

Europäische Akademie

zur Erforschung von Folgen  
wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

---

*Direktor:*

Professor Dr. Carl Friedrich Gethmann

**Biodiversitätsforschung  
in Deutschland.  
Potentiale und Perspektiven**

von

**Wilhelm Barthlott und Mathias Gutmann (Hrsg.)**

Oktober 1998

2., unveränderte Auflage (April 2000)



Europäische Akademie  
zur Erforschung von Folgen  
wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

 **DIVERSITAS**  
**deutschland**  
Nationales Sekretariat des integrativen UN-  
Biodiversitätsforschungsprogrammes DIVERSITAS

**Biodiversitätsforschung  
in Deutschland.  
Potentiale und Perspektiven**

von

**Wilhelm Barthlott und Mathias Gutmann (Hrsg.)**

Oktober 1998

2., unveränderte Auflage (April 2000)

**Herausgeber:**

**Europäische Akademie**

zur Erforschung von Folgen  
wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
**Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH**

Postfach 14 60, D-53459 Bad Neuenahr-Ahrweiler

Telefon: ++49 - (0)2641 - 7543 - 00, Telefax -20

e-mail: europaeische.akademie@dlr.de

**Direktor:**

Professor Dr. Carl Friedrich Gethmann (V.i.S.d.P.)

**ISSN** 1435-487 X

**Redaktion:**

Dagmar Uhl, M. A.

**Druck:**

Druckerei Martin Warlich, Bad Neuenahr-Ahrweiler

## Vorwort

Die Europäische Akademie GmbH und das Nationale Sekretariat DIVERSITAS Deutschland organisierten am 26. und 27. Juni 1998 in Bonn eine Tagung zu Position und Perspektiven der deutschen Biodiversitätsforschung. Ziel der zweitägigen Veranstaltung war es, Grundlagen und Chancen für die Entwicklung einer international konkurrenzfähigen Biodiversitätsforschung in Deutschland zu erarbeiten. Die Tagung hatte dementsprechend zwei inhaltliche Schwerpunkte:

1. Eine im wesentlichen biologisch orientierte, umfassende Bestandsaufnahme des status quo, der Defizite und der Entwicklungsmöglichkeiten innovativer, transdisziplinärer Biodiversitätsforschung. Dabei standen insbesondere die Rekonstruktion der Mechanismen der Erhaltung und der Veränderung von Biodiversität im Zentrum.
2. Die Diskussion methodologischer Grundannahmen, die in wissenschaftlich wie gesellschaftlich motivierte Beschreibungen von Biodiversität – oft ungeprüft – eingehen.

Der hier vorgelegte Dokumentationsband soll den erreichten Stand der Diskussion präsentieren und zugleich eine Grundlage für die Entwicklung weiterer, inhaltlicher und methodischer Perspektiven einer umfassenden Biodiversitätsforschung bieten. Von seiten der Europäischen Akademie wird die Erarbeitung eines solchen transdisziplinären und umfassenden Biodiversitätskonzeptes im Rahmen der dazu eigens eingerichteten Arbeitsgruppe *Biodiversität* angestrebt.

Die Herausgeber hoffen auf eine breite fachinterne und fachübergreifende Resonanz, die die weitere Entwicklung der Biodiversitätsforschung in Deutschland dauerhaft fördern und begleiten möge.

Bonn, Bad Neuenahr-Ahrweiler, im Oktober 1998

Wilhelm Barthlott, Mathias Gutmann



## Inhaltsverzeichnis

Eckhard Ehlers . . . . .	7
<b>Internationale Global Change Forschung und Biodiversität</b>	
K.-Eduard Linsenmair . . . . .	13
<b>Mechanismen der Erhaltung von Biodiversität in terrestrischen Ökosystemen</b>	
Wilhelm Barthlott . . . . .	17
<b>Räumliche Muster der Biodiversität</b>	
Klaus Peter Sauer . . . . .	23
<b>Mechanismen der Entstehung und Erhaltung von Biodiversität</b>	
Manfred Küppers . . . . .	27
<b>Globaler Wandel der Biodiversität und ökophysiologische Forschung: Chancen und Grenzen</b>	
Karl-Otto Rothhaupt. . . . .	31
<b>Mechanismen der Erhaltung von Biodiversität in limnischen Systemen</b>	
Horst Kurt Schminke, Johann Wolfgang Wägele. . . . .	34
<b>Die Tiefsee – ein Modell zur Erforschung mariner Diversität</b>	
Gotthilf Hempel . . . . .	37
<b>Die reiche Biodiversität in Küstenzonen</b>	
Erko Stackebrandt . . . . .	41
<b>Biodiversität von Mikroorganismen</b>	
Clas M. Naumann . . . . .	46
<b>Biogeographie und Stammesgeschichte. Prioritäten für die Erhaltung von Biodiversität</b>	
Fritz F. Steininger . . . . .	50
<b>Biodiversität im Wandel der Erdgeschichte</b>	
Jörg U. Ganzhorn . . . . .	56
<b>Umweltnutzung versus Erhalt biologischer Diversität</b>	
Norbert Jürgens . . . . .	61
<b>Transkontinentale Makrotransekte als Instrument zur Erforschung der Biodiversität. Ein konkreter Vorschlag für einen Projektverbund: BIOTA-Biodiversity Monitoring Transect Analysis</b>	
Peter Janich, Mathias Gutmann . . . . .	66
<b>Normative Grundlagen der Biodiversität</b>	





