

Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Forschungskonzept und Stand der Arbeiten

Felix Müller und Otto Fränzle

Synopsis

The present paper summarizes the aims and ends of comparative ecosystem research in the Bornhoeved Lake District (Schleswig-Holstein). Emphasis is put on the theoretical background with its hierarchy of hypotheses and different modelling approaches and the resultant interdisciplinary structures of the long-term project which groups about 100 scientists in about 30 working groups.

ecosystem research, modelling, interdisciplinarity

1. Einleitung

Ökosystemforschung wird vom BMFT charakterisiert als die medienübergreifende Erforschung von Stoff- und Energieflüssen, Struktur und Dynamik, Regelungsmechanismen und Stabilitätskriterien von Ökosystemen, um Steuerungs- und Rückkopplungsvorgänge verstehen zu lernen. Eingeschlossen ist die Aufklärung kausaler Wirkungsketten am Beispiel konkreter umweltpolitischer Problemstellungen (ARSU 1989). Diese komplexen Aufgabenstellungen können nur durch langfristige und interdisziplinäre Forschungsansätze gelöst werden, wie sie etwa im Berchtesgadener Raum (HABER 1985, SCHALLER 1985, SPANDAU 1985), in den Bayreuther und Göttinger Ökosystemforschungszentren (ULRICH 1989), im Landkreis Vechta oder in den schleswig-holsteinischen und niedersächsischen Wattenmeerprojekten (ARSU 1989, LEUSCHNER 1988) realisiert werden. Im folgenden soll das erweiterte Arbeitskonzept des seit 1988 vom Bundesminister für Forschung und Technologie und dem Land Schleswig-Holstein geförderten Vorhabens "Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette" vorgestellt werden. Hierdurch wird gleichzeitig der Rahmen für eine Reihe von Vorträgen und Postern, die bei der diesjährigen Tagung der Gesellschaft für Ökologie präsentiert werden, gesetzt. Die Schilderung stellt eine Erweiterung der Ausführungen von MÜLLER (1991) dar, so daß bezüglich der Darstellung des Untersuchungsraums, der organisatorischen Integrationsebenen und wichtiger Teilziele auf den genannten Text verwiesen werden kann.

2. Zielsetzungen des Vorhabens

Die Arbeiten des Vorhabens sollen Beiträge zu den von ELLENBERG & al. (1978) beschriebenen Zielen der Ökosystemforschung liefern, die zu dem Problemkomplex der Analyse der Selbstorganisation von Ökosystemen zusammengefaßt werden können (Übergeordnete Ziele aus der Tab. 1). Als Systemstruktur wird dabei die Menge der biotischen und abiotischen Systemelemente und der zwischen diesen wirkenden Relationen verstanden. Die **Struktur** wird demnach in wesentlichem Maße durch die Prozesse geprägt, aus deren zeitlichem Verlauf sich die Dynamik meßbarer Zustandsvariablen ergibt. Deren Ausprägungen schwingen, beeinflusst durch materielle, energetische und informatorische In- und Outputs, im Normalfall um einen Zustand des Steady State, der durch externe Fluktuationen oder interne positive Rückkopplungen gestört werden kann. Die Fähigkeit des Systems, nach solchen Inputs in den Fließgleichgewichtszustand zurückzukehren, wird durch die Organisation der Prozesse und die Verknüpfungseffektivität der negativen Rückkopplungen gesteuert. Randbedingungen dieser Systemeigenschaften sind u. a. die Di-

versität, Anordnung und Koppelung der Elemente, der Hierarchisierungsgrad des Systems, die Produktivität und Umsatzeffektivität der Biozönose, die interne Heterogenität des Systems, die Effektivität von Kreislaufprozessen, die Entropieproduktion des Systems sowie dessen Alter und Entwicklungsgrad. Die Prüfung der **Stabilität**, Elastizität und **Belastbarkeit** von Ökosystemen stellt neben der Strukturaufklärung - insbesondere unter der derzeitigen Umweltsituation - eine zentrale Aufgabe der Ökosystemforschung dar. Eine ebenso wichtige Frage ist die nach der **Entlastbarkeit** von Ökosystemen. In diesem Zusammenhang werden die ökosystemaren Konsequenzen der Irreversibilität von Fluktuationen und auftretender Hysteresis-Effekte bei kontinuierlicher Belastungsverminderung experimentell untersucht. Unter anwendungsbezogenem Aspekt gilt es schließlich, die erworbenen Kenntnisse zielorientiert in ein ökologisches **Informationssystem** zu integrieren. Zu diesem Zielkomplex gehört auch die Koppelung der Ökosystemforschung mit Beobachtungs- und Monitoringvorhaben sowie die Entwicklung planungsrelevanter, flächenbezogener Modelle, die als prognostische Entscheidungsgrundlagen genutzt werden können.

Tab. 1: Übergeordnete Ziele der Ökosystemforschung

A.	Erfassung und Interpretation der Struktur und Dynamik von repräsentativen Ökosystemen
B.	Analyse der Beziehungen zwischen Diversität, Produktivität und Stabilität von Ökosystemen
C.	Erarbeitung von Kriterien zur Be- und Entlastbarkeit von Ökosystemen
D.	Integration von vergleichender Ökosystemforschung, Umweltbeobachtung und Umweltprobenbank zu einem integrierten ökologischen Informations- und Bewertungssystem

Tab. 2: Besondere Ziele der Arbeiten in der Bornhöveder Seenkette

A.	Entwicklung und Anwendung von Modellen zur Verbesserung des Verständnisses von Ökosystemen
B.	Übertragung von Meßergebnissen und Modellen vom Schwerpunktgebiet auf größere Raumeinheiten mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems
C.	Erfassung der Struktur, Dynamik und Phänologie der Biozönose
D.	Quantifizierung wichtiger Mineral- und Nährstoffflüsse in und zwischen Ökosystemen
E.	Messung der Flüsse und Ableitung der Wirkungen von Umweltchemikalien
F.	Quantifizierung der Energieflüsse in und zwischen Ökosystemen
G.	Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen Ökosystemen (insbesondere zwischen terrestrischen und limnischen Ökosystemen)
H.	Vergleich von Agrar- und Forstökosystemen unterschiedlicher Nutzungsintensität
I.	Ermittlung der Effizienz von Umweltschutzmaßnahmen
J.	Paläoökologische Charakterisierung des Forschungsraums

Neben den geplanten Beiträgen zu den übergeordneten Zielen der Ökosystemforschung ergeben sich aus der Kombination der Teiluntersuchungen einige charakteristische Aufgabenstellungen, die in der Tab. 2 zusammengefaßt sind und mit deren Hilfe eine Abgrenzung des beschriebenen Projekts gegenüber anderen Forschungsvorhaben möglich ist.

