

ZUKUNFTSORIENTIERTE UMWELTFORSCHUNG IM RAHMEN DES DEUTSCHEN MAB-PROGRAMMS

Otto Fränzele

ABSTRACT

Starting with an historical outline of the MAB-programme and preceding internationally co-ordinated research activities the fourteen MAB-programme foci are summarized in two maps, and the ecosystem research approaches institutionalized in the (pre-1990) Federal Republic of Germany are described.

Ecological modelling on different structural and functional levels is one of the major aims of long-term ecosystem analysis. The corresponding data sets for calibration and validation purposes require both representative measuring networks and sampling procedures whose geometry has to be based on geostatistical approaches. A complex simulation model of chemical transport and transformation processes in soil is given as an example. Finally the scientific and political importance of ecosystem research is pointed out.

keywords: *MAB-programme, ecological modelling, ecosystem research in Germany, importance of ecology*

1. ZUR GESCHICHTE DES MAB-PROGRAMMS

Die älteste internationale Wissenschaftsorganisation, die World Meteorological Organisation, organisierte wenige Jahre nach ihrer Gründung das Internationale Polarforschungsjahr 1882/83, dem fünfzig Jahre später ein zweites folgte. In Anlehnung an dieses Vorbild rief die UNESCO 1948 zu einem vergleichbaren internationalen Forschungsprogramm für die ariden Zonen auf, das von 1950-1962 durchgeführt wurde und von Anfang an sehr erfolgreich verlief. Im Lichte dieser Erfahrungen schlossen sich in rascher Folge weitere Umweltforschungsprogramme an, beginnend mit dem auf ein Jahrzehnt ausgelegten "Humid Tropics Programme" (1954-1964). Ihm folgte die Internationale Hydrologische Dekade (1965-1975), die ab 1975 in dem Internationalen Hydrologischen Programm weitergeführt wird (UNESCO 1984).

Der International Council of Scientific Unions rief 1964 das Internationale Biologische Programm (IBP) mit Unterstützung der UNESCO ins Leben. Während das IBP in den Industrieländern der Erde planmäßig durchgeführt wurde, erfüllte sich die im Untertitel des Programms stehende Hoffnung, "die biologischen Grundlagen der Produktivität und des menschlichen Wohlergehens" zu erforschen, in den Entwicklungsländern kaum. Daher wurde bereits vier Jahre nach Anlaufen des IBP das "Man and the Biosphere Programme" (MAB) konzipiert, das 1971 begann und vorläufig zumindest bis 1995 weitergeführt werden soll (GLASER 1989).

Sein Ziel ist es, die wissenschaftlichen Grundlagen für eine ökologisch sinnvolle Nutzung und die Erhaltung der natürlichen Ressourcen der Biosphäre zu erarbeiten bzw. zu erweitern. Dementsprechend befaßt sich das MAB mit den terrestrischen Ökosystemen, den Süßwasser-

und Küstenökosystemen aller Klimazonen von den inneren Tropen bis zum Tundrengürtel, während die Erforschung der marinen Ökosysteme Gegenstand spezieller Programme der UNESCO und der ihr angegliederten "Intergovernmental Oceanographic Commission" ist. Einen zusammenfassenden Überblick über die Programmbereiche des MAB (FRANZ 1985) vermittelt die folgende Tabelle.

Tab. 1: Teilbereiche des MAB-Programms

1.	Der Einfluß des Menschen auf tropische und subtropische Wälder
2.	Der Einfluß des Menschen auf sommergrüne und mediterrane Waldgesellschaften
3.	Der Einfluß des Menschen auf Savannen und außertropische Grasländer
4.	Der Einfluß des Menschen auf aride und semiaride Ökosysteme unter besonderer Berücksichtigung der Bewässerung
5.	Der Einfluß des Menschen auf limnische Ökosysteme
6.	Der Einfluß des Menschen auf Hochgebirgs- und Tundrenökosysteme
7.	Der Einfluß des Menschen auf Inseln
8.	Erhaltung von Naturgebieten und des darin enthaltenen genetischen Materials
9.	Schädlingsbekämpfung und Düngung in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen
10.	Auswirkungen großtechnischer Anlagen
11.	Urbane Ökosysteme
12.	Wechselwirkungen zwischen Umweltveränderungen und den adaptiven, demographischen und genetischen Strukturen der menschlichen Bevölkerung
13.	Wahrnehmung und Umweltqualität
14.	Globale Umweltverschmutzung

Ergänzend sind jüngst zu diesen Projektbereichen noch folgende vier Forschungsorientierungen neu eingerichtet bzw. präzisiert worden:

- Funktionsweise von Ökosystemen unter menschlichem Einfluß
- Nutzung und Regeneration der vom Menschen beanspruchten Ressourcen
- Investitionen und Ressourcen-Nutzung
- Reaktionen des Menschen auf Umweltbelastungen

Durch sie soll in Zukunft versucht werden, effizientere Lösungen für Umweltprobleme zu finden, wobei - ausgehend von der lokalen und regionalen Ebene - der globale Bezug stärker in den Mittelpunkt gerückt werden soll (GLASER 1989).

Die deutschen Beiträge werden vom Bundesministerium des Innern (bis 1986) bzw. (ab 1986) vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Bundesministerium für Forschung und Technologie, dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und dem Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft finanziert bzw. im Rahmen bilateraler Forschungsprojekte gefördert. Beispielhaft seien für diese Gruppe das deutsch-chinesische "Cooperative Ecological Research Projekt" und das deutsch-israelische "Arid Ecosystem Research Centre" in Beersheba genannt. Einen zusammenfassenden Überblick über die deutschen Beiträge zum MAB-Programm vermitteln die folgenden Karten.



(1) UdSSR

2 Pakistan

3 Hai-nan

4 Sahelzone

5 San Carlos de Rio Negro

6 Sarawak

7 Israel

8 Kenya

9 Nepal

Abb. 1: Deutsche Beiträge zum MAB-Programm (Karte 1)

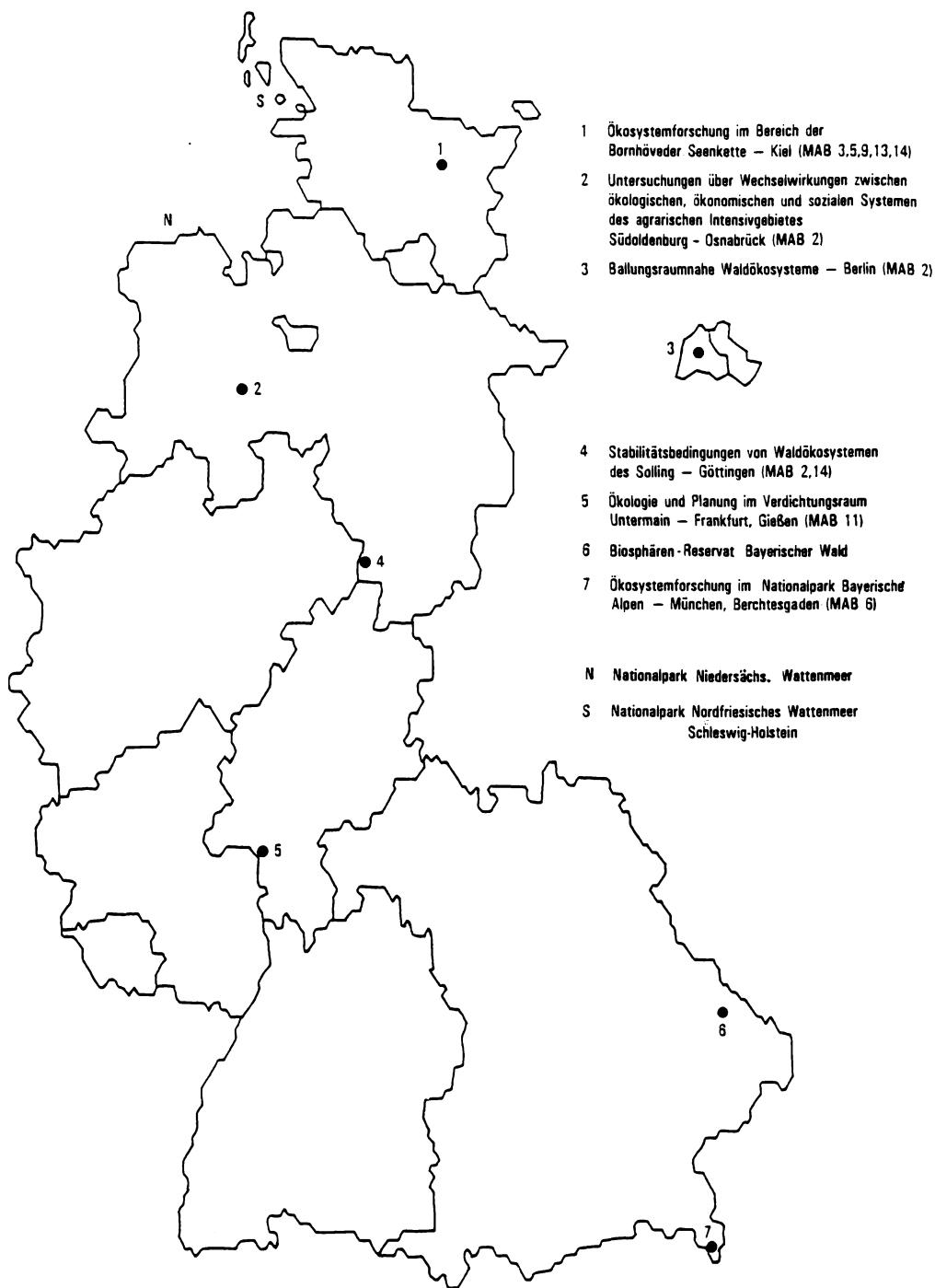


Abb. 2: Ökologische Forschung in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen des MAB-Programms

