

Mathematische Modelle und ökologische Erfahrung

Arnim von Gleich und Engelbert Schramm

Synopsis

'Theoretical ecology' is more and more identified with mathematical ecology. But based on earlier concepts of 'theoretical biology' there is the possibility and necessity for research in 'theoretical ecology' on fundamental concepts of ecology and on metatheoretical reflections of ecological approaches. Two main lines of scientific inquiry (galileian-cartesian vs. aristotelian) and, based on this distinction, two main approaches in ecology (mathematical-/model-based vs. experience-/concept-based) are discussed including their scientific fruitfulness and their potential practical/technical consequences.

theoretical ecology, mathematical models in ecology, complexity, singularity, heterogeneity, experiment, experience

'Theoretische Ökologie' droht mit mathematischer Ökologie zunehmend gleichgesetzt zu werden (MAY 1980, SCUDO 1971, SCUDO & ZIEGLER 1976, WISSEL 1989). Ein Ansatz, ein 'Werkzeug' droht den ganzen Gegenstandsbereich zu dominieren. Aufbauend auf den Ansätzen einer 'Theoretischen Biologie' (vgl. z. B. WOLTERECK 1932, von UEXKÜLL 1973) könnte sich dagegen die 'Theoretischen Ökologie' die umfassendere Aufgabe stellen, grundlegende Bestimmungen des Gegenstandsbereichs der Ökologie herauszuarbeiten und auch metatheoretisch zu reflektieren.

Der Einsatz mathematischer Modelle gilt in vielen lehrbuchartigen Übersichten zur Theoretischen Ökologie als das intensivste "Nachdenken über ökologische Fragen in der Sprache der formalen Logik" (vgl. WISSEL 1989:1 aber auch MAY 1980, STUGREN 1978). Die Mathematik bzw. die mathematischen Modelle - die von der 'formalen Logik' noch zu unterscheiden wären (vgl. MERTENS 1990) - werden dabei als neutrale 'Werkzeuge' solchen 'Nachdenkens' angesehen. Auch das naturwissenschaftliche Experiment wird immer wieder als eine bloß methodisch systematisierte 'Frage' an die Natur bezeichnet. Wir möchten zeigen, daß das 'Nachdenken' mit Hilfe dieser Werkzeuge sowie derartige praktische Formen des 'Fragens' die möglichen Antworten 'der Natur' sehr weitgehend bestimmen, weitgehend, als es uns im Hinblick auf das Ziel 'objektiver Erkenntnis' - im Sinne einer 'dem Gegenstand gerecht werdenden Erkenntnis' - lieb sein kann. Wir betonen dabei, daß nicht nur das praktische Experiment, sondern auch das Erstellen von Modellen Formen des Umgangs mit Natur sind, die nach Kriterien (z. B. der Rationalität, der Ethik und Ästhetik) bewertet werden können. Unsere Verantwortung als Wissenschaftler erstreckt sich so gesehen nicht nur auf die Verwendung unserer Forschungsergebnisse, sondern auf den gesamten Erkenntnisprozeß auf alle in ihm vorgenommenen Abstraktionen (vgl. von GLEICH 1989).

1. Wissenschaftsformen: Die galileisch-cartesianische und die aristotelische Linie in der Naturerkenntnis

Wir unterscheiden im naturwissenschaftlichen Abstraktionsprozeß theoretische und praktische Abstraktionen. Bei den praktischen Abstraktionen handelt es sich um experimentelle Eingriffe in den Naturzusammenhang, die der 'Meßbarmachung des zu Messenden' (GALILEI) und/oder der Zurückdrängung bzw. Ausschaltung sogenannter Störfaktoren dienen. Als Störfaktoren werden dabei Naturzusammenhänge bezeichnet, die als für die Fragestellung 'unwesentlich' aus der Untersuchung ausgeschlossen werden sollen. Sowohl bei den praktischen als auch bei den theoretischen Abstraktionen kann wiederum unterschieden werden zwischen einer aufsteigenden und einer absteigenden Abstraktion (vgl. SCHNEIDER 1970).