3. Arbeitsmaßstäbe der Untersuchungen

Die Untersuchungsflächen des Vorhabens befinden sich innerhalb des ca. 35 km südlich von Kiel liegenden Einzugsgebietes einer aus sechs Seen bestehenden Gewässerkette, die durch die Alte Schwentine durchfließen und entwässert wird. In diesem Bereich werden sechs Arbeitsmaßstäbe unterschieden (vgl. Abb. 1). Durch die Wahl der Untersuchungsmaßstäbe ergibt sich eine hierarchische Differenzierung der räumlichen und zeitlichen Auflösungen, die zu einem integrierten System unterschiedlicher Methoden führt. Es müssen dabei im Sinne der Hierarchitätstheorie (z. B. O'NEILL & al. 1986, ALLEN & STARR 1982, LASZLO 1978) physiologische und reduktionistische Ansätze auf dem Niveau der funktionalen Subsysteme mit ganzheitlichen Betrachtungen auf der Ebene der Ökosysteme und aggregierenden, klassifizierenden Arbeitsweisen in Wassereinzugsgebieten miteinander verknüpft werden.

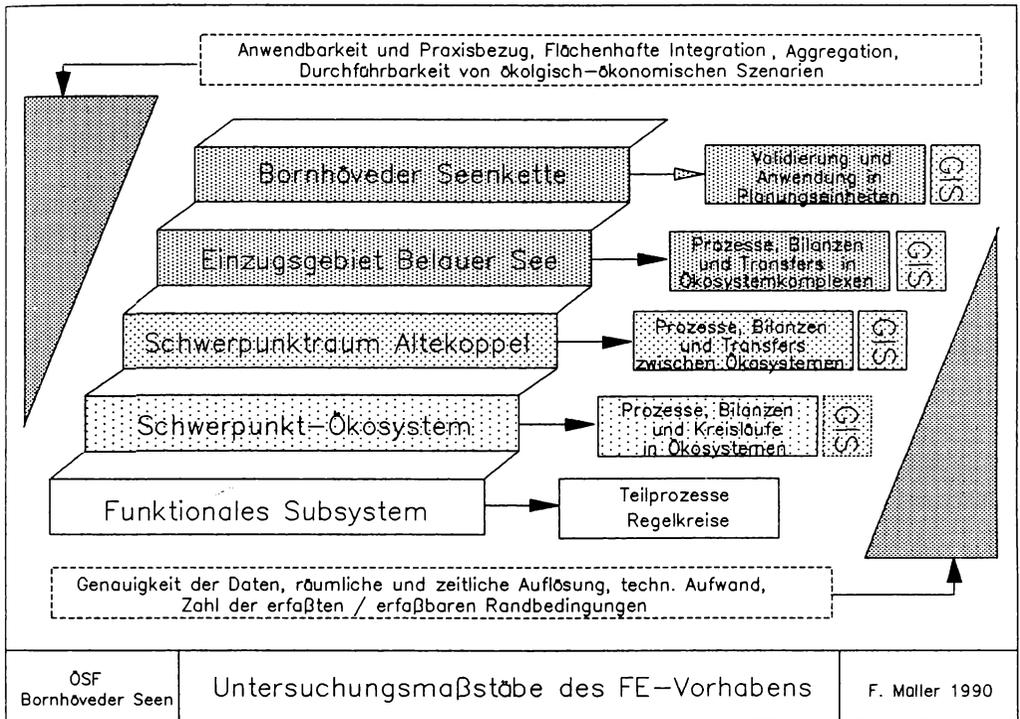


Abb. 1: Arbeitsmaßstäbe der Untersuchungen

Auf der Ebene der **funktionalen Subsysteme** werden von den 37 Teilvorhaben in einer räumlichen Ausdehnung im Meter- oder Dezimeter-Maßstab (z. B. Pedon, Einzelpflanze) Untersuchungen zu Teilprozessen und einzelnen ökologischen Regelkreisen durchgeführt. Die analytische Verfahrensweise dieser Betrachtungsebene führt zu exakten Messungen hochfrequenter Zustandsänderungen, die besonders an Schnittstellen von Transferpfaden ermittelt werden. Auf der Ebene der **Ökosysteme** werden mehrere catenar angelegte terrestrische Ökosysteme (Buchenwald, Nadelmischwald, Erlenbruch, unterschiedlich genutzte Äcker und Weiden) sowie der Belauer See bearbeitet. Die in den funktionalen Subsystemen erarbeiteten Interaktionen und

Flüsse müssen auf diesem Maßstab zu Prozessen, Prozeßkomplexen, Bilanzen und Kreisläufen integriert werden, die registrierten Frequenzen werden zielorientiert aggregiert, und die aus den Einzeluntersuchungen abgeleiteten Teilmodelle werden auf der Ebene des Ökosystems zusammengeführt und für die Analyse der Selbstorganisation von Ökosystemen genutzt. In den zehn untersuchten Ökosystemen sind mehrere **strukturelle Subsysteme** (z. B. trockene und feuchte Erlenwaldvarianten, Windbrüche, Bereiche unterschiedlicher Nutzungsintensität, Pelagial, Profundal und Litoral des Sees) enthalten, die sich in wichtigen Parameterkombinationen von den jeweiligen typischen Varianten unterscheiden. Eine Analyse der Interaktionen zwischen diesen Systemausschnitten soll zur Überprüfung der Hypothese genutzt werden, daß die Gesamtstabilität von Ökosystemen durch deren inneren Heterogenitätsgrad gesteuert wird.

Die nächste Maßstabsebene bezieht sich auf den **Schwerpunktraum** bei Altekoppel, in dem die o. a. Ökosysteme in Form einer forstlich und einer landwirtschaftlich genutzten Catena auf den Belauer See einspielen. Die zentralen Fragestellungen dieses Niveaus betreffen die Wechselwirkungen zwischen Ökosystemen, die durch Untersuchungen von Ökotonen und Stofftransfers in den See mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) analysiert und modelliert werden sollen.