Neben Forschung und Ausbildung spielt im Rahmen des MAB-Programms die Schaffung von neuartigen Naturschutzgebieten, den sogenannten Biosphären-Reservaten, eine besondere Rolle. Bis Ende 1988 wurden 273 derartige Schutzgebiete in 70 Ländern eingerichtet (IUCN 1989). In der Bundesrepublik ist seit 1981 der Nationalpark Bayerischer Wald zu nennen; bis 1990 soll auch der Alpen- und der Nationalpark Berchtesgaden in das Biosphären-Reservat-Netz der UNESCO (MAB 8) einbezogen sein.

2. ÖKOSYSTEMFORSCHUNG IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND ALS BEITRAG ZUM MAB-PROGRAMM

Es ist eine mittlerweile fast zwanzigjährige Erkenntnis, die auch für die Konzeption des MAB-Programms bedeutsam ist, daß sich Umweltplanung und Umweltschutz auf gesicherte Kenntnisse über die Belastung und Belastbarkeit von Bevölkerung, Tier- und Pflanzenwelt, aber auch ganzer Ökosysteme stützen müssen. In den Umweltprogrammen der Bundesregierung wurde daher seit 1971 mit Nachdruck auf die bestehenden Wissenslücken verwiesen und die Forderung nach einer interdisziplinär angelegten Umweltforschung erhoben. Deren Ziel muß - in Ergänzung zu dem bestehenden wirtschaftlichen und sozialen - ein ökologisches Informations- und Bewertungssystem sein (ELLENBERG et al. 1978). Es umfaßt drei streng und durchgehend aufeinander zu beziehende Komponenten:

- Die vergleichende Ökosystemforschung liefert die grundlegenden Einsichten in die Struktur und Dynamik von Ökosystemen, ihren Stoff- und Energiehaushalt sowie die komplizierten Regelungsmechanismen, die für die Stabilität und Belastbarkeit der Systeme bedeutsam sind. Ihr kommt daher eine Schlüsselrolle bei der Bewältigung der Umweltprobleme im Rahmen einer vorsorgenden Umweltpolitik zu.
- Die ökologische Umweltbeobachtung muß in Form von Element-, Faktoren- und Wirkungskatastern valide flächendeckende Daten liefern. Integriert in EDV-gestützte Geographische Informationssysteme werden sie mit unterschiedlichen Raumfaktoren verknüpft, um den Zustand und eventuelle Veränderungen der Umwelt von Mensch, Tieren und Pflanzen als Folge natürlicher Vorgänge und anthropogener Beeinflussung zu bestimmen bzw. vorherzusagen.
- Die Umweltprobenbank lagert repräsentative Proben von Menschen, Tieren, Pflanzen und Böden langfristig so ein, daß chemische Veränderungen während der Lagerungszeit möglichst auszuschließen sind. Dies bietet die Möglichkeit, die Umweltkonzentration von Substanzen retrospektiv auf der Grundlage einer noch feineren Analytik zu bestimmen und damit Trends der Konzentrationsänderung bestimmter Chemikalien aufzudecken sowie Monitoring-Ergebnisse zu überprüfen.

2.1. Die Erforschung naturbetonter und anthropogener Ökosysteme

Ökosystemforschung ist ein hochkomplexes Aufgabenfeld und kann daher nur in einer in der Praxis nicht ohne Mühe erreichbaren Inter- oder Transdisziplinarität in repräsentativen Forschungsräumen angegangen werden. Die letztgenannte Forderung ist von besonderer Wichtigkeit; denn nur Ergebnisse, die in Gebieten gewonnen werden, welche in ihren ökosystemaren relevanten Raumstrukturen auf engem Raum und in typischer Vergesellschaftung die entsprechenden Strukturmerkmale möglichst großer Räume spiegeln, eignen sich für eine extrapolierende Deutung. Daher ging der Auswahl der potentiellen Hauptforschungsräume eine ökologische Regionalisierung der Bundesrepublik voraus, die auf der Analyse von 12.700 Teilräumen gleicher Größe gründet. Sie wurden mit Hilfe speziell entwickelten Algorithmen multivariat klassifiziert, wobei gleichzeitig der Forderung nach Erfassung möglichst vieler unterschiedlicher Ökotoptypen Rechnung zu tragen war, um die Variabilität der ökosystemaren Ausstattung der Bundesrepublik sowie die Belastungsgrade verschiedener Regionen adäquat zu dokumentieren (FRÄNZLE et al. 1987).