Bei der 'erfahrungsgeleiteten aufsteigenden Abstraktion' vollzieht sich die theoretische Abstraktion als Verallgemeinerung des Besonderen nach dem Vorbild der sprachlichen Begriffsbildung im Sinne einer Verallgemeinerung direkter - dabei durchaus theoriegeleiteter - Naturerfahrung. Die praktische Abstraktion vollzieht sich entspre-

chend als Aufsuchen 'typischer' Situationen oder Exemplare. 'Induktion' und 'reflexives Urteil' sind mit dieser Abstraktionsform verbundene wissenschafts- bzw. erkenntnistheoretische Begriffe (vgl. HUME 1910, KANT 1977b). Die 'Ähnlichkeit' ist die zentrale Erkenntniskategorie. Auch Quantifizierungen sind in der aufsteigenden Abstraktion durchaus möglich, wenngleich sie nicht zu mathematisch formulierbaren Naturgesetzen, sondern allenfalls zu statistischen Korrelationen führen.

Bei der 'modellgeleiteten absteigenden Abstraktion' wird für ein vorgängiges Abstrakt-Allgemeines (z. B. eine mathematische Gleichung oder ein mathematisches Modell) ein Konkret-Besonderes, ein Beispiel oder ein Anwendungsfall gesucht bzw. experimentell zu realisieren versucht (zum Begriff und Verfahren derartiger 'Realisationen' vgl. HOLZKAMP 1968). 'Hypothetisch-deduktives Schließen' (Vorgehen) und 'bestimmendes Urteil' sind mit dieser Abstraktionsform verbundene wissenschafts- bzw. erkenntnistheoretische Begriffe. Die 'Identität' ist die zentrale Erkenntniskategorie (vgl. KANT 1977a).

Die aufsteigende und die absteigende Abstraktion sind zentrale Elemente unterscheidbarer Formen von Wissenschaft, wobei nach einem gängigen wissenschaftshistorischen Modell (KUHN 1970) die vorwiegend aufsteigend abstrahierenden, begrifflich-qualitativ arbeitenden und historisch-genetische Erklärungen liefernden Disziplinen als 'vorparadigmatisch' (noch nicht richtig wissenschaftlich) und die mathematisch-experimentell arbeitenden, kausal erklärenden Disziplinen als paradigmatisch und 'reif' (mature), als 'harte' Wissenschaft bezeichnet werden. Wir nennen diese beiden Wissenschaftsformen, die sich durch die abendländische Wissenschaftsgeschichte hindurch verfolgen lassen, die aristotelische (erfahrungsgelietete) und die galileisch-cartesianische (modellgeleitete) Linie. Mayr kommt mit seiner biologiehistorischen Unterscheidung einer 'Evolutionbiologie' und einer 'Funktionsbiologie' der von uns vorgenommenen sehr nahe (vgl. MAYR 1984). Einige Erkenntniskategorien und Methoden der beiden Linien sind in Tab. 1 dargestellt.

2. Bewertung nach Kriterien

Für die Bewertung naturwissenschaftlicher Abstraktionen wollen wir zwei Kriterien diskutieren. Beim Kriterium 'Gegenstandsgemäßheit' handelt es sich um ein rein innerwissenschaftliches Kriterium. Mit dem Kriterium 'Eingriffstiefe' wird dagegen auch die potentielle technische Verwertbarkeit der Erkenntnis - einschließlich der auf den jeweiligen theoretischen und praktischen Abstraktionen aufbauenden 'Form' von Technik - zu bewerten versucht (vgl. von GLEICH 1989 und 1990).

2.1 Die industrielle Brauchbarkeit mathematisch-experimenteller Naturerkenntnis

Die Dominanz der Mathematisierung in den Naturwissenschaften und eines Wissenschaftsideals, das sich am Vorbild der klassischen Mechanik orientiert, sind selbst erklärungsbedürftig. Sie sind nur zum Teil mit dem (Fort-)Wirken einer mathematischen Ontologie der Natur oder mit dem innerwissenschaftlichen Ziel einer möglichst hohen Überprüfbarkeit und Reproduzierbarkeit der Erkenntnisse zu begründen. Verstärkt wurde die Tendenz zur Formalisierung und Mathematisierung insbesondere durch die technischen Erfolge einer exakten (mathematisch-experimentellen) Naturwissenschaft, die ihren Gegenstand nicht nur theoretisch sondern auch praktisch-experimentell 'im Griff' hat.