Für die Erstellung von Stoffbilanzen kommunizierender terrestrischer und limnischer Ökosysteme werden die Arbeiten in das **Einzugsgebiet** des Belauer Sees eingebettet. Die Durchführung der Bilanzierungen basiert auf der Koppelung von Simulationsmodellen mit einem Geographischen Informationssystem. Auf der gleichen Methode beruhen die Arbeiten im Einzugsgebiet der Seenkette bzw. in dem betroffenen Amtsbezirk. Hier sollen die entwickelten Modelle für planerische Zwecke als Grundlagen von Szenarien probeweise angewendet werden, um nach dieser Validierung durch das Vorhaben "Umweltbeobachtung Schleswig-Holstein" für kleinmaßstäbige Fragestellungen verwendet zu werden.

4. Grundlagen des Untersuchungskonzepts

Da die Raum- und Zeitmaßstäbe von systemanalytischen Untersuchungen nicht grundsätzlich definierbar sind, bleibt es dem Untersuchenden überlassen, anhand seiner speziellen Ziele räumliche, zeitliche und funktionale Systemabgrenzungen bzw. -differenzierungen festzulegen (CZAYKA 1974, ROHPOHL 1978, STÖCKER 1979, BOSSEL 1986, O'NEILL & al. 1986). Dies führt zu sehr unterschiedlichen gedanklichen Modellen der Untersuchungsgegenstände, die schon aufgrund der notwendigen Abstraktion nie mit den realen Ökosystemen übereinstimmen können. Das Basismodell des vorgestellten Untersuchungsansatzes läßt sich folgendermaßen zusammenfassen: Struktur, Dynamik, Stabilität und Elastizität von Ökosystemen werden durch die statischen bzw. prozessualen Subsysteme der Raumstruktur, der Wasser-, Stoff- und Energieflüsse und der biozönotischen Struktur bestimmt. Diese komplexen funktionalen Subsysteme (Strukturtypen bzw. Holons nach KOESTLER 1970) sind durch Prozesse und Steuerungsmechanismen eng und hierarchisch miteinander verknüpft. Die Wechselwirkungen und Systemeigenschaften können daher mit Hilfe eines hierarchischen Untersuchungskonzepts integriert, modelliert und bewertet werden.

4.1 Hypothesen- und Teilaufgabensystem

Die oben genannten integrativen Zielsetzungen des Vorhabens können nur dann erreicht werden, wenn die Arbeitspläne der Teilvorhaben in optimaler Form an die übergreifenden Konzepte angeknüpft werden. Aus diesem Grunde wurde für das Vorhaben ein System von Teilaufgaben und Hypothesen erarbeitet, das als Basis der Untersuchungspläne jedem Mitarbeiter rasch verdeutlichen kann, welche Funktion er im Gesamtrahmen des Projektes einnimmt. Dieses System ist hierarchisch organisiert; es besteht aus fünf Ebenen, die streng miteinander verknüpft sind. Für jeden Strukturtyp (vgl. Abb. 2) der Ebenen 1 bis 4 wurden von den Projektgremien Hypothesen erarbeitet, die als hierarchische H-Hypothesen (Beschreibung der Beziehungen eines Strukturtyps zu dem entsprechenden Holon der nächsthöheren Ebene) und synergistische S-Hypothesen (Beschreibung der Beziehungen der Strukturtypen eines Niveaus untereinander: Konnektivitätsmatrix) bezeichnet werden. Diese werden durch Hypothesen auf dem Teilvorhaben-Niveau ergänzt (Ebene 5). Der Integrationsgrad der Hypothesen und Teilaufgaben nimmt zum Level 1 hin zu, während die empirischen Aktivitäten auf der fünften Ebene beschrieben und durchgeführt wer-

den. Parallel zum Hypothesensystem wurden die Arbeitsgruppen und Projektgremien in der Art organisiert, daß für jeden Strukturtyp der Ebenen 1 bis 3 und für einige Strukturtypen der Ebene 4 (z. B. Kohlenstoff- und Stickstoffhaushalt) spezifische Arbeitsgruppen zuständig sind.

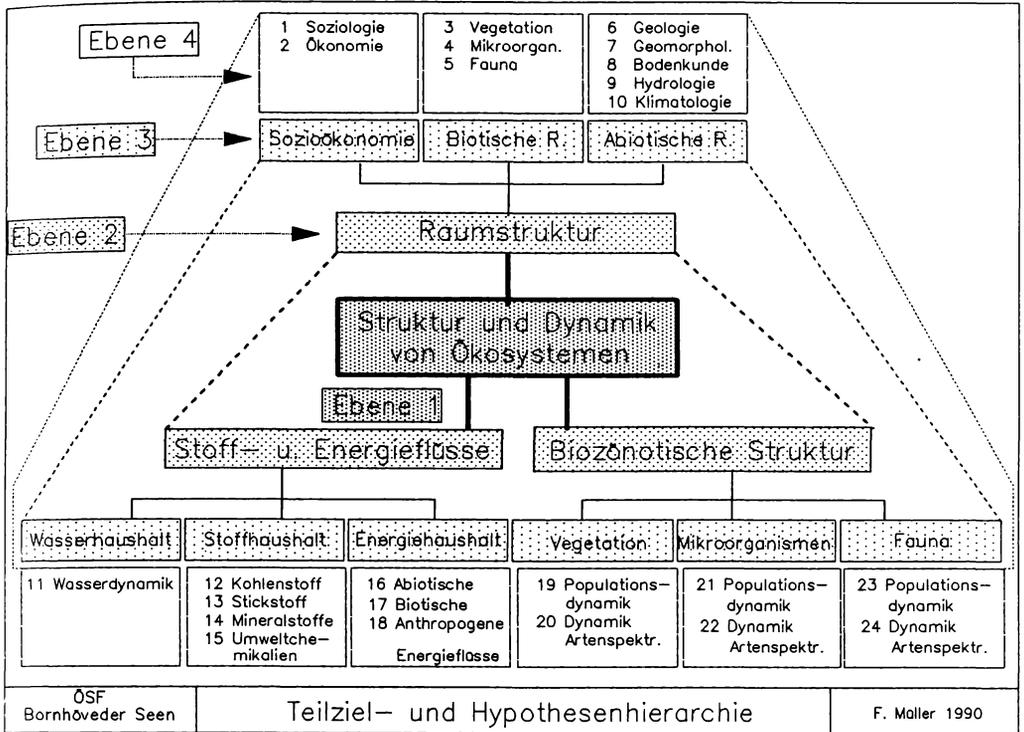


Abb. 2: Darstellung des hierarchischen Hypothesensystems innerhalb der Ebenen 1 bis 4