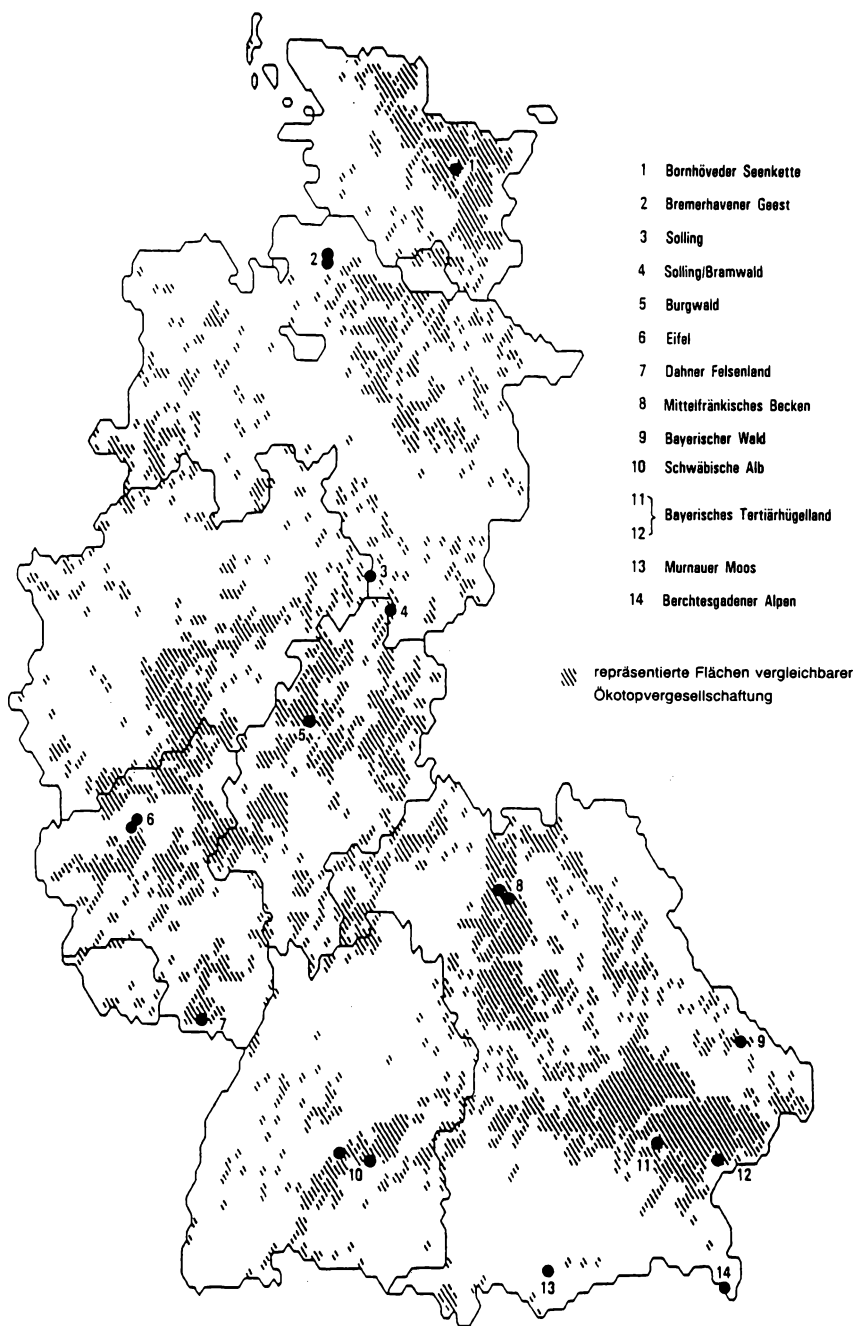


Abb. 3: Repräsentative Hauptforschungsräume in der Bundesrepublik Deutschland

Zu den solcherart bestimmten repräsentativen Forschungsräumen zählen vor allem der Solling und das Bornhöveder Seengebiet; hinzu kommen das Gebiet des Nationalparks Bayerische Alpen und Teile des ost- und nordfriesischen Wattenmeeres. Hier sind auch die infrastrukturellen Voraussetzungen, insbesondere hinreichend große interdisziplinäre Forschungspotentiale an Hochschulen und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen, vorhanden, um vergleichende Ökosystemforschung im Sinne des MAB-Programms zu betreiben. Im folgenden sollen daher die Konzepte der von dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und den jeweiligen Bundesländern geförderten Berchtesgadener, Berliner, Göttinger und Kieler MAB-Beiträge zusammengefaßt werden, ergänzt durch Verweise auf die vorgesehenen Orientierungen der Bayreuther und Saarbrücker Ökosystemforschung. Die Ergebnisse des bereits abgeschlossenen MAB-11-Beitrags "Ökologie und Planung im Verdichtungsgebiet Untermain" und des noch laufenden Projektes "Agrarökologie der landwirtschaftlichen Intensivgebiete Südoldenburgs" (MAB 13) haben ihren Niederschlag in zahlreichen Publikationen gefunden; zusammenfassende Übersichten bieten die MAB-Mitteilungen 2 und 26 (DEUTSCHES NATIONALKOMITEE FÜR DAS UNESCO-PROGRAMM MAB 1978, 1987).

Im Rahmen des deutschen Beitrages zum MAB-Projekt 6 "Der Einfluß des Menschen auf Hochgebirgsökosysteme" werden im Nationalpark Bayerische Alpen (Berchtesgaden) der Zustand von Grund- und Oberflächenwässern, Böden, Klima und Biozönosen sowie die Belastbarkeit und Empfindlichkeit alpiner Ökosysteme für unterschiedliche Nutzungsansprüche untersucht. Nutzungsvarianten werden in ihren Auswirkungen auf Naturhaushalt und Mensch auf der Grundlage von Modellen und Szenarien beurteilt (DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB 1981, 1983, 1984, 1986; SCHALLER und SPANDAU 1987).

Zielsetzung der in Göttingen als Beitrag zu den MAB-Projekten 2 und 9 konzipierten Erforschung der Waldökosysteme des Solling und des Harzes (Lange Bramke) ist die kausale Deutung der Auswirkung von Stoffeinträgen und Bewirtschaftung auf Wälder sowie die Erfassung der Stoffausträge von Waldökosystemen und deren Wirkung auf die Umgebung. Ein quantitatives Verständnis dieser Wirkungen ist Voraussetzung für eine ökotoxikologische relevante Ausweisung von Belastungsgrenzen (z.B. durch Luftschadstoffe), für die Herleitung von Maßnahmen zur Regenerierung destabilisierter Waldökosysteme und ihre Bewirtschaftung unter Gewährleistung der Nachhaltigkeit sowie die Vermeidung nachteiliger Umweltwirkungen aus Waldökosystemen (z.B. Versauerung von Grund- und Oberflächenwässern). Der Forschungsansatz soll parametrisierungsfähige Erkenntnisse liefern, die als Grundlage für die Ökosystemsteuerung benötigt werden (vgl. ELLENBERG 1987, ELLENBERG et al. 1986, ULRICH 1986).

Konzeptionell sehr ähnlich ist das Berliner Projekt "Ballungsraumnahe Waldökosysteme" (MAB 2, 9), das in einem 120jährigen bodensauren Mischwald (*Pino-Quercetum*) im Grunewald durchgeführt wird. Hinsichtlich der Immissionen bestehen jedoch erhebliche Unterschiede; denn die Bestände erfahren sowohl starken Protoneneintrag wie Deposition kalkhaltiger Stäube (UMWELTBUNDESAMT und SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ BERLIN 1989).

Die Ökosystemforschung im Bereich der am Rande der Weichselvereisung gelegenen Bornhöveder Seenkette strebt als Beitrag zu den MAB-Projekten 2, 5, 9, 13 und 14 die modelltheoretisch unterbaute Analyse der Struktur und Dynamik vernetzter limnischer und terrestrischer Ökosysteme unterschiedlicher agrar-, forst- und fischereiwirtschaftlicher Nutzung an. Zu den allgemeinen Aufgaben der auf verschiedenen Feinheitsebenen der Analyse betriebenen Stoff- und Energiebilanzierung, der Aufschlüsselung der vielgestaltigen Regelungsmechanismen sowie der Bestimmung von Stabilitäts- und Belastungskriterien treten entsprechend der Struktur des Forschungsraumes spezifische Zielsetzungen. Sie betreffen einmal die Wechselwirkung zwischen aquatischen und terrestrischen Ökosystemen unterschiedlicher Struktur und Nutzung sowie deren Modellierung, ferner die Überprüfung der räumlichen Extrapolationsmöglichkeiten von partiellen und integrierten Ökosystemmodellen auf der Grundlage von Standortmessungen und geographischen Informationssystemen. Zum zweiten sind ökotoxikologische Untersuchungen mit Hilfe ökologischer Kataster und Experimente zur Bestimmung des Verhaltens von Umweltchemikalien sowie Bewertungen der Effizienz von Umwelt- und Naturschutzmaßnahmen zu nennen. Hinzu kommt als drittes die paläoökologische Charakterisierung des Untersuchungsraumes seit Ende der letzten Eiszeit als umfassende Grundlage der aktuellen ökologischen Forschungen.

Aus dieser vergleichenden Übersicht über die im MAB-Rahmen eingerichteten Ökosystemforschungskonzepte der Bundesrepublik Deutschland ergibt sich die Notwendigkeit, im Rahmen eines Basisprogramms in allen Hauptforschungsräumen Energie- und Stoffflußdaten nach einer gemeinsamen Methodik zu bestimmen, um die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse zu gewährleisten. Dies betrifft beispielsweise die Probenahme und Analytik metallorganischer Verbindungen (vgl. LIETH und MARKERT 1988), die Messung der trockenen und feuchten Deposition oder die summenparametrische Bestimmung der mikrobiellen Aktivität sowie Evapotranspirationmessungen auf heterogen strukturierten Flächen. Die Forderung nach geostatistisch überprüfter Validität der Einzelmessungen ist dabei von grundlegender Bedeutung (FRÄNZLE 1984b, VETTER et al. 1986). Daneben gibt es Themenbereiche, die sich für eine arbeitsteilige Erfassung eignen, z.B. Dateien über Pflanzen/Herbivoren- und Wirt/Parasitoid-Beziehungen oder populationsökologische Langzeitbeobachtungen (SCHULZE, schriftl. Mitt. 1988).

2.2. Die Hypothesen- und Modellhierarchie der Ökosystemforschung

Formalisierter Ausgangspunkt der Forschung ist eine entfaltete Hypothesenhierarchie, die aus Basistheorien abgeleitet ist. Als Wahrheit einer Hypothese kann dabei ihre "Übereinstimmung mit dem jeweiligen Bereich der Realität" (KORCH 1972) definiert werden, während die Hypothesenwahrscheinlichkeit den Erkenntnisstand des Forschers hinsichtlich des jeweiligen Phänomenbereiches charakterisiert (VETTER et al. 1986). Je größer die Zahl der Bestätigungen, d.h. je höher die Hypothesenwahrscheinlichkeit ist, um so mehr nähert man sich der theoretischen, aber nicht endgültig feststellbaren Hypothesenwahrheit. Dies bedeutet, daß Hypothesen unzureichend quantifiziert sind bzw. allgemeine, aber nicht genügend quantifizierte Erkenntnisse Hypothesencharakter aufweisen. Unter Bestätigung ist dann die stufenweise Ausfüllung des Aussagenbereichs der Hypothese mit quantitativ formulierten Zusammenhängen im Sinne der Modellbildung zu verstehen.