Mit dem Ziel der 'Erklärung' experimentell realisierte kausale Zusammenhänge nach dem 'Immer wenn...dann...-Modell' bildeten die theoretisch-praktische Grundlage für eine (scheinbar) totale - an die Unbedingtheit mathematischer Schlüsse angenäherte - technisch-praktische Beherrschung der Natur. Die innerwissenschaftliche Dominanz der exakten, mathematisch-experimentellen Form von Naturerkenntnis konnte sich somit erst im Wechselspiel mit dem praktischen 'Erfolg' einer auf den Erkenntnissen der mathematisch-experimentellen Physik und Chemie (in jüngster Zeit auch Biologie) aufbauenden Technik und Industrie herausbilden.

2.2 Eingriffstiefe

Die Technologien auf der Wissensbasis der mathematisch-experimentellen Naturwissenschaften, insbesondere die Atomtechnik, die synthetische Chemie und die Gentechnik (und vermutlich auch Techniken des Ökosystemmanagements) sind aber extrem 'eingriffstief', d. h. nicht mehr direkt an den Phänomenen, sondern an den 'Gesetzen dahinter', an der 'Logik' der Phänomene ansetzende Techniken. Sie ermöglichen eine bisher nicht gekannte Macht über die Natur, verbunden mit extrem hohen Risikopotentialen, irreversiblen Folgen und damit auch großen ethischen Problemen.

Die extreme 'Eingriffstiefe' dieser Wissenschaften und der auf ihnen aufbauenden Techniken ist insofern auf die Mathematisierung dieser Disziplinen zurückzuführen, als erst die (neoplatonische) Hypothese von einer Welt ma-

thematischer Zusammenhänge 'hinter' den Phänomenen (bzw. in deren Innerstem) die Leitlinie dafür abgab, auch bis dorthin zur 'wesentlichen' Erkenntnis vorzudringen. Das 'Geheimnis', das wohl jede Wissenschaft zu entschlüsseln sucht, wurde deshalb nicht (mehr) 'zwischen' den Phänomenen (in den 'Beziehungen' zwischen den Phänomenen bzw. Objekten) gesucht - was ein wahrhaft ökologischer Forschungsansatz, ein ökologisches Paradigma wäre -, sondern 'hinter' den Phänomenen bzw. im Innersten der Objekte.

Tab. 1: Erkenntnisprinzipien und -kategorien galileisch-cartesianischer und aristotelischer naturwissenschaftlicher Disziplinen.

	galileisch-cartesianische Linie mathematik-/modellbasiert	aristotelische Linie begriffs-/erfahrungsbasiert
Naturbegriff	mechanistisch bis systemtheoretisch	teleologisch bis evolutionär
Verhältnis zu den Phänomenen	Geheimnis "dahinter"	Geheimnis "dazwischen"
Art der Forschung	Laborwissenschaft	Feldforschung
Erklärungsform	kausal-mechanisch (mono- bis oligokausal)	historisch-genetisch teleonomisch
zentrale Kategorien	Identität Kausalität	Ähnlichkeit (Identifikation) Kontext Genese, Zweck
Form der Verallgemeinerung	absteigende Abstraktion bestimmendes Urteil hypothetisch-deduktiv	aufsteigende Abstraktion reflexives Urteil induktiv
Form des Experiments	Reinigung der Phänomene Isolation herstellende Realisation	systematische Variation Nachspüren, Dialog auswählende Realisation
Form der Objektivierung	Formalisierung von Theorien und Fakten beliebige Reproduzierbarkeit	methodische Selbstdisziplin (z. B. Vermeidung von Anthropomorphismen) Identifizierbarkeit (Belegexemplar)
Form der Quantifizierung	Anpassung des Gegenstands an die mathematische Form, Messen mit identisch gedachten Maßstäben, Ziel sind mathematische Naturgesetze in Form von z. B. Differentialgleichungen oder geometr. Proportionen	Anpassung der mathem. Form an d. Gegenstand, Zählen von identisch gedachten Objekten, statist. Verarbeitung wahrscheinlicher Zusammenhänge/Regelmäßigkeiten

Quelle: v. GLEICH (1989).