Die Untersuchungen zur **Raumstruktur** beziehen sich auf sozioökonomische Nutzungs- und Belastungsvariablen, vegetationskundliche und faunistische Kartierungen, Aufnahmen der Petrographie, Geomorphologie, Bodenkunde und Hydrographie sowie auf klimatologische und hydrologische Flächenmodelle. Die Arbeiten werden mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems durchgeführt, um die regional differenzierten Rahmenbedingungen der Prozesse und deren Intensitäten als mehrdimensionale Parameterkombination verfügbar zu halten. Außerdem sollen kausale Zusammenhänge auf der Basis von Verschneidungen unterschiedlicher Karten räumlich abgeleitet werden, und drittens werden die Arbeiten zur Raumstruktur benötigt, um Bilanzen für Einzugsgebiete zu erarbeiten. Diese Aufgabe ist insbesondere unter dem Aspekt der Beziehungen zwischen Gewässern und ihrem Umland von entscheidender Bedeutung. Die Flächendaten werden daher nicht nur als statische Parameter des Umsatzraums erfaßt, sondern auch unter dynamischen Aspekten verarbeitet.

Die Untersuchungen der **Wasser-, Stoff- und Energieflüsse** stehen im Mittelpunkt der Arbeiten, weil diese als vernetzte Strukturtypen hohe Bindungsdichten aufweisen und weil die stofflichen Retentionskapazitäten und die Effektivitäten der Energieausnutzung als Indikatoren der Systemstabilität genutzt werden können. Neben anionischen und kationischen Nährstoffen werden Kohlenstoffverbindungen, Schwermetalle und organische Umwelchemikalien in den Kompartimenten des Schwerpunktraums untersucht (vgl. Abb. 3). Der Wasserhaushalt bestimmt dabei die Umsatz- und Transportpotentiale, während der Energiehaushalt die Reaktionsgeschwindigkeiten der einzelnen Prozesse steuert. Die Biozönose fungiert unter stofflich-energetischem Aspekt als wichtiger Reaktionspartner, dessen Struktur die wesentlichen Randbedingungen der Effektivität von Umsätzen und Kreisläufen beeinflusst.

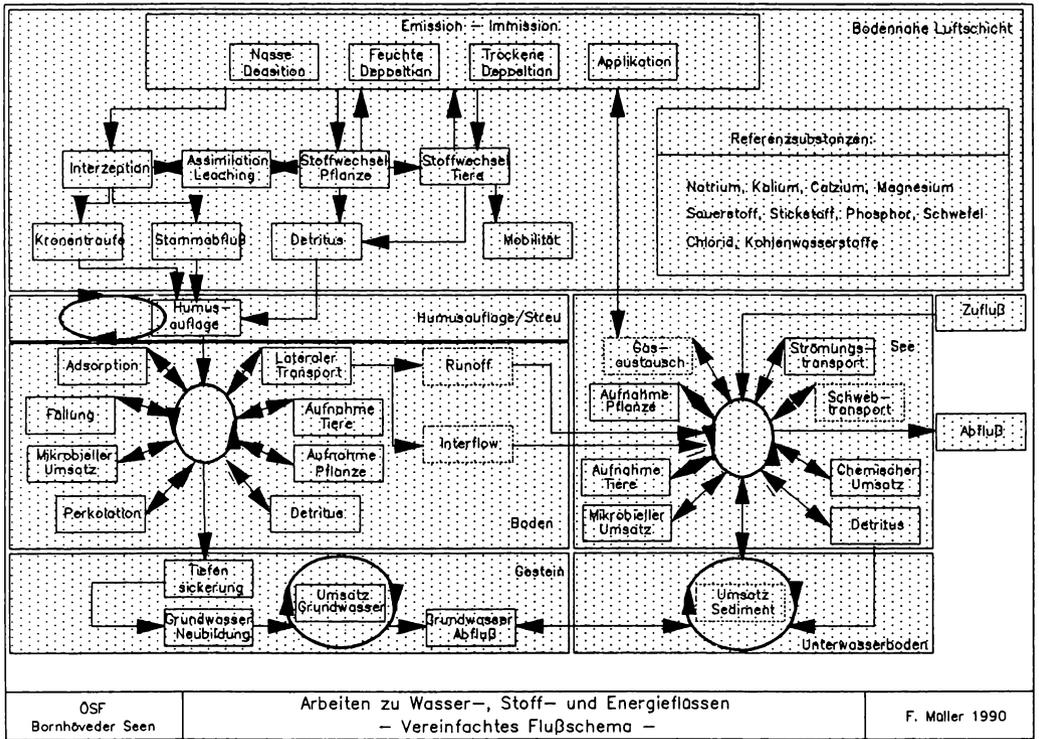


Abb. 3: Schematisierte Darstellung der Kompartimente der Arbeiten zur Wasserdynamik und zum Stoffhaushalt

Die **biozönotischen Wechselwirkungen** stellen die charakterisierenden Größen von Ökosystemen dar. Die Biozönose ist an allen Stofftransfers und an den meisten Stoffumwandlungen im System beteiligt. Sie ist in ein komplexes Netz von Nahrungsbeziehungen eingebettet, die den Energiefluß durch Ökosysteme beeinflussen. Durch inner- und zwischenartliche Beziehungen stellt die Biozönose ein umfangreiches Informationssystem dar. Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen werden sowohl als Reaktoren als auch als Indikatoren für den Systemzustand aufgefaßt. Die Arbeitsbereiche "Vegetation", "Fauna" und "Limnologie" untersuchen die in der Abb. 4 dargestellten Kompartimente durch die regelmäßige Erfassung der Artenspektren und Abundanzen und durch populationsdynamische Ansätze an dominanten Spezies. Darüber hinaus werden Produktionsuntersuchungen und Stoff- bzw. Energiegehaltsanalysen durchgeführt. Außerdem werden die faunistischen Austauschprozesse, die Steuerung der Abundanzen durch anthropogen beeinflusste Habitatstrukturen und die Abbauleistungen der Destruenten mit besonderem Interesse verfolgt.