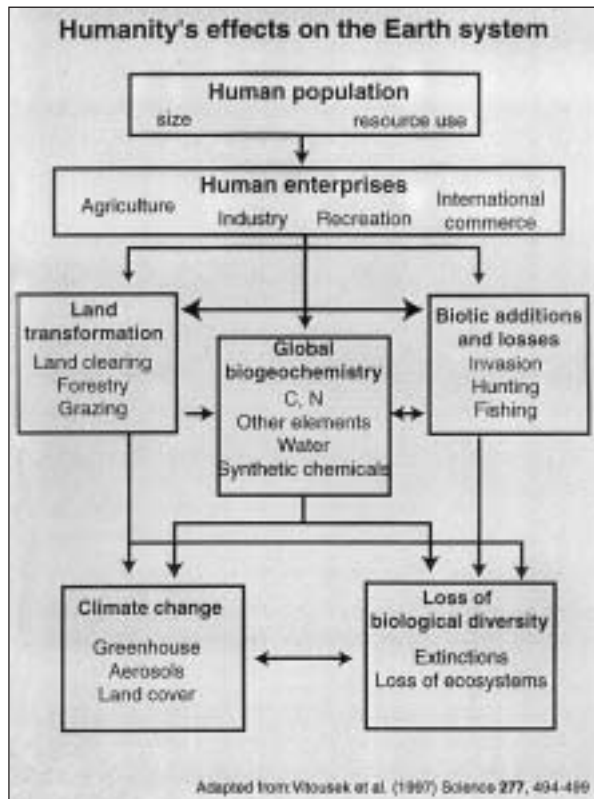
**Eckhard Ehlers**

## **Internationale Global Change Forschung und Biodiversität**

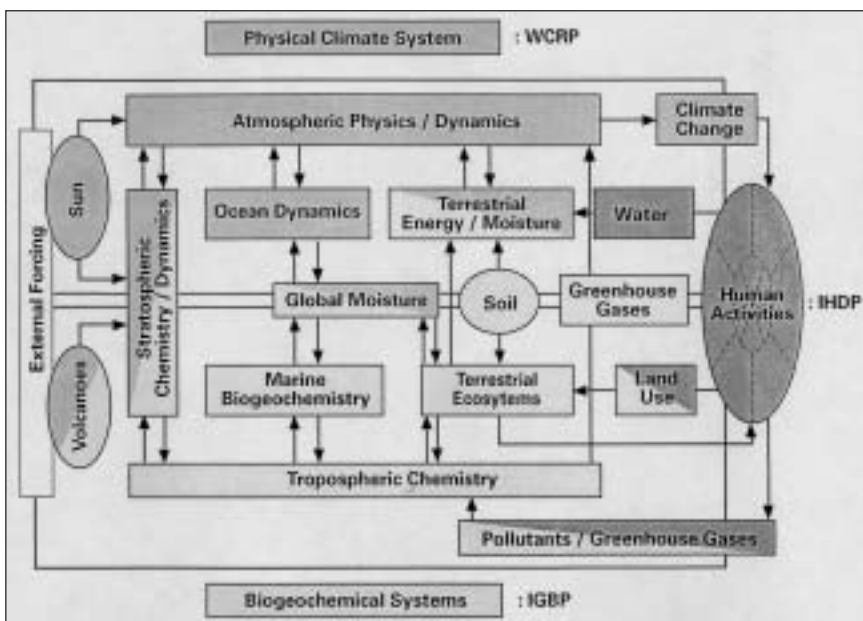
Eine Analyse der Forschungsschwerpunkte von WCRP, IGBP und IHDP zeigt, daß

- a) Biodiversitätsforschung innerhalb von IGBP und IHDP bislang nur eine allenfalls marginale Rolle zu spielen scheint, und
- b) das Eigenprofil und die Sichtbarkeit der von vielen scientific communities als unabdingbar und dringend gebotenen Biodiversitätsforschung bislang kaum existent ist.