2.3 Gegenstandsgemäßheit

Daß die mathematisch-experimentelle Naturerkenntnis 'wesentliches' in ihrem Gegenstand trifft und erkennt - also die 'Gegenstandsgemäßheit' derartiger Naturerkenntnis - muß spätestens seit dem Zusammenbruch der ontologischen Annahme, die Natur sei eben in ihrem Innersten 'einfach' und 'mathematisch', explizit begründet werden. In der Physik und Chemie mit ihren experimentell vergleichsweise gut zurechtbaren 'Gegenstandsbereichen' und ihren darauf aufbauenden praktischen Erfolgen konnte noch lange geglaubt werden, daß das Abstrakt-Allgemeine (das in mathematischen Gleichungen Darstellbare) auch das 'Wesentliche' sei, daß mit den mathematischen Proportionen und Differentialgleichungen die 'Logik' (das verborgene Wesen) der Natur erfaßt werde. In der Ökologie wurde dagegen von Anfang an deutlich, daß die Experimente das 'zu Erkennende' (zer)stören und die mathematischen Modelle in den überwiegenden Fällen so sehr ihren Gegenstand (das ökologisch Wesentliche) verfehlen, daß selbst mithilfe gewaltiger theoretischer und praktisch-experimenteller Abstraktionen Modell und Wirklichkeit nicht annähernd zur Deckung zu bringen sind. Die 'Gegenstandsgemäßheit' von Theorien leidet hier allzu offensichtlich unter der Dominanz des Ideals einer bestimmten Form von Wissenschaft.

Es geht uns keineswegs um eine Verteufelung jeder Form von Mathematisierung oder gar Abstraktion. Was für 'wesentlich' gehalten wird und was für 'unwesentlich' (die Abstraktion) muß nur begründet werden. Deshalb sehen wir v. a. in der unhinterfragten Vorgängigkeit mathematischer Modelle, in der Form der verwendeten Mathematik und in der Dominanz mathematischer Modelle im Erkenntnisprozeß das Problem. Gelten nicht allzusehr diejenigen Phänomene, Aspekte und Faktoren als wesentlich, die ins Modell passen, und diejenigen, die nicht hineinpassen als unwesentlich? Ein bißchen scheint die Dominanz der Modelle im Erkenntnisprozeß sogar auf das Verhältnis von Modelleuren und Empirikern abzufärben. Letzteres wird gelegentlich in Diskussionsbeiträgen sogar als hegemoniales, als "Räuber-Beute-Verhältnis" beschrieben (so z. B. ELLENBERG in der Sektion III 'Theoretische Ökologie' auf der Jahrestagung der GFÖ 1983 in Bremen).

Es ist nun zu diskutieren, was nach dem Wegfall der ontologischen Begründung eigentlich noch für die Hypothese einer prinzipiellen Gegenstandsgemäßheit mathematischer Formeln in der Naturerkenntnis (im Sinne des Vorurteils, das 'mathematisch Darstellbare' sei das 'Wesentliche') spricht, und ob nicht die gegenteilige Annahme wissenschaftstheoretisch eher geboten und forschungspragmatisch für die Weiterentwicklung der Ökologie als Wissenschaft auch fruchtbarer wäre.

3. Mathematische Modelle in der Ökologie

Historisch war es das Anliegen von frühen Modelleuren wie Alfred LOTKA und insbesondere Vico VOLTERRA, die im Bereich der Physik so erfolgreiche Vorgehensweise auch auf den Gegenstandsbereich der Biologie auszuweiten. Die dafür zunächst als grundlegend ausgewählten mathematischen Formalismen waren Ableitungen jener Gleichungssysteme, die bei der Vereinheitlichung der Physik verwendet worden waren. Die biologische Ökologie galt also für ihre frühen Modelleure als reduzierbar auf die gleichen Prinzipien, die für die Physik in mathematischer Weise formuliert worden waren (vgl. SCHRAMM 1982).

In den 60er und 70er Jahren wurden auf der Basis neuer mathematischer und (computer)technischer Möglichkeiten große Hoffnungen mit diesem Ansatz verbunden. In den Diskussionen der Theoretischen Ökologie des vergangenen Jahrzehnts ist allerdings die anfängliche Euphorie über die Möglichkeiten der mathematischen Modellbildung in dieser Disziplin immer wieder relativiert worden (vgl. z. B. PIELOU 1981, HALL & DEANGELIS 1985, MCINTOSH 1987).

Als Vorteil des Einsatzes mathematischer Modelle wird herausgestellt, daß mit ihnen das fehlerhafte Vorgehen einer in den Anfängen der Disziplin vorherrschenden eher deskriptiven und primär Daten sammelnden Ökologie vermieden werden könnte (vgl. hierzu auch TREPL 1987). Die mathematische Modellierung soll dazu dienen, erst einmal einen theoretisch-ökologisch sinnvollen Interpretationsrahmen zu stiften. REMMERT schreibt: "Die Zusammenarbeit mit einem Theoretiker zwingt zu ganz klaren Fragestellungen, zu ganz klaren Antworten auf diese Fragestellungen und entwickelt dann neue, wiederum ganz klare Fragestellungen, die der Experimentator zu analysieren hat" (REMMERT 1984: 300).