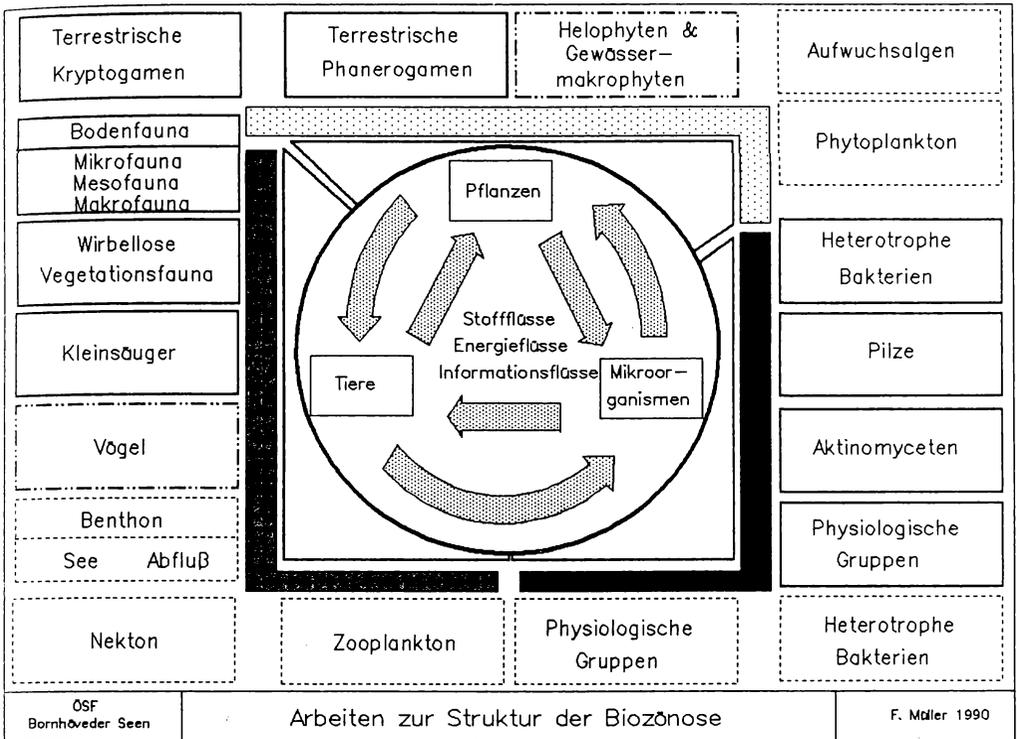


Abb. 4: Schematisierte Darstellung der Kompartimente der biozönotischen Untersuchungen

4.2 Teilprogramme

Die bearbeiteten Meßgrößen und Prozesse werden entsprechend dem Hypothesensystem verschiedenen Teilprogrammen zugeordnet, die zur Aufklärung spezieller Fragestellungen oder zur Erfassung von Grundlagendaten zusammengestellt wurden. Im Einzelnen sind die folgenden Programme zu nennen:

Im Rahmen des **Basisprogramms** werden Grundlagendaten, deren Kenntnis für die ergänzenden Untersuchungen unerlässlich ist, langfristig und regelmäßig mit festen und mobilen Stationen erhoben. Das Basisprogramm besteht aus den Untersuchungen zum Topo- und Mikroklima, aus der Messung essentieller Wasserhaushaltsgrößen und aus den grundlegenden stofflichen und energetischen Beprobungen und Analysen. Ferner werden die Indikation mikrobieller Umsätze sowie die Untersuchungen zur Struktur und Dynamik der Phyto- und Zoozönose dem Basisprogramm zugeordnet.

Dem **Gradientenprogramm** liegt die Erfahrung zugrunde, daß an Grenzflächen häufig besonders intensive Austausch- und Umsatzprozesse ablaufen. Als horizontale Gradienten werden dabei die räumlichen System- bzw. Kompartimentgrenzen (Ökotope) bezeichnet. Diese werden zunächst in der catenaren Standortabfolge (senkrecht zum See) unter dem Aspekt der Inputs vom Umland auf den Stoffhaushalt und die biozönotische Struktur des Sees bearbeitet. Hierbei stehen die verschiedenen Erlenbruch-, Schilf- und Litoraltypen im Mittelpunkt des Interesses. In einer zweiten Phase sollen die Funktionen von Waldrändern und Knicks, über die bereits eine Reihe von Kenntnissen vorliegt, vertiefend bearbeitet werden. Diese Untersuchungen werden mit Bewirtschaftungsumstellungen (Extensivierungsmaßnahmen) auf den Äckern und Weiden verknüpft, so daß zugleich verschiedene Nutzungsgradienten in die Untersuchungen einfließen. Im Rahmen der vertikalen Gradientenuntersuchungen werden sieben hochaktive Schnittstellen, die wichtige Teilprozesse der kompartimentübergreifenden Stofftransfers beeinflussen, bearbeitet.

Beispiele sind die Grenzflächen zwischen der bodennahen Luftschicht und der Pflanze, zwischen der bodennahen Luftschicht und der Humusaufgabe oder die Kontaktzonen zwischen Seesediment und Wasserkörper.

Die **Untersuchungen zu Heterogenitäten** dienen der Überprüfung der Hypothese, daß sich derartige Subsysteme als Pufferaggregate auswirken. Das Arbeitsspektrum reicht von Rhizosphärenuntersuchungen über Analysen der Funktionen von Makroporen bis hin zu Arealen mit hohen Windbruchanteilen. Es wird davon ausgegangen, daß die im Rahmen der Hierarchietheorie häufig angeführte stabilisierende Wirkung relativ eigenständiger Subsysteme (O'NEILL & al. 1986, REMMERT 1988, BORMANN & LIKENS 1979) mit Hilfe integrierter Messungen und Modellanwendungen nachgewiesen werden kann.