Hinzukommt, daß in dem inzwischen berühmten Bretherton-Diagramm (das zwar mittlerweile viele Jahre alt ist, das immer wieder und zunehmend zitiert wird, das aber niemals aktualisiert und ergänzt wurde) Biodiversität/DIVERSITAS als Programm und Forschungselement fehlt (Abb. 1).



Ein solcher Befund muß um so befremdlicher wirken, als jüngst von zoologischer wie botanischer Seite zwei Arbeiten mit den programmatischen Titeln „Human Domination of the Earth’s Ecosystems“ und „Entering the Century of the Environment“ veröffentlicht wurden, die nicht nur eine verstärkte Interaktion von Natur- und Sozialwissenschaften einfordern, sondern die zunehmende Notwendigkeit problem- wie anwendungsorientierter Antworten auf ungelöste und wohl auch komplexer werdende Fragen globalen Umweltwandels betonen. In diesem Zusammenhang ist das von VITOUSEK et al. (1997) entwickelte Schema über den „loss of biological diversity“ als Ergebnis menschlicher Intervention in den globalen Naturhaushalt von besonderer Bedeutung (Abb. 2).



Die Repräsentanz einer speziellen und spezifischen Diversitätsforschung in den oben genannten Umweltprogrammen ist allenfalls sporadisch. Während sie für WCRP von der Sache her ausscheidet, ist auch die Bestandsaufnahme in drei IGBP/IHDP-Programmen (GCTE-LOICZ-LUCC) mehr denn ernüchternd. Dieses gilt vor allem für das Teilprojekt GCTE, in dessen Science Plan zu den „IGBP Terrestrial Transects“ (1995) es lediglich an einer Stelle sibyllinisch heißt:

„It should be noted that the IGBP transects will be valuable research tools for related non-IGBP research, such as the work on the origins and maintenance of biodiversity being undertaken by DIVERSITAS and work on ecologically sustainable development“ (S. 14).

In LOICZ (1993) findet sich keinerlei Hinweis auf irgendwelche Forschungsvorhaben, die die Problematik von floristischer oder faunistischer Artenvielfalt und ihre Gefährdung zum Gegenstand haben. Lediglich – und vielleicht nicht zufällig! – in dem von IGBP und IHDP gemeinsam betreuten Programm LUCC sind spezifische Hinweise zum Thema „Biodiversity“ zu finden. Unter der Überschrift „Global Change Themes Requiring Land-Use and Land-Cover Change Information“ finden sich die folgenden Angebote an die DIVERSITAS-Forschung:

#### **BIODIVERSITY**

- Ecosystem structure and function
- Species and genetic diversity
- Land-cover fragmentation

Aber auch sie sind wohl weniger als konkrete Forschungsperspektiven denn als legitimierende Postulate für die eigene Forschungsrelevanz des LUCC formuliert.

Vor dieser ernüchternden Bestandsaufnahme sei kurz auf ein Potential für die Biodiversitätsforschung im nationalen Kontext verwiesen. Das Nationale Komitee für Global Change Forschung, das auf nationaler

Ebene die internationale Programmstruktur widerspiegelt und in dem Vertreter der vier großen internationalen Forschungsprogramme WCRP-IGBP-IHDP-DIVERSITAS ebenso wie Repräsentanten des BMBF und der DFG vertreten sind, hat beschlossen, als Schwerpunkt deutscher GEC-Forschung und als deren „Flaggschiff“ ein integriertes, Natur- wie Sozialwissenschaften in adäquater Weise berücksichtigendes Projekt mit dem Titel:

Wasser: Verfügbarkeit-Qualität-Allokation  
(Availab.-Quality-Allocation: AQUA)

vorzuschlagen.

Die Zielsetzungen des neuen Leitprojektes der deutschen GEC-Forschung basieren auf der Kopplung der Bereiche natürliche Umwelt und Gesellschaft/Wirtschaft auf verschiedenen regionalen Maßstabebenen und in unterschiedlichen ökologischen wie auch sozioökonomischen/kulturellen Milieus.

Die von den Mitgliedern des NK erarbeitete Integrationsmatrix zum Thema „Wasser: Verfügbarkeit, Qualität, Allokation“ (AQUA) geht aus von einer Kombination von

- Einflußfaktoren und Kernthemen bzw. Problembereichen einerseits, die dann
- andererseits entlang ökologisch differenzierter Fallstudien in fluvialen Einzugsgebieten möglichst vergleichbarer Größe und mit Transfercharakter entlang eines N-S-Transektes von Mitteleuropa bis in das tropische Afrika (and beyond) zu bearbeiten sind.

Dabei spielt auch die Biodiversität als einer der entscheidenden Parameter eine Rolle, allerdings nicht als selbständiges Programm, sondern allenfalls als Teilkomponente des AQUA-Projektes im Verbund mit anderen Problemfeldern (Abb. 3).