In Verbindung mit den Partialtheorien der in der Ökosystemforschung zusammenwirkenden Natur- und Sozialwissenschaften liefert die Allgemeine Systemtheorie die Grundlage für die Entwicklung von Hypothesenhierarchien, die in operationalisierter Form das Gerüst der koordinierten Einzeluntersuchungen darstellen. Die Systemtheorie definiert Systeme mit Hilfe gekoppelter Differentialgleichungen (vgl. V. BERTALANFFY 1968, DREPPER 1987, MAY 1981); ihr Verhalten ist damit als Trajektorie im Zustandsraum, der von den definierenden Eigenschaften des Systems aufgespannt ist, beschreibbar.

Die zweite Quellregion der Hypothesenbildung ist die Thermodynamik offener Systeme, genauer der 2. Hauptsatz in der Entropieformulierung (PRIGOGINE et al. 1972). Er besagt, daß Ökosysteme im Zuge ihrer Entwicklung ihre Entropieproduktion bis zu einem (je systemspezifischen) Minimum verringern können, das mit den äußeren, an den Systemgrenzen gegebenen Bedingungen, etwa Temperatur- und Konzentrationsgradienten, vereinbar ist. Da ein offenes System nicht spontan diesen mit minimaler Entropieproduktion gekoppelten Zustand des Fließgleichgewichts verlassen kann, ist er stabil im Sinne von Schwingungen um einen Durchschnittszustand. Die Stabilität eines Ökosystems ist demnach um so höher, je kleiner die Amplitude der Schwingungen um diesen zunächst in thermodynamischer Hinsicht näher zu kennzeichnenden Zustand des Fließgleichgewichts ist; die Periodenlänge ist hingegen ein Maß für die Qualität der die Störung eliminierenden Kompensationsmechanismen (Resilienz).

Wissenschaftlich wie praktisch belangvolle Aussagen über Stabilität, Resilienz, ökologisches Gleichgewicht (als Teilaspekt von Stabilität i.S. GIGONs 1984) bzw. ihre Komplementärbegriffe wie Instabilität usw. erfordern Festlegungen über (i) den zeitlichen und räumlichen Rahmen, für den die Aussage gilt, und (ii) die Merkmalsbereiche (Indikatorvariablen), auf denen die Aussage beruht. Ohne derartige semantische Spezifikationen sind Aussagen über Systemeigenschaften und -verhalten unbestimmt oder relativ und können sich je nach Blickwinkel widersprechen, wodurch Mißverständnissen oder undifferenzierten Pauschalurteilen Vorschub geleistet wird.

Der Hypothesenhierarchie entspricht im Zuge des Verifikationsprozesses eine zunehmend ausgebauter Modellhierarchie. Sie beginnt forschungslogisch mit der Entwicklung graphentheoretisch formulierter Partialmodelle (Konzeptmodelle), die dem empirischen Hypothesensystem entsprechen und die jeweils relevanten Zusammenhänge auf der Kausal- und Verhaltensebene

in einer Konnektivitätsmatrizen äquivalenten Weise beschreiben. Bei der Quantifizierung der Basismodelle können die aufeinanderfolgenden Stufen des Korrelations-, Regressions- und Simulationsmodells unterschieden werden (FRÄNZLE 1984a, FRÄNZLE et al. 1989). Ein Problemfeld eigener Art stellt in mathematischer wie faktischer Hinsicht die Koppelung der zunächst entwickelten Partialmodelle (Abb. 4) dar; denn die Erfahrung der Vergangenheit hat gezeigt, daß die Versuche, komplexe Simulationsmodelle in einem Zug zu entwickeln, in aller Regel aus verhältnismäßig einfachen mathematischen Gründen zum Scheitern verurteilt sind.

2.2.1. Datentechnische Voraussetzungen der Modellvalidierung

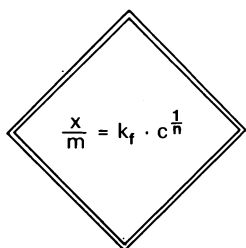
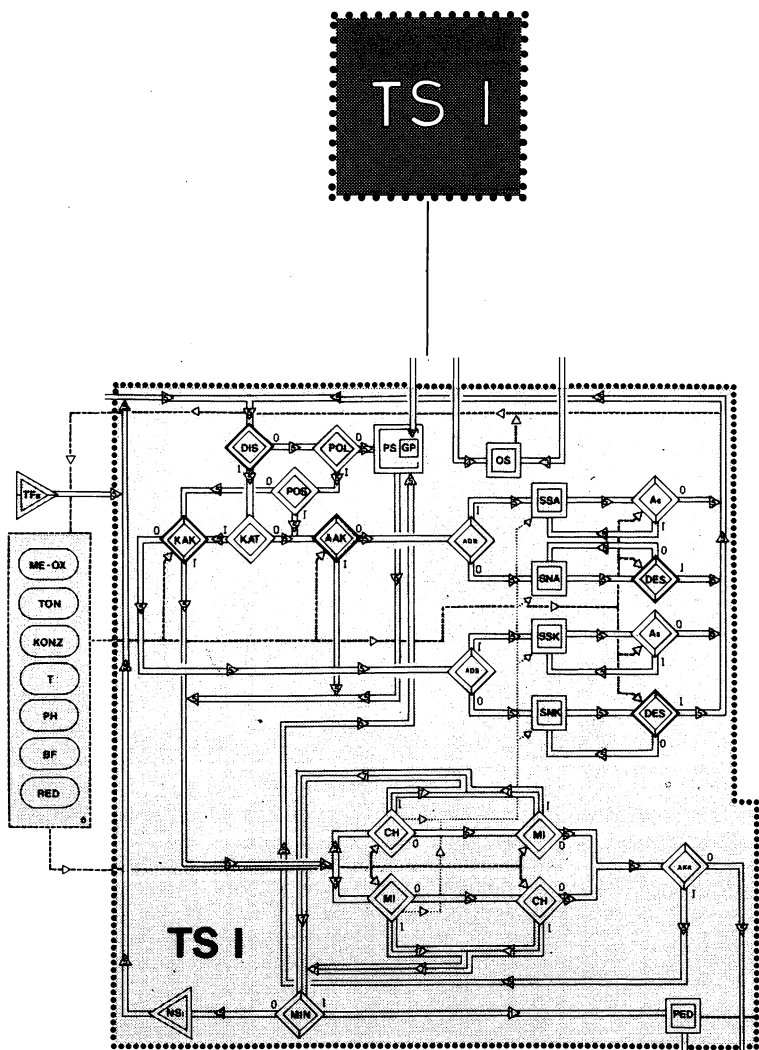
Die Quantifizierung der in Konzeptmodellen zunächst qualitativ gefaßten intra- und inter-systemischen Relationen erfordern ein repräsentatives Datenmaterial, wobei "repräsentativ" hier wie in allen Fällen, wo räumlich verbreitete und strukturierte Phänomene adäquat zu beschreiben sind, die oben genannte doppelte Bedeutung hat. Einmal beinhaltet es, daß die Eigenschaften einer Variablen verläßlich im Lichte einer je spezifischen Häufigkeitsverteilung, zum anderen, daß sie im Hinblick auf spezifische räumliche Anordnungen wiedergegeben bzw. bestimmt werden. Letzteres ist für die flächenbezogen arbeitende Ökosystemforschung von besonderer Bedeutung, da die räumlichen Verteilungsstrukturen ausgewählter Biotop- und Biozönose-Merkmale im Mittelpunkt des Interesses stehen (FRÄNZLE 1984b). Soweit es sich um metrische Daten handelt, wird die Datenvielfalt häufig in Isoplethenplänen reduziert dargestellt, um so überhaupt erst räumliche Verteilungsmuster erkennen zu können. Alle Isoplethendarstellungen metrischer Merkmale entstehen durch Interpolation zwischen den Werten einer notwendigerweise fragmentarischen räumlichen Stichprobe. Dabei wird angenommen, daß in dem Raum zwischen den Probenpunkten, über den keine Informationen vorliegen, eine mehr oder weniger kontinuierliche Verteilungsfunktion der Meßwerte anzutreffen ist. Es bleibt jedoch zu prüfen - was bislang selten geschieht - ob der gewählte Meßpunktabstand überhaupt die Interpolation zwischen den Probenentnahmepunkten zuläßt, denn Isoplethenkarten auf der Grundlage von Proben, deren Distanz über der Reichweite ihrer Aussage liegt, sind grundsätzlich falsch und nicht nur von minderer Qualität.