Zwei weitere Teilprogramme umfassen **Untersuchungen zur Prozeßsteuerung**, durch die mit Hilfe von experimentellen Eingriffen und Laboruntersuchungen notwendige Modellparameter abgeleitet werden sollen, und die **Erarbeitung von Modellen**. Diese sollen als Integrationsebenen zur Beschreibung und Verknüpfung von Prozessen dienen.

4.3 Integrationsebenen

Aus der Tab. 1 geht hervor, daß die Zielsetzungen des Gesamtvorhabens, die zu Beiträgen zur Analyse der Selbstorganisation von Ökosystemen führen sollen, integrativer Natur sind. Das Arbeitskonzept sieht hierfür praktische und theoretische Verfahrensweisen vor, die im folgenden zusammenfassend dargestellt werden.

4.3.1 Organisatorische Grundlagen der Integration

Die technischen Voraussetzungen für die Zusammenführung der Teilerkenntnisse werden vom Arbeitsbereich 1 koordiniert. Zu ihnen zählt die Einrichtung eines zentralen Datenbanksystems, in das alle erhobenen Meßwerte in definierten Formen, Qualitäten und Rhythmen eingegeben werden. Die gespeicherten Daten stehen allen Mitarbeitern für die fachspezifischen Interpretationen zur Verfügung. Zugriffe und Datenaustausch werden durch eine kompatible, einheitliche Benutzersoftware gewährleistet, die sowohl in Netzwerken als auch auf alleinstehenden Rechnern verfügbar ist. Die anhand der Zeitreihen entwickelten Modelle und Expertensysteme sowie die im GIS integrierten Flächendaten stellen eine weitere technische Integrationsebene dar.

Als organisatorische Integrationsgrundlagen können die administrative Projektstruktur, das Hypothesen- und Teilaufgabensystem und die abgestimmten Teilprogramme betrachtet werden. Eine wichtige Rolle spielt die Gremienarbeit, wobei in den verschiedenen Arbeitsbereichen und Arbeitsgruppen jeweils Teil-Integrationen durchgeführt werden, deren Verknüpfung durch die Arbeitsgruppen Modellbildung und Theoretische Ökologie zusammen mit dem Projektbüro und Leitungsgremium durchgeführt wird.

4.3.2 Praktische Integrationsansätze

Der praktische Ausgangspunkt der Integration besteht in der **hierarchischen Verknüpfung von Strukturtypen** auf den in der Abb. 2 dargestellten Ebenen 1 bis 4. Dabei werden die jeweiligen H- und S-Hypothesen (H: welche Beiträge liefert ein Strukturtyp zur übergeordneten Einheit, S: wie werden die Prozesse eines Strukturtyps durch andere Strukturtypen des gleichen Niveaus beeinflusst - Asymmetrische Systemmatrix zwischen den Strukturtypen) anhand der Datensätze in den Arbeitsgruppen überprüft. Dies geschieht zum Beispiel auf der Ebene 4 (Strukturtypen 1 bis 24 in Abb. 2) zunächst durch die Ableitung homogener Raumausschnitte, stofflich-energetischer Bilanzierungen von Flüssen bzw. Kreisläufen und Bestimmungen biozönotischer Interaktionen. Die zur Erklärung dieser Wechselwirkungen notwendigen Parameter aus anderen Strukturbereichen werden schrittweise in die Betrachtungen einbezogen.

Modelle stellen ein sehr wichtiges Werkzeug der Zusammenführung prozessualer Einheiten dar. Sie dienen als Hilfsmittel zur Beschreibung der Dynamik von Subsystemen, werden zur Strukturierung von Arbeitsplänen genutzt, und durch die mathematische Formulierung sind sie als kurze einheitliche Sprachform verwendbar. Außerdem übernehmen die Modelle eine Brückenfunktion zwischen der Grundlagenforschung und angewandten Problemstellungen. Die **Verknüpfung von Modellen** steht daher im Mittelpunkt der integrativen Arbeiten.