# Integrationsmatrix Wasser: Verfügbarkeit, Qualität und Allokation

Einflussfaktoren auf Wasserverfügbarkeit, -qualität und -allokation	Funktionale Typen regionaler Wassereinzugsgebiete					
	I Fallstudien	II	III	IV	V	VI
Klimavariabilität und ihre Auswirkungen (physiogen + anthropogen)	in humiden Tiefländern (Vorschlag: Elbe)	im Gebirgsvorland der humiden Breiten (Vorschlag: Donau)	im wechselfeuch- subhumiden Mediterranraum (Vorschlag: Ebro)	im Gebirgsvorland humid bis arider Subtropen (Beispiel: Dru)	in den wechselfeuchten Randropen (Sudan / Sahelzone) (Beispiel: Volta)	im Tiefland, sowie im Gebirgsvorland der humiden Tropen (optional)
Biodiversität	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Struktur und Leistung von Ökosystemen	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Landnutzungsänderung	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Bevölkerungswachstum, Urbanisierung, Migration und Industrialisierung	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Lebensstile, Konsummuster, Umweltwahrnehmung	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Gesundheit	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Effizienz der Allokation von Wasser	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Regionsspezifische Einzelfragen (optional)	↔	↔	↔	↔	↔	↔
	↔ Projektbezogene Integration					
	↔ Projektübergreifende Integration					

Der abschließende Ausblick auf die Biodiversitätsforschung in europäischen Nachbarländern und in den USA läßt ebenfalls kaum explizite Schwerpunktsetzungen auf diesem Gebiet erkennen. Außer Ansätzen in der Schweiz und in den Niederlanden (Living in Diversity. Recommendations by RMNO and NRLO for the Biodiversity Stimulation Programme. RMNO 127a / NRLO 97 / 19a; Rijkswijk August 1997) sind dem Verfasser keine speziellen Hinweise auf Forschungsvorhaben im Biodiversitätsbereich bekannt geworden. Dies gilt auch für das FY 1990 des US Global Change Research Program (Washington 1998), das – bei einem Etatansatz von über 1,5 Mrd. US-\$ – keinen spezifischen Titel für Biodiversitätsforschung beinhaltet.

Abschließender Vorschlag: Entwicklung eines Schwerpunktes „Biodiversitätsforschung“ in Deutschland mit Ziel und Auflage, diesen im europäischen Kontext koordiniert und sinnvoll aufeinander abgestimmt zu internationalisieren.

## **Literatur**

LUBCHENCO, J., Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science. *Science* 279, 1998, S. 491-197

VITOUSEK, P. M., et al., Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277, 1997, S. 485-499

**K.-Eduard Linsenmair**

## **Mechanismen der Erhaltung von Biodiversität in terrestrischen Ökosystemen**

*Fokus: tropische Biodiversität*

Die umrißhafte Darstellung des Themas: „Mechanismen der Erhaltung von Biodiversität in terrestrischen Ökosystemen“ konzentrierte sich auf artenreiche tropische Systeme. Sie besitzen die höchste Biodiversität und werden derzeit weltweit am rasantesten zerstört. Durch geeignete, wissenschaftlich fundierte Gegenmaßnahmen ließe sich in ihnen noch besonders viel an Diversität retten. Da es sich um sehr alte Systeme handelt, ist zu erwarten, daß wir aus ihrem Studium außerordentlich viel darüber lernen könnten, wie nachhaltige, diversitätsreiche, sich selbst stabilisierende, den ursprünglichen Verhältnissen in Struktur und Dynamik möglichst angenäherte anthropogene Bewirtschaftungssysteme unter Nutzung lokaler Diversität gestaltet werden müßten. Wir wissen aber vorerst von diesen Systemen noch in jeder Beziehung – vom Artenbestand bis zum komplexen dynamischen Zusammenspiel der Funktionseinheiten auf der Ökosystemebene- extrem wenig. Es fehlen tragfähige, wissenschaftlich begründete Konzepte für den Schutz und für eine ökologisch verträgliche und trotzdem ökonomisch interessante Nutzung. Aufgrund von Verpflichtungen durch die CBD, aber auch aus vielschichtigem menschlichem Eigennutzen auf nationaler und supranationaler Ebene heraus ist Biodiversitätsforschung an tropischen Systemen als ein prioritäres, keinen weiteren Aufschub mehr duldendes Forschungsfeld zu betrachten. Diesem Feld müßte im Rahmen jeder wissenschaftlichen Analyse des globalen Wandels größte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