Während die Entwicklung nicht-mathematischer Modelle seit längerem stagniert (vgl. hierzu den Überblick bei HALBACH 1974), scheint trotz der die Mathematisierungseuphorie relativierenden Diskussion der frühen achtziger Jahre zumindest in der theoretischen Metareflexion die Dominanz und Vorbildhaftigkeit mathematischer Modelle in der Ökologie noch ungebrochen zu sein.

Die Dominanz bzw. Überbetonung mathematischer Modelle in der Theoriebildung dürfte jedoch erhebliche Auswirkungen für die Entwicklung der Ökologie als Disziplin haben. Es ist zu befürchten, daß sich auf diese Weise

die Abstraktionsform der exakten, der mathematisch-experimentellen Naturwissenschaften auch in dieser - von Beginn an vom Wettstreit konkurrierender Wissenschaftsformen geprägten - Disziplin endgültig durchsetzt, und daß darunter vor allem die gerade in der europäischen Ökologie noch vielfach anzutreffende, nur über längere Zeiträume hinweg erwerbare, direkte (Natur-)Erfahrung leidet. Zu befürchten sind insofern auch problematische Auswirkungen auf die Ausbildung von Ökologen. Mathematische Modelle dürften viel schneller aneignbar sein als 'ökologische Erfahrung', die im wesentlichen 'im Feld' gewonnen werden muß.

3.1 Die Subsumtion der Realität unter die Modelle

In der biologischen Ökologie geht - ebenso wie in den exakten Naturwissenschaften - die mathematische Modellbildung noch fast ausschließlich den Weg von allgemeingültigen Modellen zu solchen, die biologische Begründungen versuchen. Selbst wenn ein Modelleur gebeten wird, für einen bestimmten Problemzusammenhang, der aufgrund der Ergebnisse der empirischen Forschung bereits erkannt und festgelegt worden ist, ein spezielles Modell zu entwickeln, werden im Wesentlichen vorab (woanders) erzeugte Modelle bloß 'spezifiziert'.

Daß dieser ganz in der absteigenden Abstraktion verbleibende Weg der 'Spezifizierung der Modelle' (Anpassung an die Wirklichkeit) in der Ökologie immerhin über den Weg der experimentellen Realisierung der Modelle (Anpassung der Wirklichkeit) dominiert, dürfte zumindestens teilweise darauf zurückzuführen sein, daß der Eingriffscharakter von Experimenten, die solche Modelle zu realisieren versuchen, im Bereich der Ökologie wesentlich augenfälliger ist. Die Akzeptanz der Gültigkeit von Theorien in 'idealen Welten' bzw. in experimentell gereinigten Laborwelten war hier nicht ähnlich groß wie in der Physik, von der zumindest am Anfang nicht verlangt worden ist, daß sie auch das Wetter erklärt.

3.2 Die praktische Annäherung der Realität an die Modelle

Eine Annäherung der Realität an die mathematischen Modelle erfolgt jedoch nicht nur über den zumindest in der ökologischen Theoriebildung weniger beschrittenen Weg der praktischen Abstraktionen in modellgeleiteten naturwissenschaftlichen Experimenten, sie vollzieht sich auch real gesellschaftlich. Die gesellschaftliche, die außerwissenschaftliche Zurichtung der Natur kann deren Mathematisierbarkeit durchaus entgegenkommen.