Die Variogrammanalyse (vgl. MATHERON 1963, DELFINER 1975) ist ein geostatistisches Verfahren, das Antwort auf die gestellte Frage gibt. Sie geht von der Grundannahme aus, daß die punktuell gewonnenen Meßwerte nur so weitreichende Aussagekraft haben, wie die Meßwertunterschiede mit wachsender Distanz zwischen den Meßpunkten ansteigen und liefert strenge Aussagen über die Verteilung regionalisierter metrischer Variablen und damit das Maß der regionalen Validität von Punktpuben bzw. -messungen.

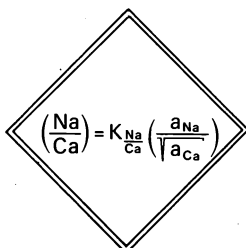
Eine nach diesen Kriterien valide Datengewinnung wird für ökosystemare Zwecke jedoch aus Praktikabilitäts- bzw. Kostengründen auf relativ kleine Meßfelder beschränkt bleiben müssen. Ihre Auswahl muß sich innerhalb eines Hauptforschungsraumes daher ebenfalls an Gesichtspunkten der räumlichen Repräsentanz orientieren, wobei als primäre Informationsquelle im allgemeinen Karten - etwa großmaßstäbige Relief-, Boden- und Vegetationsaufnahmen - oder Luftbilder bzw. Satellitenaufnahmen dienen.

Auf dem Wege der Digitalisierung in Datenaggregate auf Nominalskalenniveau transformiert, können diese lokalisiert vorliegenden Informationen mit Hilfe der Entropie-Analyse oder -weniger Speicherkapazität erfordern - mittels spezieller Formen der Nachbarschaftsanalyse (FRÄNZLE et al. 1986) als Komponenten eines GIS zu multivariat definierten Regionen zusammengefaßt werden. Die so definierten Regionen können dann wiederum einer einfachen Häufigkeitsstatistik unterworfen werden, um ihren Repräsentanzgrad festzustellen (VENEBRÜGGE 1988).

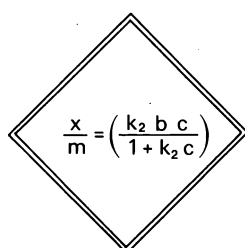
Die Anlage von variogrammanalytisch überprüften Meßfeldern in regionalstatistisch repräsentativen Meßfeldern liefert als Kombination zweier Strategien Daten, die für Hauptforschungsräume und darüber hinausgehende Gebiete aussagefähig sind (Abb. 5). Im praktischen Forschungsvollzug wird sie ergänzt durch die Ermittlung charakteristischer Energie- und Stoffflüsse in hierarchisch strukturierten Kompartimenten von Ökosystemen, um - wiederum häufigkeitsstatistisch und regressionsanalytisch - deren Eignung als Integralindikatoren festzulegen. Gerinnesysteme unterschiedlicher hydrologischer Ordnung i.S. STRAHLERS stellen gute Beispiele dar; denn ihr Stoff- und Energiehaushalt kovariert in bestimmter Weise mit dem ihrer unterschiedlich ausgedehnten Einzugsgebiete, ferner weisen sie spezifische, größenabhängige Korrelationen untereinander auf.



ADS



KAK



AAK

Abb. 4: Stufen der Modellentwicklung

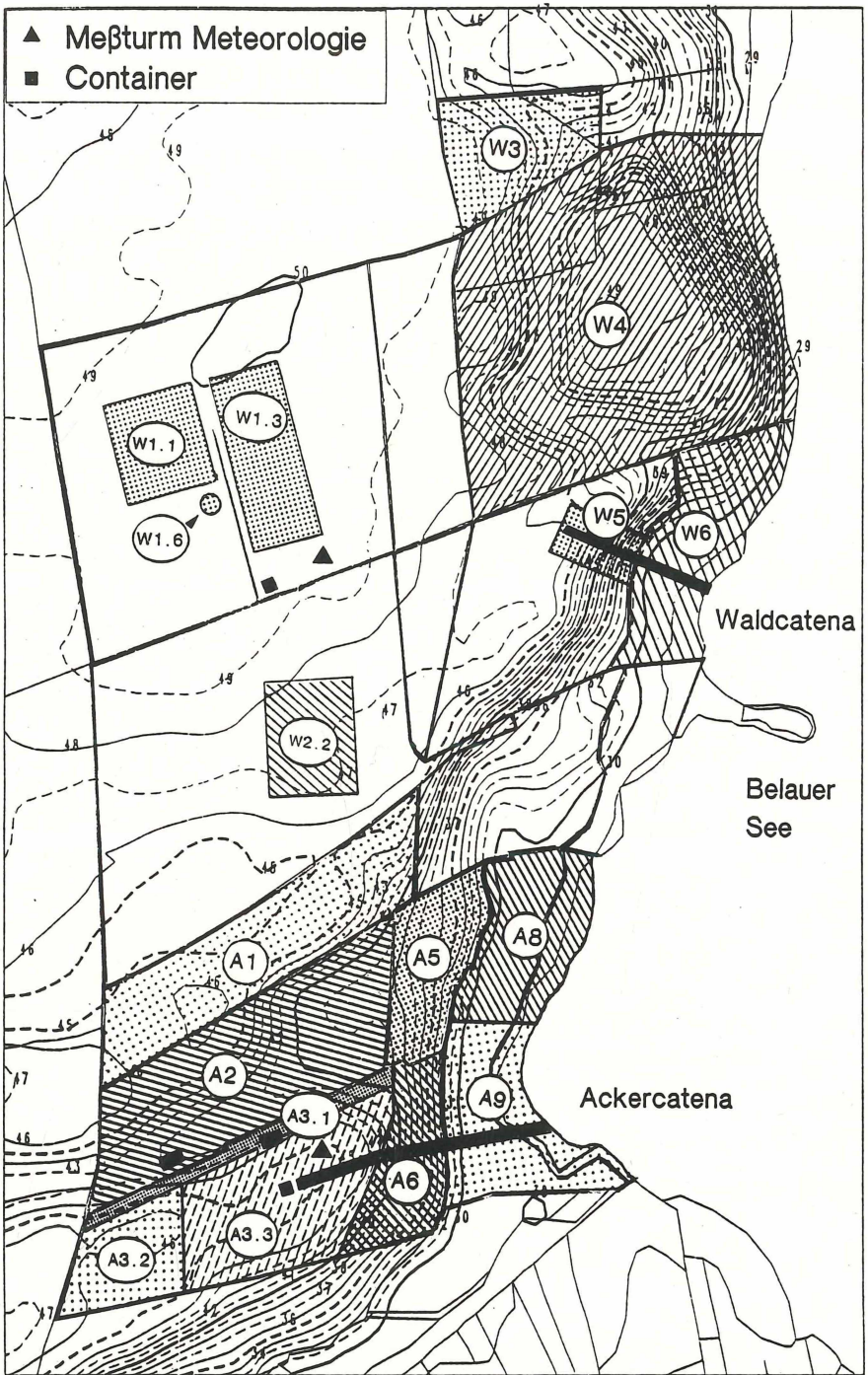


Abb. 5: Meßfelder der Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette

2.2.2. Ebenen der Ökosystemmodellierung

Die Entwicklung von Modellen unterschiedlich komplexer Ökosystemkompartimente und ihrer Energie-, Stoff- und Informationsflüsse vollzieht sich auf verschiedenen Ebenen, die sich vor allem hinsichtlich ihrer Datenstrukturen unterscheiden. Auf der untersten, der Kausal- oder Prozezebene (GROSSMANN et al. 1984), wird mit präzisen Daten gearbeitet, die zumindest im Prinzip leicht zu bestimmen sind und für die es klare Verknüpfungs- und Auswertungsregeln gibt. Auf der zweiten Modellebene werden auf einem höheren Aggregationsniveau dynamische Zusammenhänge in Rückkopplungsmodellen abgebildet. Auf dieser Ebene ist eine relativ hohe Datenunsicherheit gegeben, es sind aber Kenntnisse über Zusammenhänge und Strukturen vorhanden. Auf der obersten Ebene der Betrachtung (von GROSSMANN als strategische Ebene bezeichnet) liegen in der Regel keine auswertbaren Datenstrukturen vor; entsprechend groß ist die Unkenntnis über Details. Um mögliche Auswirkungen dieser Unkenntnis auf die unteren Modellebenen abzuschätzen, werden meist Szenario- oder Simulationsmethoden angewendet, um Lösungsräume abzustecken (vgl. DEUTSCHES NATIONAL-KOMMITTEE MAB 1986).