*Das deutsche Potential für tropische Biodiversitätsforschung*

Die vor allem auch im Rahmen des DFG-SPP „Mechanismen der Erhaltung tropischer Diversität“ und des ESF- Programms „Tropical Canopy Research“ in den letzten Jahren in Deutschland auf- und ausgebauten Forschungskapazitäten mit ihren vielfältigen Folge- und auch

Parallelaktivitäten (in z.B. den Bereichen Kronenforschung, Savannen- und Wüstenforschung, terrestrische tropische Inselsysteme, tropische Bergwälder und z.B. auch speziellen Problemfeldern tropischer Gemeinschaftsökologie) stellen eine hervorragende Basis für entsprechende, vor allem funktionell ökologisch ausgerichtete Arbeiten dar. Durch die enge kooperative Einbindung der bedeutenden Forschungsmuseen und großen Botanischen Gärten ließe sich dieses Potential durch das Einbringen der unbedingt notwendigen taxonomisch-systematischen-evolutiven Aspekte noch erheblich vergrößern und damit eine weitere Leistungssteigerung erreichen. Bei entsprechend guter, bisher allerdings noch nicht gegebener Förderung könnten wir auf diesem Feld eine der vorderen Positionen im Ländervergleich einnehmen und damit eine führende Rolle für die internationale Kooperation spielen.

*Die Erhaltungsmechanismen oder die Frage nach den Bedingungen der Koexistenz in Lebensgemeinschaften*

Der Aspekt der Evolution der terrestrischen Diversität wurde im Vortrag nur im ganz Grundsätzlichen gestreift. Da Arten aus vielen praktischen Gründen heraus eine besonders wichtige Rolle bei quantitativen und qualitativen Aussagen der Biodiversitätsforschung spielen, wird kurz auf die in jüngerer Zeit aktuelle Diskussion um den Artbegriff eingegangen.

Die Erhaltungsmechanismen der Vielfalt müssen sich auf der Gemeinschaftsebene bewähren: man muß zur Beantwortung des im Titel aufgeworfenen Problems die Mechanismen der Koexistenz verstehen. Unsere heutigen Vorstellungen dazu wurden in knapper Form vorgestellt.

Die „klassischen Gleichgewichtsmodelle“ sehen in der interspezifischen Konkurrenz um limitierte, lebenswichtige Ressourcen, die durch Wachstum der Populationen ins Minimum gebracht werden, den Strukturierungsmotor von Lebensgemeinschaften. Bei der Übertragung dieser – bei uns in den gemäßigten Breiten partiell bewährten – Annahmen auf die Tropen hat man bei der großen Mehrzahl funktioneller Einheiten Schiffbruch erlitten. Tropische Arten sind trotz der viel höheren Ar-



tenmannigfaltigkeit in den Gilden im Gegensatz zu früheren Annahmen im Regelfall nicht enger eingenischt als es die Spezies der gemäßigten Breiten sind.

Die „dynamischen Gleichgewichts- (oder auch Fluktuations)modelle“ gehen davon aus, daß es infolge von zu häufigen raum-zeitlich unvorhersehbaren Störungen, aber auch wegen einer zyklischen oder chaotischen Grunddynamik der Lebensgemeinschaften nie zu einem stabilen Gleichgewicht in der lokalen Artenzusammensetzung und bei den Abundanzverhältnissen der Arten untereinander kommt. Zahlreiche strukturelle Elemente und dynamische Eigenschaften der Biozöosen werden in diesen Modellen als verantwortlich dafür angesehen, daß viele Arten mit höchst ähnlichen Ansprüchen syntop und synchron miteinander leben können, selbst wenn sie sich in ihrer Konkurrenzfähigkeit stark unterscheiden. Als ein Modellbeispiel wird hier die kleinräumige Mosaikdynamik gesehen, die der natürlichen Regeneration tropischer (immergrüner, dauerfeuchter) Tieflandregenwälder in erster Linie zu Grunde liegt. (Diese dynamischen Fluktuationsmodelle werden oft auch als Nicht-Gleichgewichtsmodelle bezeichnet, was aber genau genommen nicht richtig ist.)

Die echten „Nicht-Gleichgewichtsmodelle“ gehen davon aus, daß auch in den tropischen Systemen überall – wenn auch durch Verzögerungsfaktoren erheblich gedämpft – Konkurrenz stattfindet, die letztlich in einem „random walk“ zur Elimination aller bis auf jeweils eine Spezies in den Gruppen von Arten führen sollten, die nicht durch entsprechende Einnischung Konkurrenz vermeiden.

Auch das im Rahmen der „Inselbiogeographie“ entwickelte Modell der Gemeinschaftsstruktur und -dynamik stellt ein solches Nicht-Gleichgewichtsmodell dar.