Der Transfer von Modellen aus der Mechanik bzw. der physikalischen Chemie in die biologische Ökologie begann mit VOLTERRA und LOTKA. Die dynamische Entwicklung von Populationen wurde gleichgesetzt mit der (ebenso idealisierten) Reaktionsdynamik stofflicher Umsetzungen in einer chemischen Fabrik. Die transferierten Formalismen und die auf ihnen aufbauenden Modellvorstellungen eigneten sich daher für die Optimierung des Reaktionsgeschehens (z. B. eine Erhöhung des zeitlichen Stoffumsatzes bei Verminderung des Energieeinsatzes). So gesehen erstaunt es schon weniger, daß die derivierten Modelle insbesondere in Bereichen der 'Angewandten Ökologie' gewisse Erfolge zeitigten. So lassen sich z. B. die LOTKA/VOLTERRA-Modelle bei der Beschreibung und Interpretation von 'Biomanipulationen' in Stauseen verwenden. Stauseen lassen sich wohl noch am ehesten als wirtschaftlich ausbeutbare Wenig-Arten-Systeme ähnlich abgeschlossen betrachten und beschreiben wie chemische Reaktoren und deren Kinetik. Wo also Ökosysteme bzw. die 'Natur' als Fabriken gedacht werden (bzw. zu Fabriken gemacht werden), wo von Organismen(gruppen) soweit abstrahiert wird, daß nur noch die funktionalen Beziehungen zwischen ihnen betrachtet und diese optimiert werden, kann ein derartiges Modelldenken durchaus erfolgreich sein.

Auch die Rückwirkungen der mathematischen Theorien über die Natur auf unsere wissenschaftliche und (Alltags-)Wahrnehmung von Natur sind zu beachten. Universalistische Gesichtspunkte, die aus der Modellistik stammen, prägen heute bereits weitgehend nicht nur die ökologisch-wissenschaftliche, sondern auch die Alltagserfahrung von Natur (vgl. DINNEBIER 1985, REGELMANN & SCHRAMM 1986).

3.3 Komplexität und Einzigartigkeit - Probleme und Lösungsansätze

Wir hatten schon erwähnt, daß die Mathematisierung forschungspragmatisch mit dem damit einhergehenden Gewinn an Klarheit, Stringenz, Allgemeingültigkeit und Überprüfbarkeit begründet wird. Ein Blick in die Forschungspraxis zeigt aber, daß dieses Versprechen bisher nur ungenügend eingelöst werden konnte. Die absteigende Vorgehensweise einer verfeinernden Abwandlung universalistischer Modelle hat sich vielmehr forschungspragmatisch als ziemlich problematisch erwiesen. Jede genauere Spezifizierung eines biologisch-ökologischen Sachverhaltes schränkt den Anwendungsbereich des zur Darstellung gewählten Modells ein und ist gleichzeitig mit einer Komplizierung des Modells verbunden. "Das Vordringen ins Detail", heißt es bei WISSEL, "muß deshalb auf der Ebene der Modellistik relativ früh ein Ende finden" (WISSEL 1989: 34). Die immer komplizierter werdenden mathematischen Modelle sind nämlich kaum noch intersubjektiv überprüfbar.

Wird versucht, die mathematischen Modelle an die Realität anzupassen, führt das zum Verlust des gerade an ihnen geschätzten Charakters, ihrer Universalität, Klarheit und Stringenz. Dies macht sich z. B. in einem erhöhten

rechentechnischen Aufwand und einer abnehmenden Verlässlichkeit der 'konkretisierten' Modelle bemerkbar (vgl. WISSEL 1989: 75). Auch das erklärte Ziel der Modellierung, eine verbesserte Durchdringung und Ordnung der erhobenen Daten bzw. eine bessere Konzeption von Experimenten und Untersuchungen, scheint so kaum erreichbar zu sein.

Daß beim Versuch, Modell und Wirklichkeit in Übereinstimmung zu bringen, die 'Komplexität' und die 'Einzigartigkeit' ökologischer Sachverhalte zu Schlüsselproblemen der 'Mathematischen Ökologie' werden konnten, ist u. E. weniger dem Charakter ihres 'an sich' so außergewöhnlich komplexen und einzigartigen Forschungsgegenstandes, sondern eher dem Charakter ihrer mathematisch-deduktiven Forschungsmethode geschuldet, die genau damit die größten Schwierigkeiten hat. Sowohl die Menschen in ihrer Alltagspaxis als auch eine nicht-mathematische Ökologie scheinen ja mit der Komplexität der Welt bzw. Natur und der Einzigartigkeit der Dinge nicht dieselben Schwierigkeiten zu haben.