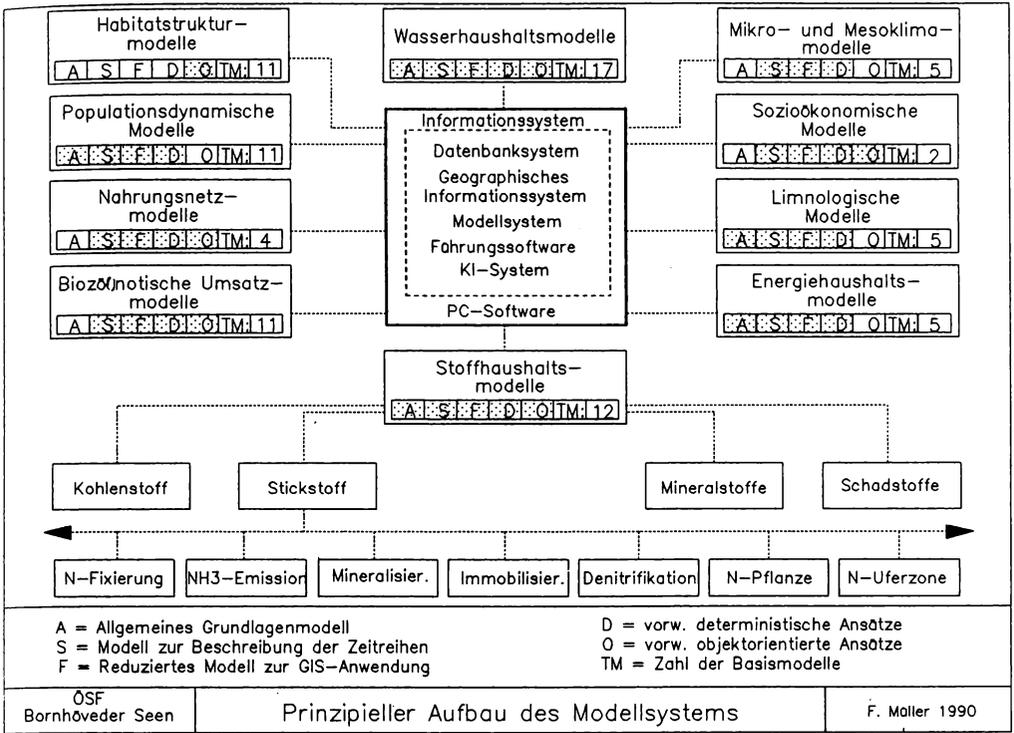


Abb. 5: Modelle als Bestandteile des Hypothesen- und Teilaufgabenkonzepts

Die Modellentwicklung basiert auf konzeptionellen Flußschemata, nach denen die Arbeits- und Meßpläne ausgearbeitet werden. Die mathematische Formulierung der Zusammenhänge führt zum Modelltyp A (Allgemeines Grundlagenmodell). Durch die Verknüpfungen von kleinen, prozessbezogenen und kompatiblen Teilmodellen (vgl. Beispiel Stickstoffhaushalt in der Abb. 5) wird eine Kalibrierung anhand der Zeitreihendaten aus dem Schwerpunktraum möglich (Modelltyp S), und im dritten Schritt sollen die Modelle anhand der im GIS abgelegten Flächenparameter regionalisierend verwendet werden (Modelltyp F). Da die Kenntnisse der Randbedingungen auf dieser Maßstabsebene wesentlich geringer sind als im Schwerpunktraum, müssen z. T. vereinfachte Modellansätze bei definierten Fehlergrenzen verwendet werden.

Der Kern des Modellsystems besteht aus der Datenbank, aus der die Inputgrößen entnommen und in die die Resultate der Modelle zum schnellen Vergleich mit den Meßwerten zurückgeführt werden. Das Datenbanksystem (ORACLE) wird als Integrationsinstrument mit dem GIS (ARC/INFO), einem Modellsystem (SYSL), der Software für objektorientierte und wissensbasierte Systeme, die vorzugsweise zur Integration biozönotischer und unscharfer Datensätze verwendet werden, und der PC-Benutzer-Software durch eine auszubauende Führungssoftware verknüpft. Die Erarbeitung der Simulationsmodelle und der wissensbasierten Systeme geschieht durch die Arbeitsgruppe Modellbildung in enger Zusammenarbeit mit den Teilvorhaben. Die Mitarbeiter der Teilvorhaben Informatik, Mathematik und Modellbildung konzentrieren sich dabei jeweils auf bestimmte Strukturtypen und entwickeln die Modelle anhand eines festen Zeitplans gemeinsam mit den Wissenschaftlern der anderen Teilprojekte. Durch die in der Abb. 5 angedeutete Verknüpfungsstrategie stellt das Modellsystem eine Parallele zur Hypothesen- und Teilaufgabenhierarchie dar, so daß die Bearbeitung der einzelnen Ebenen analog und zeitlich parallel zur oben beschriebenen Integration der Strukturtypen durchgeführt werden kann.

Eine dritte pragmatische Integrationsmöglichkeit besteht in der **Nutzung von Regionalisierungsverfahren**. Die flächenhaften Arbeiten dienen nicht nur der Charakterisierung der verschiedenen Umsatzräume. Sie sollen vielmehr ebenfalls zur Analyse von Wechselwirkungen auf-

grund räumlicher Verteilungsmuster, zur Interpretation von langfristigen Entwicklungstrends und räumlichen Heterogenitäten. zur Erstellung von Bilanzen für Einzugsgebiete und zur Ableitung von Belastungsgradienten aufgrund der anthropogenen Nutzungen verwendet werden. Außerdem dient das GIS als Speichermedium, Extrapolationsinstrument und als Grundlage der Umsetzung von Resultaten für planerische Zwecke.

4.3.3 Theoretische Integrationsansätze

Neben den bereits erprobten und fest installierten pragmatischen Integrationsansätzen sollen künftig theoretische Fragen stärker bei der übergreifenden Interpretation verwendet werden. Dabei wird angestrebt, Methoden zu analysieren und vergleichend zu überprüfen, die in der Lage sind, die Systemdynamik in einheitlichen Dimensionen zu beschreiben. So können kybernetische Ansätze, bei denen das Ökosystem als Komplex von Regelkreisen betrachtet wird, verwendet werden, um die Schwingungen des Systems um den Zustand des Steady State im unbelasteten Zustand zu beschreiben und die Reaktion des Systems auf Störungen durch Elastizitätsmaße zu charakterisieren (FRÄNZLE 1977). Eine weitere Beschreibungsmöglichkeit bietet die Informationstheorie, bei der die Unwahrscheinlichkeit von Signalen formal quantifiziert wird. Durch die Koppelung des Informationsbegriffs mit der Entropie (EBELING & FEISTEL 1982) oder durch die Ableitung von Maßzahlen wie z. B. der System Ascendency (ULANOWICZ & GOLDMANN 1988) werden Möglichkeiten zur Systembeschreibung geboten, deren Anwendbarkeit auf die vorhandenen Datensätze überprüft werden soll. Im Rahmen der thermodynamischen Betrachtungsweise kann anhand der Entropieproduktion der Stabilitätszustand von Ökosystemen direkt (MAUERSBERGER 1985) oder indirekt als ökologische Effizienz, Recycling Index oder Transient Time (WIEGERT 1988, AOKI 1988, DE ANGELIS 1980) abgeschätzt werden. JOERGENSEN (1988) benutzt das Konzept der Exergie, um die strukturell gebundene Energie des Ökosystems als Beschreibungsmaß zu nutzen. Neben der Prüfung dieser Ansätze sollen die Hypothesen der Hierarchitätstheorie (ALLEN & STARR 1982, O'NEILL & al. 1986) eingehend bearbeitet werden. Die Bedeutung der Hierarchisierung bzw. Dezentralisierung für die Stabilität von Ökosystemen soll durch eine horizontale und vertikale Systemgliederung anhand von Prozeß-Raten und Frequenzen mit anschließender Modellanwendung untersucht werden. Schließlich ist zu untersuchen, in welchem Maße die Ansätze Chaos- und Katastrophentheorien insbesondere in Belastungssituationen Beschreibungs- und Interpretationsmöglichkeiten bieten.