Für alle hier vorgestellten Modelle lassen sich einzelne Belege aus empirischen Untersuchungen finden. Es dürfte auch so sein, daß alle diese Modelle partiell zutreffen. Es ist aber bei unserem heutigen geringen Wissensstand nicht möglich, die jeweiligen Anteile in den Systemen zu bestimmen, die eher dem einen oder einem anderen Modell entspre-

chen. In jedem Fall ist damit zu rechnen, daß diese relativen Verhältnisse von System zu System sehr unterschiedlich sein dürften.

### *Forschungsdefizite*

Die Tatsache, daß uns hier basalste Kenntnisse fehlen, dieser Mangel uns aber in keiner Weise abhält, diese Systeme völlig inadäquat zu nutzen – und auch dort, wo wir sie schützen, dies ohne wissenschaftlich gut fundierte Konzepte zu tun, wird uns noch größte Probleme bereiten. Hier müßte nun schnellstmöglich Biodiversitätsforschung in breiter Front, intensiv und langfristig gefördert, ansetzen können, um rasch die allernotwendigsten Grundkenntnisse zu erwerben, die wir für jede nachhaltige Nutzung und jeden effektiven Schutz brauchen. Wir haben bereits extrem viel Zeit verloren und in dieser Zeit auch schon viel an Biodiversität gedankenlos und unwiederbringlich geopfert, ohne daß wir diesen Verlust (geschweige seine potentiellen Folgen) auch nur einigermaßen gesichert abschätzen könnten.

Zwei speziell zu beachtende Eigenheiten der artenreichen tropischen Lebensgemeinschaften, wie wir sie – konvergent entstanden – in allen immergrünen, dauerfeuchten Tieflandwäldern unserer Erde finden, bei denen unsere Kenntnislücken noch ganz besonders groß sind, wurden im Vortrag kurz besprochen: Zum einen die enge Tier-Pflanzenverflechtung, die viele, z.B. bei forstwirtschaftlichen Maßnahmen häufig völlig übersehene Besonderheiten mit sich bringt, die man nicht ungestraft ignorieren kann. Zum zweiten das ganz besonders große, noch weitestgehend unverstandene Problem der seltenen Arten, die in den tropischen Lebensgemeinschaften immer eine Mehrheit stellen. Sie müssen –vermutlich in vielen Fällen auf der Basis von Besonderheiten ihrer Lebensstrategien- über Eigenschaften verfügen, die sie gegen Aussterben sehr resistent machen. Aus Gründen, die mit der Art unserer Forschungsförderung zusammenhängen, klaffen gerade bei letztgenannten Problemkreis gravierendste Lücken in unseren Kenntnissen. Eine effektive Biodiversitätsforschung muß versuchen, sie zu schließen, auch wenn dabei noch so viele praktische Probleme auftreten.

**Wilhelm Barthlott**

## **Räumliche Muster der Biodiversität**

### *Ausgangslage*

Der Mensch ist u.a. im Hinblick auf Ernährung und medizinische Versorgung von der Biodiversität, insbesondere von der Vielfalt der Pflanzen, abhängig. Diese Vielfalt wird zunehmend durch einen anthropogen bedingten, sich beschleunigenden globalen Wandel bedroht. Um die Versorgung der Menschheit und die Stabilität von Ökosystemen auch in Zukunft sicherstellen zu können, ist eine verstärkte Untersuchung dieser Vielfalt und ihres Wandels erforderlich.

Bislang ist die globale Biodiversität jedoch weitgehend unerforscht, der größte Teil der schätzungsweise 20 Millionen Arten von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen ist sogar noch völlig unbekannt. Da die direkte Erforschung dieser gesamten globalen Vielfalt in absehbarer Zeit aus technischen Gründen nicht geleistet werden kann, wird nur die Erforschung von Indikatorgruppen zu verlässlichen Ergebnissen führen. Auch wenn die Gefäßpflanzen in bezug auf ihren Artenreichtum eine relativ unbedeutende Rolle spielen – sie repräsentieren nur etwa 2 % der auf etwa 15 Millionen Spezies geschätzten Artenvielfalt – sind sie als Indikatorgruppe besonders gut geeignet:

- Unser Kenntnisstand ist in dieser Gruppe extrem hoch (270.000 von schätzungsweise 320.000 Arten sind bereits beschrieben), vor allem im Vergleich mit der artenreichsten Organismengruppe, den Arthropoden (nur etwa 6% der Spezies bekannt). Ebenso gut ist vergleichsweise unsere Kenntnis von der geographischen Verbreitung der Landpflanzen (weltweit schätzungsweise 5000 relevante Inventare wie Floren, Checklisten, Datenbanken).
- Als wichtigste Produzenten der terrestrischen Ökosysteme sind sie die Basis für deren gesamte Biodiversität.
- Als Nahrungspflanzen bilden sie die Grundlage der menschlichen Existenz und finden darüberhinaus – u.a. wegen der unglaublichen Vielfalt ihrer sekundären Inhaltsstoffe – umfangreiche Verwendung.

