. Ein Ausgleich der negativen Wasserbilanz in Ländern mit Wasserknappheit kann dadurch erreicht werden, dass diese ihre Verfügbarkeit an Wasser durch den Import ‚virtuellen‘ Wassers in Form von wasserintensiven Gütern wie Getreide erhöhen (zum Konzept des Virtuellen Wasserhandels siehe Allan 2003; Hoekstra/Hung 2001; Schultz 2004).

terschiedlichen Ansätze geben dafür zahlreiche Anregungen. In der weiteren Modellbildung müssen nun in einer Ursache-Wirkungsanalyse die maßgeblichen Prozesse genauer ausgewiesen werden. Dazu müssen die Beziehungen zwischen den verschiedenen Bestandteilen nach ihrer verstärkenden oder schwächenden Wirkung klassifiziert und danach Wechselwirkungen identifiziert werden. Dies erfolgt auf Basis des empirischen Materials aus den Fallstudien.

Literatur

- Allan, Jonathan Anthony (2003): Virtual Water: the Water, Food and Trade Nexus – Useful Concept or Misleading Metaphor? In: *Water International*, Vol. 28, Number 1, 4-11
- Becker, Egon/Thomas Jahn (2003): Umriss einer kritischen Theorie gesellschaftlicher Naturverhältnisse. In: G. Böhme/A. Manzei (Hg.): *Kritische Theorie der Technik und Natur*. München, 91-112
- Billari, Francesco C./Alexia Prskawetz (Eds.): *Agent-Based Computational Demography. Using Stimulation to Improve Our Understanding of Demographic Behaviour*. Heidelberg/New York
- Boserup, Ester (1976): Environment, Population and Technology in Primitive Societies. In: *Population and Development Review* 2, 21-36
- Boserup, Ester (1981): *Population and Technological Change*. Chicago: University of Chicago Press
- Edig, Annette van (2001): *Die Nutzung internationaler Wasserressourcen: Rechtsanspruch oder Machtinstrument?* Baden-Baden
- Duncan, Otis Dudley (1966): Human Ecology and Population Studies. In: Ph.M. Hauser/O.D. Duncan, (Eds.): *The Study of Population*. Chicago/London, 678-716
- Gandolfi, Alberto (2001): *Von Menschen und Ameisen. Denken in komplexen Zusammenhängen*. Zürich
- Gleick, Peter H. (1996): Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting basic Needs. In: *Water International* 21, 83-92
- Hoekstra, Arjen/P.Q. Hung (Eds.) (2002): *Virtual Water Trade – a Qualification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade*. UNESCO-IHE, Delft, Value of Water Series.
- Hummel, Diana et al. (2003): *Die Versorgung der Bevölkerung. Wirkungszusammenhänge von demographischen Entwicklungen, Bedürfnissen und Versorgungssystemen. Forschungskonzept*. Frankfurt am Main (demons working paper 1).
- Hummel, Diana et al. (2004): *Versorgungssysteme als Gegenstand sozial-ökologischer Forschung: Ernährung und Wasser*. Frankfurt am Main (demons working paper 2).
- Hummel, Diana/Alexandra Lux (2005): *Die Bedeutung des demographischen Wandels für die Wasserversorgung. Beitrag auf der Tagung „Wege zur Nachhaltigkeit“*. Die Zukunft der Ver- und Entsorgungssysteme. Bonn, 5. April 2005 (Abstract: www.sozial-oekologische-forschung.org)

- Indian National Science Academy/Chinese Academy of Sciences/U.S. National Academy of Sciences (2001): Growing Populations, Changing Landscapes. Studies from India, China, and the United States. Washington, D.C.
- Kingsland, Sharon E. (1995): Modelling Nature. Episodes in the History of Population Ecology. (2nd Ed.). Chicago/London
- Klaphake, Axel (2003): Wasser als Schlüsselressource für nachhaltige Entwicklung. In: J. Kopfmüller (Hg.): Den globalen Wandel gestalten. Berlin, 149-174
- Marquette, Catherine/Richard E. Bilsborrow (1999): Population and Environment Relationships in Developing Countries: Recent Approaches and Methods. In: Sundberg Baudot, Barbara/William R. Moomaw (Eds.): People and Their Planet. Searching for Balance. New York: St. Martin's Press, 29-46
- Poston, Dudley L./W. Parker Frisbie (1998): Human Ecology, Sociology, and Demography. In: M. Micklin/D.L. Poston (Eds.): Continuities in Sociological Human Ecology. New York: Plenum Press, 27-50
- Schultz, Irmgard (2004): Die Naturalisierung und Denaturalisierung der Produktions-Reproduktions-Differenz. In: A. Biesecker/W. Elsner (Hg.): Erhalten durch Gestalten. Nachdenken über eine (re)produktive Ökonomie. Frankfurt am Main, 51-69
- Stieß, Immanuel/Doris Hayn (2005): Ernährungsstile im Alltag. Frankfurt am Main: ISOE-Diskussionspapiere Nr. 24

In der Veröffentlichungsreihe *demons working paper* der interdisziplinären Nachwuchsgruppe *demons – Die Versorgung der Bevölkerung* sind bisher erschienen:

Hummel, Diana/Christine Hertler/Alexandra Lux/Cedric Janowicz (Hg.) (2004): Great Transition. Bewertung des Konzepts der Global Scenario Group in seiner Bedeutung für das Forschungsprojekt „Die Versorgung der Bevölkerung“. Autorinnen: Diana Hummel, Nicole Karafyllis und Christine Hertler. *demons working paper* 4.

Hummel, Diana/Thomas Kluge (2004): Sozial-ökologische Regulationen. *demons working paper* 3.

Hummel, Diana/Christine Hertler/Steffen Niemann/Alexandra Lux/Cedric Janowicz (2004): Versorgungssysteme als Gegenstand sozial-ökologischer Forschung: Ernährung und Wasser. *demons working paper* 2.

Hummel, Diana/Christine Hertler/Steffen Niemann/Alexandra Lux/Kay Schulze (2003): Die Versorgung der Bevölkerung – Wirkungszusammenhänge von demographischen Entwicklungen, Bedürfnissen und Versorgungssystemen. Forschungskonzept. *demons working paper* 1.

Weiterführende Informationen zu den *demons working paper* sowie zu Bestellmöglichkeiten erhalten Sie unter <http://www.isoe.de/litfram.htm> oder über das Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE):

Hamburger Allee 45

60486 Frankfurt am Main

Tel.: +49 (69) 707 69 19 - 0

Fax: +49 (69) 707 69 19 - 11

E-Mail: info@isoe.de

<http://www.isoe.de>

Eigene Webseite des Projekts *demons*: <http://www.demons-project.de>