Simulation des Wasserhaushaltes und Chemikalien transports in Böden

Als Beispiel für eine integrierte Modellentwicklung auf der unteren Betrachtungsebene mag ein Simulationsmodell dienen, das den Wasserhaushalt und die von ihm sowie durch edaphische und stoffspezifische Regelfunktionen gesteuerte Verteilung von wasserlöslichen Stoffen in Böden und Sedimenten beschreibt (FRANZLE et al. 1989). Ausgangspunkt ist ein graphentheoretisch formuliertes Primärmodell als Zusammenfassung eines empirischen Hypothesensystems, das im Rahmen eines mehrstufigen Versuchsansatzes überprüft wurde. Dieser verknüpft die Vorteile relativ naturferner, aber leicht steuer- und reproduzierbarer Schüttelversuche mit der Naturnähe viel schwerer kontrollierbarer Freilandversuche auf repräsentativen Standorten über die Zwischenebenen der Stechzylinder- und Lysimeterversuche.

Zunächst wird der Gültigkeitsrahmen der in Schüttelversuchen (Ad- und Desorptionsreihen) gewonnenen Ergebnisse korrelationsstatistisch und regressionsanalytisch für den Gesamtdatensatz bestimmt. Dies gestattet, die Fülle der Relationen des qualitativen Primärmodells auf diejenigen Fluß-, Regel- und Speichergrößen zu reduzieren, welche den höchsten Erklärungswert für das Migrationsverhalten wasserlöslicher Stoffe besitzen. Bei Testherbiziden ergibt die vergleichende Auswertung der Sorptionsisothermen, daß bei kleinen (und in der Literatur vornehmlich untersuchten) Konzentrationen die Adsorbatmenge positiv mit der organischen Substanz, dem Ton- und Schluffgehalt sowie den Eisen-III und Aluminiumoxiden korreliert ist. Bei mittleren Herbizidkonzentrationen (d.h. 60 - 500 mg/l) sind hingegen kaum signifikante Korrelationen vorhanden. Dieses statistisch unregelmäßige Verhalten wird bei noch höheren Konzentrationen abgelöst durch starke Kovarianzen zwischen den genannten Bodenparametern und der desorbierten Herbizidmenge. Dies bedeutet, daß die Sorptionsprozesse in steigendem Maße durch chemikalienspezifische Struktureigenschaften bestimmt werden.

Die Bedeutung des Bodenwasserhaushaltes und der Bodenwärmeströme für den Stofftransport werden im Rahmen der weitergehenden Modellgleichung durch Freilandexperimente bestimmt. Sie zeigen in der Gegenüberstellung witterungsmäßig sehr unterschiedlicher Jahre, wie steigende Bodentemperaturen zu einer Abnahme der physikalischen Adsorption und einem Anstieg der Physiosorption, Chemosorption sowie der mikrobiellen Abbauraten führen, während steigende Bodenfeuchte eine Zunahme der Sickerraten und Verschiebungen der Sorptionsgleichgewichte sowie nichtmonotone Veränderungen der Mikrobenaktivität bewirkten. Die als Regressionen oder Tabellenfunktionen formulierten Zusammenhänge gehen dann als Teilmodelle in das Modellierungssystem WASMOD, STOMOD (Abb. 6, 7) ein. Die ungewöhnlich geringe Zahl von Eingangsgrößen sowie die Koppelung mit einem speziell zur Beherrschung großer Datenmengen entwickelten Datenbanksystem bieten hinsichtlich der Anwendbarkeit entscheidende Vorteile. Die Auswahl der Eingangsgrößen und der bei der Modellbildung notwendigen vereinfachenden Annahmen orientiert sich - im Gegensatz zu den meisten Verteilungsmodellen - durchgehend an gezielt erhobenen experimentellen Befunden. Die Modelle verknüpfen aufgrund des gewählten Validierungsansatzes die Ergebnisse der

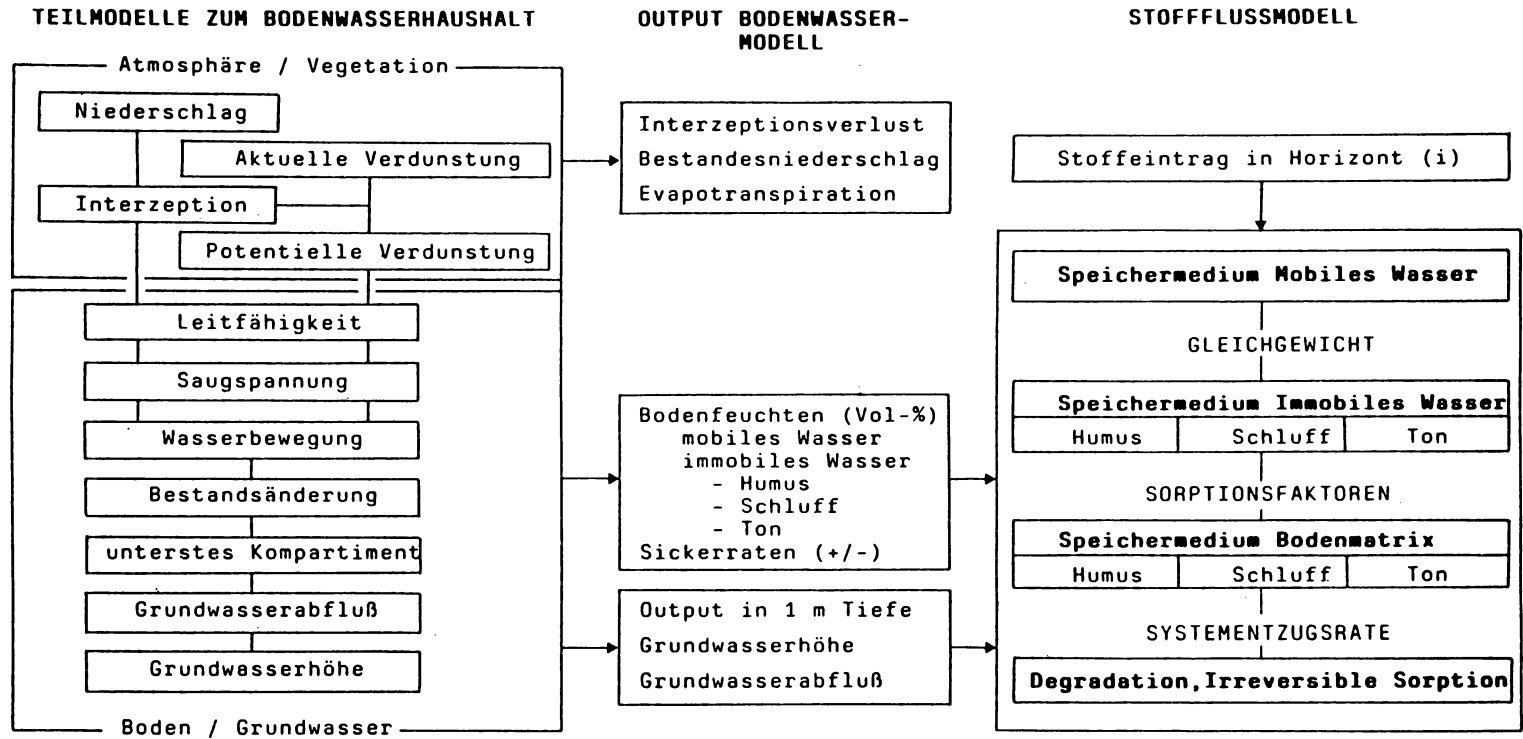


Abb. 6: Struktur eines verallgemeinerten Stoffflussmodells

- (1) **Teilmodell potentielle Evapotranspiration nach HAUDE**
 $ET_{pot} = f$ (Temperatur, relative Luftfeuchte)
- (2) **Teilmodell Interzeption nach V. HOYNINGEN-HUENE**
 $ET_i = f$ (Blattflächenindex, Niederschlag)
- (3) **Teilmodell Saugspannung Ψ**
 $\Psi = f$ (Humus, Schluff, Ton)
 Grundlage: gemessene pF-Kurven
- (4) **Teilmodell Wasserleitfähigkeit von Boden und Deckschicht**
 $K_u = f$ (Gesättigte Leitfähigkeit, Saugspannung)
 Grundlage: berechnete Leitfähigkeit anhand von
 Freilanddaten nach DARCY
- (5) **Teilmodell aktuelle Evapotranspiration, modifiziert nach BRAUN**
 $ET_a = f$ (Saugspannung, Durchwurzelung, ET_p nach HAUDE, ET_i)
- (6) **Teilmodell Wasserbewegung**
 $\delta\theta/\delta t = f$ (Saugspannungsgradient, K_u , Höhe)
 Grundlage: DARCY-Gleichung
- (7) **Teilmodell Wassergehaltsänderung**
 $\delta BF(vol)/\delta t = f$ ($\delta\theta/\delta t$, Niederschlag, ET_a)
- (8) **Teilmodell unterstes Kompartiment**
 $\delta BF(vol)u/\delta t = f$ ($\delta BF(vol)/\delta t$, Höhe des Grundwasserspiegels)
- (9) **Teilmodell Grundwasserabfluß**
 $\delta GW/\delta t = f$ (K_f , Gefälle des Grundwasserspiegels)
- (10) **Teilmodell Grundwasserspiegel**
 $\delta GH/\delta t = f$ ($\delta BF(vol)u/\delta t$, $\delta GW/\delta t$)