## *Forschungsansätze zur Erfassung räumlicher Muster der Biodiversität*

Trotz der guten Datenlage bezüglich Systematik und Verbreitung der Gefäßpflanzen fehlen immer noch synoptische Darstellungen und zusammenfassende Studien wie auch Meta-Datenbanken, die diese Informationen sinnvoll in großem Maßstab nutzbar machen.

Hierzu gibt es in neuerer Zeit verschiedene Ansätze (z.B. IOPI-Species 2000, IUCN, WWF), die aber noch alle weitgehend in den Anfängen stecken. Bisher beschäftigen sich weltweit nur wenige Arbeitsgruppen damit, die räumliche Verteilung von Diversität nicht nur in Datenbanken zu erfassen, sondern sie auch kartographisch darzustellen und in Geographischen Informationssystemen mit Daten zu abiotischen Faktoren oder auch menschlichem Einfluß oder Nutzung zu überlagern, um so Korrelationen und kausale Zusammenhänge zwischen diesen zu finden. Den derzeit umfassendsten Überblick über Arbeiten auf dem Gebiet der Biodiversitätskartierung gibt Gaston (1998).

Prinzipiell gibt es zwei Herangehensweisen für eine flächendeckende räumliche Erfassung von Biodiversität. Meist werden Verbreitungsdaten einzelner Taxa gesammelt und zusammenfassend ausgewertet. Dieser taxonbezogene Ansatz, der bereits lange in der klassischen Biogeographie angewendet wird und sich z.B. auch in den Rasterkartierungsansätzen der floristischen Kartierungen in Europa wiederfindet, bietet sicherlich die größten Auswertungsmöglichkeiten. In dem Maße, wie die entsprechenden Informationen aus Herbarien, Museen, taxonomischen Arbeiten in Zukunft digital erfaßt und verfügbar gemacht werden, sind hier zahlreiche Ergebnisse zu erwarten. Allerdings ist sowohl die Erhebung als auch die Aufbereitung und Verwaltung der Daten recht zeit- und arbeitsaufwendig.

Für erste Überblicksstudien bietet sich daher ein zweiter Ansatz an, der nicht von jedem einzelnen Taxon, sondern von summarischen Daten zu Gebietseinheiten ausgeht. Schon lange bevor die genaue systematische Zuordnung aller vorhandenen Taxa feststeht, lassen sich meist schon die wichtigsten Größen zur Biodiversität eines Raumes abschätzen. Um

Gesamtdiversitätskarten von Großgruppen zu erstellen wird dieser Ansatz wohl auch auf absehbare Zukunft die einzige Möglichkeit bleiben. Aufgrund umfangreicher Datenauswertungen (ca. 1400 Inventare) wurde eine Weltkarte der potentiellen terrestrischen Phytodiversität vorgestellt, die erstmals eine genaue Analyse der Verteilung und Umgrenzung globaler Diversitätszentren erlaubt (Barthlott et al. 1996, 1998). Im Rahmen der darauf aufbauenden Arbeiten werden zunehmend auch qualitative Aspekte wie Endemismus oder taxonomische Diversität mit in die Auswertungen einbezogen. Die zugrundeliegende Datenbank, die derzeit ca. 2000 Datensätze zu ca. 1300 Gebieten weltweit umfaßt (für Afrika derzeit 463 Datensätze zu 320 Gebieten), könnte Teil des Grundstockes eines aufzubauenden nationalen Biodiversitätsinformationssystems sein. Sie wurde inzwischen um taxonbezogene Daten erweitert (mehrere hunderttausend Datensätze) und auf die Moose als zusätzliche Gruppe ausgedehnt. Diese oder vergleichbare Datenbanken ließen sich auch mit den bisher schon zur Verfügung stehenden Daten noch erheblich erweitern und könnten so als Informationsquelle dienen, um feiner aufgelöste Detailstudien, wie sie z.B. im Rahmen des vorgeschlagenen Afrikatransektes durchgeführt werden sollen, in einen Gesamtzusammenhang auf kontinentaler wie auch globaler Ebene einzuordnen. Diese Verknüpfung von Forschungsansätzen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen würde auch eingehendere Analysen der oft übersehenen Problematik der Skalenabhängigkeit von Diversität erlauben.