Angesichts dieser Schwierigkeiten werden nun neue Formen der Mathematisierung (insbesondere Computersimulationen) ökologischer Zusammenhänge vorgestellt. Sie werden mit dem Anspruch verbunden, damit die bekannte Inadäquatheit der bisherigen mathematischen ökologischen Modelle zu überwinden (vgl. HUSTON & al. 1988, BRECKLING 1990) und sogar eine neue, mehrere Aggregationsebenen übergreifende theoretische 'Einheit' der ökologischen Theorie zu begründen (vgl. HUSTON & al. 1988). Als mit den neuen Modellen zu lösende Probleme werden vor allem angeführt, die Berücksichtigung der räumlichen und organismischen Heterogenität, der Singularität, Zeit- und Ortsabhängigkeit, Historizität, Komplexität und Variabilität ökologischer Phänomene/Ereignisse, der 'Binnenstruktur' von Organismen/Populationen/Gemeinschaften (Größe, Ontogenese, Variabilität) und der Individuenbasiertheit von Handlungen und Beziehungen.

Bei den aufgezählten Problemfeldern handelt es sich genau um diejenigen Bereiche, in denen die mathematische Form der Theorie in den größten Widerspruch zur Verfaßtheit des zu modellierenden Gegenstandes gerät. Die Eigenschaften, die ein 'Gegenstand' haben muß, um 'Objekt' in einer mathematisch formulierten Theorie werden zu können, sind ja nicht nur Kants 'Kritik der reinen Vernunft' sondern auch der mathematischen Grundlagendiskussion zu entnehmen (vgl. KANT 1977a, MERTENS 1990). In diesen Diskussionen wurde insbesondere auf die eindeutige Abgrenzbarkeit und innere Homogenität von Objekten, auf deren Identität mit sich selbst in der Zeit sowie auf die Linearität und Kontinuität von Prozessen hingewiesen. Es dürfte schwer zu begründen sein, daß den wesentlichen (oder vielen) natürlichen 'Objekten' der Ökologie solche Eigenschaften zukommen, bzw. daß sie experimentell verwirklicht bzw. gesichert werden könnten.

Es erscheint uns deshalb ausgesprochen fraglich, ob Komplexität und Singularität wirklich die zentralen in der ökologischen Theorie zu lösenden Probleme sind. Wir gehen eher davon aus, daß es sich um die spezifischen Probleme 'dieser Form von Theorie' handelt, die wieder einmal zutage treten bzw. thematisiert werden, wobei die Probleme schon so formorientiert umformuliert wurden, daß ihre 'Lösung' innerhalb des Paradigmas der mathematischen Ökologie (also abstrakt-formal) bewältigbar erscheint.

Dies wäre der Versuch einer im mathematischen Paradigma verbleibenden Lösung der Dilemmata der mathematischen Ökologie. Sind dazu noch Alternativen denkbar? Gibt es Chancen für ein erfolgreich konkurrierendes Paradigma? Wir vermuten, daß diese Fragen mit Blick auf die eher aristotelische Linie in der Ökologie zu bejahen sind, daß die Weiterarbeit an nicht-mathematischen Modellen fruchtbarer ist (vgl. WOLTERECK 1932 und den Überblick bei HALBACH 1974).

Die mathematische Ökologie segelte von Anfang an mit Rückenwind, weil sie eher dem am Vorbild der (klassischen) Physik geprägten Wissenschaftsideal exakter Naturwissenschaften entspricht. Doch 'weiche' Theorieformen gewinnen auch in den anderen Naturwissenschaften an Einfluß. Insofern stehen die Chancen für einen gleichberechtigteren 'Pluralismus' nicht nur in der Ökologie insgesamt (MCINTOSH 1987) sondern auch in ihrer Subdisziplin 'Theoretische Ökologie' nicht schlecht.

Literatur

- BRECKLING, B., 1990: Singularität und Reproduzierbarkeit in der Modellierung ökologischer Systeme. Dissertation Universität Bremen.
- DEANGELIS, D. L. & J. C. WATERHOUSE, 1987: Equilibrium and Non-Equilibrium Concepts in Ecological Models. Ecological Monographs 57 : 1 - 21.