Eingangsgrößen (täglich): Temperatur, Niederschlag, Relative Luftfeuchte

Eingangsgrößen (konstant): - % Humus, % Schluff, % Ton
 - Blattflächenindex
 - gesättigte Leitfähigkeit
 - Durchwurzelung
 - Neigung des Grundwasserspiegels

Eingangsgrößen (initial): - Bodenfeuchte
 - Grundwasserhöhe

Abb. 7: Kompartimente des Wasserhaushaltsmodells

technisch einfachen Schüttelversuche mit jenen der komplexeren Versuchsebenen, vor allem der Freilandexperimente. Sie gestatten daher, viel verlässlicher als bisher, von Schüttelversuchen auf Freilandverhältnisse zu extrapolieren. Als dynamische Feedback-Modelle unterliegen sie nicht den einschränkenden Annahmen, die bei analytischen Modellen komplexer Systeme in der Regel erforderlich sind. Sie enthalten vielmehr nur jene Angaben, die notwendig sind, um den jeweils nächsten Modellzustand nach dem folgenden Simulationsschritt zu bestimmen.

Modellierung regionaler ökologisch-ökonomischer Systeme

Die Abbildung regionaler ökonomisch-sozialer Systeme stellt ein theoretisches Problem auf den höheren Ebenen der Modellbildung dar, das noch keineswegs gelöst ist (MÜLLER et al. 1987, ARNOLD 1988). Insbesondere wäre es wohl irrig anzunehmen, die Modellierung derartiger Regionalsysteme ließe sich durch Aggregation mikroökonomischer und mikrosozialer Subsysteme, beispielsweise einzelner Betriebe, erreichen.

Während jedoch APEL (1982) das Kernproblem raumbezogener Wirtschafts- und Sozialforschung im sogenannten "ökonomisch-ökologischen Aggregationsdilemma" sieht, d.h. dem Unterschied von großräumlichen ökonomisch-sozialen Verhältnissen und kleinräumlichen ökologischen Randbedingungen, besteht nach TJADEN et al. (1988) das Problem in einem Widerspruch anderer Art. Auf der einen Seite sind es die zunächst unräumlich gedachten Verhältnisse der Wertschöpfung, des Warenaustausches und der Kapitalbewegung; ihnen stehen gegenüber die zwar kleinräumlich gegebenen, aber (wesentlich) gesamtwirtschaftlich und -gesellschaftlich geprägten Beziehungen zwischen natürlichen Ressourcen und Arbeitskräften, die sich in bestimmten Produkten und Residuen niederschlagen. Freilich bilden beide Seiten dieses Gegensatzpaares auch eine Einheit, die sich in den Beiträgen kleinräumlicher Wechselwirkungen zwischen dem wirtschaftenden Menschen und der genutzten Natur zum sozioökonomischen Makrosystem darstellt.

Im Sinne einer räumlichen Aktionsforschung sind es die energetischen und materiellen Implikationen typischer lokalisierter Aktivitäten (etwa Maschinen-, Dünger- und Pestizideinsatz), die als Belastungen, Entnahmen, Einträge, Wirkungen usw. die reale Verknüpfung des sozioökonomischen Teilsystems zum ökologischen Subsystem des Regionalsystems ausmachen. Diese Aktivitäten sind daher anhand von Beobachtungen, Befragungen (Interviews, Betriebsbücher) räumlich darzustellen und mit ihren technischen, materiellen und energetischen Merkmalen in einem geographischen Informationssystem zu erfassen. Dabei stellt sich das Problem der adäquaten Verknüpfung der verschiedenen Betrachtungs- oder Modellebenen, weil die Aktionsbeziehungen in einem betrachteten Gebiet, d.h. das sozioökonomische Teilsystem des Regionalsystems, durch das Makrosystem der Entscheidungszusammenhänge und der Wertbeziehungen entscheidend beeinflusst werden. Diese Regelung stellt sich in systemexternen monetären und administrativen Steuerungsgrößen dar, welche die stofflich und energetisch charakterisierten und räumlich verorteten Aktivitäten des wirtschaftenden Menschen beeinflussen, z.B. als Lohnquote, Kapitalrentabilität oder auch als umweltpolitische Normierung. Daher kann von einer festen Verknüpfung der Schnittstellen der drei Modellebenen keine Rede sein, sondern nur vom "soft coupling", d.h. der Definition von Anknüpfungspunkten, die eine unmittelbare Dateneingabe von einer Modellebene in die nächste erlauben, "aber auch die wesentlichen Anregungen für die Auswertung in der anderen Betrachtungsebene abgeben" (SCHALLER 1984).

3. DIE WISSENSCHAFTLICHE UND UMWELTPOLITISCHE BEDEUTUNG DER ÖKOSYSTEMFORSCHUNG

Die nur in mathematischen Modellen faßbare Komplexität von Ökosystemen beruht auf dem nichtlinearen Zusammenwirken vieler qualitativ verschiedener Bestandteile, der hierarchischen Schichtung dieser Bestandteile und der aus ihnen aufgebauten Subsysteme. Am schwersten zu durchschauen sind Durchbrechungen der Hierarchie durch äußere oder interne Störungen. Die universelle qualitative Bedeutung von Nichtlinearität ist erst im letzten Jahrzehnt erkannt worden. Eine Dynamik, ein Systemverhalten heißt linear, wenn bei angemessener Quantifizierung aller Größen eine doppelt so große Ursache eine doppelt so große Wirkung auslöst; ist der Zusammenhang anders, so heißt das System nichtlinear. Computeruntersuchungen haben in den letzten Jahren sehr eindrucksvoll gezeigt, daß selbst "ganz einfache" Nichtlinearitäten

schon zu außerordentlich komplexem Verhalten führen, bei dem Ordnung und Chaos dicht beieinander liegen. Chaos bedeutet dabei nicht einfach Unordnung, sondern drückt eine in vielen komplexen Systemen anzutreffende Eigenschaft aus, die besagt, daß in einzelnen Systemteilen eine zufällige und höchst geringfügig erscheinende Beeinflussung zu einer durchgreifenden Strukturveränderung führen kann (CRAMER 1988).

Nichtlinearität und das Zusammenwirken der vielen biotischen und abiotischen Elemente eines Ökosystems führen zu neuen Gesetzmäßigkeiten und hierarchischen Strukturen, die nur im mathematischen Modell durchschaubar werden. Als Simulation sind sie zugleich die Voraussetzung für die Entwicklung planungsrelevanter Prognoseinstrumente und Szenarien mit Hilfe geographischer Informationssysteme (ACSM-ASPRS 1986, SCHALLER und SPANDAU 1987). Damit hat die Forschung eine neue Dimension erhalten: Neben die Analyse, die Erforschung immer feinerer Details tritt die umfassende Synthese. Diese neue Dimension ist noch nicht weit ausgelotet, weil ihr erst jetzt die notwendigen Mittel zuwachsen: das rasch zunehmende Detailwissen und leistungsfähige Computer als unabdingbare Voraussetzungen. Die neue Dimension ist in zweierlei Hinsicht außerordentlich wichtig: zum einen als Grundlagenforschung, weil klar geworden ist, daß wir komplexe Objekte erst durchschauen, wenn wir ihre Muster verstehen und nicht nur ihre Details, zum anderen in praktischer Hinsicht, weil dieses Verstehen langfristig die Voraussetzung für unser Überleben sein wird.

Ein vertieftes Verständnis der Stoff- und Energiebilanzen von Ökosystemen und ihre komplizierten Regelungsmechanismen kann wesentlich dazu beitragen, Umweltschutz an strategisch richtigen Stellen wirken zu lassen und Belastungsgrenzen an ökologischen Erfordernissen zu orientieren (V. OSTEN und RAMI 1986). Vertiefte Kenntnisse über die Regelungsprinzipien unterschiedlich naturnaher Ökosysteme können zum zweiten wichtige Hinweise geben, wie Technik in Zukunft ökologisch verträglich gestaltet werden kann. Schließlich könnte eine weitergehende Berücksichtigung ökologischer Systemprinzipien bei der Gestaltung technischer Systeme zu besserer Energieausnutzung und erhöhtem Stoffrecycling führen sowie effizientere Rückkoppelungen und stabilisierende Regelungen bewirken.