5. Stand der Arbeiten

Das Modellbildungskonzept, die Arbeitspläne der Arbeitsbereiche und der Stand der Arbeiten wird durch eine Reihe von Vorträgen und Postern, die gemeinsam mit dieser Einführung vorgestellt werden, dokumentiert. Das Projekt begann im April des Jahres 1988 mit einer ersten Projektphase, die im März 1991 abgeschlossen werden soll. Während dieses Zeitraums lag der Schwerpunkt der Arbeit auf der Installation der infrastrukturellen Einrichtungen, in dem Erlernen der interdisziplinären Kooperation, in der Erarbeitung von grundlegenden Erkenntnissen über die Meßstandorte, in der Messung von Pools und der Definition von Prozessen anhand von Konzeptmodellen. Grundlegende Prozesse werden mit dem Abschluß der ersten Phase modellierbar sein und es ist davon auszugehen, daß die Basis des Informationssystems (Koppelung Datenbank, Modellsystem, GIS und PC-Benutzer-Software) zu Beginn der zweiten Förderphase verfügbar ist. Zum Zeitpunkt der Formulierung dieses Textes wird der Forschungsantrag für den zweiten Arbeitszeitraum abschließend formuliert, in dessen Konzeption sehr viele Erfahrungen auf organisatorischem wie fachlichem Gebiet aus den drei ersten Arbeitsjahren einfließen.

Danksagung

Die geschilderten Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert und vom Land Schleswig-Holstein unterstützt. Den beteiligten Institutionen gilt daher der Dank aller Mitarbeiter. Die Grundlage der Arbeiten besteht in der Motivation aller Beteiligten, die Einzelarbeiten in die Gesamtheit der ökosystemaren Fragestellungen einzufügen. Das geschilderte Arbeitskonzept ist unter diesem Gesichtspunkt gemeinschaftlich in vielen Diskus-

sionsrunden erwachsen, an denen vor allem die Kollegen des Leitungsgremiums und des Projektbüros beteiligt waren.

Literatur

- ALLEN, T. H. F. & T. B. STARR, 1982: Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity. Univ. of Chicago Press.
- AOKI, I., 1988: Holological Study of Lakes from an Entropy Viewpoint - Lake Mendota. Ecological Modelling 45: 81-93.
- ARSU, 1989: Programmkonzeption zur Ökosystemforschung im niedersächsischen Wattenmeer. Berlin.
- BORMANN, F. H. & G. E. LIKENS, 1979: Pattern and Process in a Forested Ecosystem. New York.
- BOSSSEL, H., 1986: Introduction to System Analysis. MAB-Mitteilungen 24: 51-66.
- CZAYKA, L., 1974: Systemwissenschaft. Pullach.
- DE ANGELIS, D. L., 1980: Energy Flow, Nutrient Cycling, and Ecosystem Resilience. Ecology 56: 238-243.
- EBELING, W. & R. FEISTEL, 1982: Physik der Selbstorganisation und Evolution. Berlin.
- ELLENBERG, H., FRÄNZLE, O. & F. MÜLLER, 1978: Ökosystemforschung im Hinblick auf Umweltpolitik und Entwicklungsplanung. Berlin.
- FRÄNZLE, O., 1977: Die Struktur und Belastbarkeit von Ökosystemen. Tagungsberichte 41. Deutscher Geographentag: 469-485.
- HABER, W., 1985: Die Umsetzung ökologischer Forschungsergebnisse in politisches Handeln. MAB-Mitteilungen 21: 16-31.
- JOERGENSEN, S. E., 1988: Use of Models as Experimental Tools to Show that Structural Changes are Accompanied by Increasing Exergy. Ecological Modelling 41: 117-126.
- KOESTLER, A., 1970: Jenseits von Atomismus und Holismus - Der Begriff des Holons. In: KOESTLER, A. & J. R. SMYTHIES: Das neue Menschenbild. Wien, München, Zürich: 192-229.
- LASZLO, E., 1978: Evolution und Invarianz in der Sicht der allgemeinen Systemtheorie. In: LENK, H. & G. ROHPOHL (Hrsg.): Systemtheorie als Wissenschaftsprogramm. Königstein: 221-238.
- LEUSCHNER, C., 1988: Ökosystemforschung Wattenmeer-Hauptphase Teil 1. Berlin.
- MAUERSBERGER, P., 1985: Local Entropy Production in Aquatic Ecosystems. Acta Hydrophysica, Bd. 29, H. 4: 235-258.
- MÜLLER, F., 1991: Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette. Verh. Ges. Ökol. 19: im Druck.
- O'NEILL, P. V., DE ANGELIS, D. L., WAIDE, J. B. & T. H. F. ALLEN, 1986: A Hierarchical Concept of Ecosystems. Princeton.
- REMMERT, H., 1988: Gleichgewicht durch Katastrophen. Aus Forschung und Medizin, Jg. 3. 1: 7-17.
- ROHPOHL, G., 1978: Einführung in die allgemeine Systemtheorie. In: LENK, H. & G. ROHPOHL (Hrsg.): Systemtheorie als Wissenschaftsprogramm. Königstein: 221-238.
- SCHALLER, J., 1985: Das Modellkonzept zum MAB-Projekt 6 Berchtesgaden. MAB-Mitteilungen 19: 95-112.
- SPANDAU, L., 1985: Das Modell Olympia - Vorgehensweise und erste vorläufige Ergebnisse. MAB-Mitteilungen 21: 202-224.
- STÖCKER, G., 1979: Ökosystem - Begriff und Konzeption. Arch. Natursch. Landschaftsf. 19: 157-176.
- ULANOWICZ, R. E. & A. J. GOLDMANN, 1988: On Quantifying the Effects of Final Causes in Ecosystem Development. In: WOLF, W., SOEDER C.-J. & F. R. DREPPER (eds.): Ecodynamics. Berlin, Heidelberg: 164-180.
- ULRICH, B., 1989: Stabilitätsbedingungen von Waldökosystemen, Forschungsantrag an das BMFT, Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 14. Göttingen.
- WIEGERT, R. G., 1988: The Past, Present, and Future of Ecosystem Energetics. In: POMEROY, L. R. & J. J. ALBERTS: Concepts of Ecosystem Ecology. Ecological Studies 67: 39-55.

Adresse

Dr. Felix Müller
Prof. Dr. Otto Fränze
Projektzentrum Ökosystemforschung
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Schauenburger Straße 112

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: [20_1_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Müller Felix, Fränzle Otto

Artikel/Article: [Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette: Forschungskonzept und Stand der Arbeiten 95-106](#)