- DINNEBIER, A., 1985: Biokybernetik, Ökostadt und Valium. Ballungsgebiete in der Krise und ihre Rettung durch Frederic VESTER. In: W. HAMMANN & Th. KLUGE (Hrsg.): In Zukunft. Berichte über den Wandel des Fortschritts.- Rowohlt, Reinbek: 136 - 152.
- v. GLEICH, A., 1989: Der wissenschaftliche Umgang mit der Natur. Über die Vielfalt harter und sanfter Naturwissenschaften.- Campus, Frankfurt a. M.
- v. GLEICH, A., 1990: Eingriffstiefe, Werkzeugcharakter und Mitproduktivität als Kriterien der Technikbewertung und Technikwahl. In: RAUNER, F. (Hrsg.): Getalten eine neue gesellschaftliche Praxis. - Verlag Neue Gesellschaft, Bonn.
- HALBACH, U., 1974: Modelle in der Ökologie. Naturwissenschaftliche Rundschau 27: 3 - 15.
- HALL, C. A. S. & D. L. DEANGELIS, 1985: Models in ecology: paradigms found or paradigms lost? Bulletin of the Ecological Society of America 66: 339 - 346.
- HOLZKAMP, K., 1968: Wissenschaft als Handlung. - Dunker & Humblodt, Berlin.
- HUSTON, M., DEANGELIS, D. & POST, W., 1988: New computer models unify ecological theory. BioScience 38 (10): 682-691.
- HUME, D., 1910: Untersuchung über den menschlichen Verstand. - Kröner, Leipzig.
- KANT, I., 1777a: Kritik der reinen Vernunft (1787). In: Werke, hrsg. v. WEISCHEDER, Bd. III und IV. - Suhrkamp, Frankfurt a. M.
- KANT, I., 1777b: Kritik der Urteilskraft (1799). In: Werke, hrsg. v. WEISCHEDER, Bd. X. - Suhrkamp, Frankfurt a. M.
- KUHN, Th., 1970: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen (1962). - Suhrkamp, Frankfurt a. M.
- MAY, R. M., Hrsg., 1980: Theoretische Ökologie. - Verlag Chemie, Weinheim.
- MAYR, E., 1984: Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. - Springer, Berlin.
- MCINTOSH, R. P., 1987: Pluralism in Ecology. In: Ann. Rev. Ecol. Syst. 18: 321-41.
- MERTENS, H., 1990: Sprache Mathematik. Frankfurt a. M.
- PIELOU, E. C., 1981: The usefulness of ecological models: A stock-taking. Quarterly Review of Biology 65: 17 - 31.
- REGELMANN, J.-P. & E. SCHRAMM (Hrsg.), 1986: Wissenschaft der Wendezeit - Systemtheorie als Alternative? Frankfurt a. M.
- REMMERT, H., 1984: Ökologie. Ein Lehrbuch. - Springer, Berlin.
- SCHNEIDER, J., 1970: Historische und systematische Untersuchungen zur Abstraktion. Dissertation Erlangen.
- SCHRAMM, E., 1982: Fische und Zahlen. Wechselwirkung 4(4): 24 - 27.
- SCHRAMM, E., 1984: Die Rolle der Theoretischen Ökologie bei der Erforschung der sozial konstituierten Natur. Dialektik 9: 138 - 148.
- SCUDO, F. M., 1971: Vico Volterra and theoretical ecology. Theoretical Population Ecology 2: 1 -23.
- SCUDO, F. M., & J. R. Ziegler, 1976: Vladimir Aleksandrovich Kostizin and theoretical ecology. Theoretical Population Ecology 10: 395 - 412.
- SMITH, F. E., 1952: Experimental methods in population dynamics: A critique. Ecology 33: 441 - 450.
- STUGREN, B., 1978: Grundlagen der Allgemeinen Ökologie. - Fischer, Jena.
- TREPL, L., 1987: Geschichte der Ökologie. - Athenäum, Frankfurt a. M.
- v. BEXKÜLL, J., 1973: Theoretische Biologie. - Suhrkamp, Frankfurt a. M.
- VAN VALEN, L., & F. A. PITELKA, 1974: Commentary - Intellectual censorship in ecology. Ecology 55: 925 - 926.
- WISGEL, C., 1989: Theoretische Ökologie. Eine Einführung. - Springer, Berlin.
- WÖLTERECK, R., 1932: Grundzüge einer allgemeinen Biologie. - Enke, Stuttgart.

Adressen

Dr. Armin von Gleich
z. Zt. Wissenschaftliches Zentrum III 'Mensch-Umwelt-Technik'
Gesamthochschule Kassel
Fiedls.str. 20

3500 Kassel

Engelbert Schramm
Institut für sozialökologische Forschung
Hamburger Allee 45

6000 Frankfurt a. M. 90

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [21_1992](#)

Autor(en)/Author(s): Gleich Armin von, Schramm Engelbert

Artikel/Article: [Mathematische Modelle und ökologische Erfahrung 15-21](#)