LITERATUR

- ACSM-ASPRS (AMERICAN CONGRESS ON SURVEYING AND MAPPING - AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING), 1986: Geographic Information Systems. - ACSM-ASPRS, Washington D. C.
- APEL H., 1982: Dynamische Simulation eines Bergökosystems (Testgebiet Grindelwald). - Fachbeiträge zur Schweizerischen MAB-Information 13. MAB des Schweizer. Nationalfonds, Bern.
- ARNOLD H., 1988: Soziologische Theorien und ihre Anwendung in der Sozialgeographie. - Diss. rer. pol. Kassel.
- BERTALANFFY V. L., 1968: General System Theory. - Braziller, New York.
- CRAMER F., 1988: Chaos und Ordnung. Die komplexe Struktur des Lebendigen. - Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.
- DELFINER P., 1975: Geostatistical Estimation of Hydrocarbon Reserves. - Ecole Normale Sup. des Mines, Fontainebleau.
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB, 1978: Ökologie und Planung im Verdichtungsgebiet - die Arbeiten zu MAB-Projekt 11 der Region Untermain. - MAB-Mitteilungen 1, Bonn.
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB, 1981: Der Einfluß des Menschen auf Hochgebirgsökosysteme im Alpen- und Nationalpark Berchtesgaden. - MAB-Mitteilungen 9, Bonn.
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB, 1983: Ziele, Fragestellungen und Methoden. - Ökosystemforschung Berchtesgaden, MAB-Mitteilungen 16, Bonn.
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB, 1984: Szenarien und Auswertungsbeispiele aus dem Testgebiet Jenner. - Ökosystemforschung Berchtesgaden. - MAB-Mitteilungen 17, Bonn.
- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB, 1986: Mögliche Auswirkungen der geplanten Olympischen Winterspiele 1992 auf das Regionale System Berchtesgaden. - Ökosystemforschung Berchtesgaden. MAB-Mitteilungen 22, Bonn.

- DEUTSCHES NATIONALKOMITEE MAB, 1987: Studien zum Osnabrücker Agrarökosystem-Modell OAM für das landwirtschaftliche Intensivgebiet Südoldenburg. - MAB-Mitteilungen 26, Bonn.
- DREPPER F., 1987: Analyse chaotischer Dynamik: ein Makroskop für Vielkomponentensysteme. - Jahresbericht 1986/87 der Kernforschungsanlage Jülich GmbH: 37-47.
- ELLENBERG H., 1987: Ökosystemforschung im Solling - ein Über- und Ausblick. - Verh. Ges. f. Ökologie 16: 11-26.
- ELLENBERG H., FRÄNZLE O., MÜLLER P., 1978: Ökosystemforschung im Hinblick auf Umweltpolitik und Entwicklungsplanung. - BMI, Bonn.
- ELLENBERG, H., MAYER R., SCHAUERMANN J., 1986: Ökosystemforschung - Ergebnisse des Sollingprojektes 1966 - 1986. - Ulmer, Stuttgart.
- FRÄNZLE O., 1984a: Die Bestimmung von Bodenparametern zur Vorhersage der potentiellen Schädigung von Umweltchemikalien. - Angew. Botanik 58: 207-216.
- FRÄNZLE O., 1984b: Regionally representative sampling. - In: LEWIS, A., LEWIS, C., STEIN, N., (Eds.): Environmental Specimen Banking and Monitoring as Related to Banking. - Proc. Int. Workshop Saarbrücken, May 10-15, 1982, Nijhoff Amsterdam: 164-179.
- FRÄNZLE O., BRUHM I., GRÜNBERG K.-U., JENSEN-HUSS K., KUHN D., KUHN T. G., MICH K., MÜLLER F., REICHE E.-W., 1989: Darstellung der Vorhersagemöglichkeiten der Bodenbelastung durch Umweltchemikalien. - Schriftenreihe "Texte" des Umweltbundesamtes Bd. 34, Berlin.
- FRÄNZLE O., KUHN D., KUHN T. G., ZÖLITZ R., 1987: Auswahl der Hauptforschungsräume für das Ökosystemforschungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland. - Forschungsbericht 101 04 043/02 im Umweltforschungsplan des BMU, Kiel.
- FRANZ H.P., 1985: Der deutsche Beitrag zum UNESCO-Programm "Der Mensch und die Biosphäre" (MAB). - MAB-Mitteilungen 18.
- GIGON A., 1984: Typologie und Erfassung der ökologischen Stabilität und Instabilität mit Beispielen aus Gebirgsökosystemen. - Verh. Ges. f. Ökologie 12: 13-29.
- GLASER G., 1989: Umweltforschung als internationale Aufgabe. - Geogr. Rundschau 41: 436-440.
- GRAUMANN C. F., 1978: Ökologische Perspektiven in der Psychologie. - Huber, Bern.
- GROSSMANN W., SCHALLER J., SITTARD M., 1984: "Zeitkarten": eine neue Methodik zum Test von Hypothesen und Gegenmaßnahmen bei Waldschäden. - MAB-Mitteilungen 19: 118-142.
- HOJA L., 1989: "Fragen, an welchen Ventilen gedreht wird". Serie Ökosystemforschung in Deutschland (3): Universität Bayreuth. - Bild der Wissenschaft 7-1989: 15.
- IUCN, 1989: List of Biosphere Reserves. - Cambridge.
- KAMINSKI G., 1976: Umweltpsychologie. - Klett, Stuttgart.
- KORCH H., 1972: Die wissenschaftliche Hypothese. - Berlin.
- LIETH H., MARKERT B. A., 1988: Aufstellung und Auswertung ökosystemarer Elementkonzentrations-Kataster. - Springer, Berlin.
- MATHERON G., 1963 Principles of geostatistics. - Economic Geology 58: 1246-1266.
- MAY R. M., 1981: Theoretical Ecology. - Blackwell, Oxford, London.
- MÜLLER N., SCHÖN K. P., THOBER B., 1987: Real Structure Modelling. - TÜV, Köln.
- OSTEN V. W., RAMI B., 1986: Ökosystemforschung, eine notwendige Weiterentwicklung der Umweltforschung. - Allgemeine Forst-Zeitschrift 41: 535-536.
- PRIGOGINE I., NICOLIS G., BARLOYANTZ A., 1972: Thermodynamics of evolution. - Physics Today 25, n. 11,12.
- SCHALLER J., 1984: Das Modellkonzept zum MAB-6-Projekt Berchtesgaden. - MAB-Nationalkomitee Bonn, MAB-Mitteilungen 19: 95-112.
- SCHALLER H., SPANDAU L., 1987: MAB-Projekt 6: Der Einfluß des Menschen auf Hochgebirgsökosysteme - Integrierte Auswertungsmethoden und Modelle für die Ökosystemforschung Berchtesgaden. - Verh. Ges. f. Ökologie 15: 35-47.
- TJADEN H., BIEHLER H., RICHTER U., 1988: Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in der Ökosystemforschung - Ökosystemforschung Berchtesgaden, MAB-Mitteilungen 27. - MAB-Nationalkomitee, Bonn.
- ULRICH B., 1986: Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. - Forstwiss. Centralbl. 105: 421-435.

- UMWELTBUNDESAMT, SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ BERLIN, 1989: Ballungsraumnahe Waldökosysteme. - 3. Projekt-Jahresbericht Berlin.
- UNESCO 1984: IHP-III Programme and Plan International Hydrological Programme (1984-1989). - UNESCO Paris.
- VENEBRÜGGE G., 1988: Analyse des ökologischen Hauptforschungsraumes "Bornhöveder Seengebiet" mittels eines Geographischen Informationssystems. - Staatsexamensarbeit Kiel.
- VETTER L., SCHRÖDER W., FRÄNZLE O., 1986: Aspekte der Hypothesengewinnung und -operationalisierung in der Geographie. - In: FRÄNZLE, O., (Hrsg.): Geoökologische Umweltbeobachtung. Wissenschaftstheoretische und methodische Beiträge zur Analyse und Planung. Kieler Geographische Schriften 64: 1-17.

ADRESSE

Prof. Dr. O. Fränze
 Christian Albrechts-Universität zu Kiel
 Geographisches Institut
 Ludewig-Meyn-Straße 14
 D-W-2300 Kiel 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [19_3_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Fränzle Otto

Artikel/Article: [Zukunftsorientierte Umweltforschung im Rahmen des deutschen MAB-Programms 545-562](#)