Neben diesen Ansätzen für flächendeckende räumliche Analysen der Biodiversität bietet sich v.a. der gerade angesprochene Transektansatz an, um Veränderungen der Diversität entlang von unterschiedlichsten Gradienten zu untersuchen. Beide Ansätze, sowohl der Transektansatz, wie auch die flächendeckende Kartierung, bieten dabei die Möglichkeit, die gewonnenen Daten mit Informationen zu abiotischen Umweltparametern oder aber auch raumbezogenen sozioökonomischen Daten zu überlagern. Aus der Verschneidung dieser unterschiedlichen Informationen sollten sich wichtige Erkenntnisse für den Schutz wie auch die nachhaltige Nutzung von Biodiversität ableiten lassen.

### *Kartierung anderer Qualitätsmerkmale von Biodiversität*

Neben dem Artenreichtum gibt es zahlreiche andere Qualitätsaspekte, die die Biodiversität eines Gebiets charakterisieren. Hierzu gehört neben der phylogenetischen Diversität u.a. auch der Endemismusgrad, den man zusammen mit dem Artenreichtum in einem kombinierten Index zusammenfassen kann (Usher 1986). Errechnet man diesen Index für die Regionen Afrikas, so ergibt sich ein deutlich anderes Bild als bei der Betrachtung des reinen Artenreichtums: die Werte der mediterranen Gebiete Südafrikas (Capensis) liegen z.B. um den Faktor 15 über denen des äquatorialen Regenwalds Afrikas.

### *Räumliche Muster der Biodiversität im Wandel*

Auch wenn bisher vor allem Stichworte zur Veränderung des Klimas und der biogeochemischen Kreisläufe wie das Ozonloch oder der Treibhauseffekt die öffentliche Diskussion über den *Global Change* bestimmen, läßt sich doch feststellen, daß der globale Umweltwandel im biologischen Bereich bereits sehr viel dramatischer in das Leben der Menschheit eingegriffen hat. Der Verlust von Nahrungsressourcen und ökosystemarer Stabilität hat z. B. in Afrika schon zu unzähligen direkten und indirekten Opfern geführt. Zwar erhöht menschlicher Einfluß häufig zunächst mit der Schaffung neuer Lebensräume und der dadurch geförderten Einwanderung fremder Arten auf regionalem Maßstab die Biodiversität. Der globale Artenreichtum wird hierdurch jedoch nicht erhöht, vielmehr werden oftmals heimische, kleinräumig verbreitete Arten verdrängt, wodurch es weltweit zum Verlust von Arten kommt. So gehen z.B. 39 % der seit dem Jahr 1600 registrierten Austerbeereignisse von Tieren, deren Ursachen bekannt sind, auf den Einfluß vom Menschen eingeschleppter Exoten zurück (WCMC 1992). Dieser „Biologischen Globalisierung“ wird bisher noch nicht genügend Beachtung geschenkt. Aber auch der direkte Einfluß durch Habitatzerstörung spielt eine entscheidende Rolle (36 % der ausgestorbenen Tierarten seit 1600, WCMC 1992).

Ein Teil der Biodiversität eines Raumes sind auch kultivierte Pflanzen: die Dimension dieser ex-situ-Diversität wird üblicherweise vollkom-

men unterschätzt. Eine globale Analyse der Inventare Botanischer Gärten zeigt, daß 85% aller Pflanzenfamilien mit etwa 90 000 Arten in den Sammlungen der großen Industrienationen vorhanden sind. Die pflanzliche Artenvielfalt der Erde befindet sich somit zu rund einem Drittel in der Obhut v.a. europäischer und US-amerikanischer Gärten; die Bundesrepublik Deutschland hat mit über 100 Sammlungen dabei vermutlich den höchsten Anteil. Es ergeben sich somit praktisch gegenläufige Diversitätsmuster bei der natürlichen in-situ-Diversität und der künstlichen ex-situ-Diversität: Während sich praktisch alle globalen Diversitätszentren (in-situ) in tropischen oder subtropischen Bereichen finden, werden die Schätze der ex-situ-Diversität fast ausschließlich in den reichen Industrienationen des Nordens gehütet. Auch die wichtigsten Forschungszentren sind hier zu finden.

### *Das Forschungspotential in Deutschland*

Die Analyse der sich wandelnden Verteilungsmuster terrestrischer Diversität in einem raumbezogenen Forschungsansatz auf unterschiedlicher Skalenebene und unter Einbeziehung qualitativer und kausaler Aspekte ist von grundlegender Bedeutung. Mit ihrem hohen nationalen Forschungspotential (Institute, Sammlungen, Arbeitsgruppen z.B. in Berlin, Bonn, Frankfurt, Göttingen, Halle, Hamburg, Köln, Leipzig, Ulm) könnte Deutschland in konkret abschätzbaren Zeiträumen einen international bedeutenden Beitrag von hoher wissenschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer (Umsetzung der CBD) Relevanz liefern.

Voraussetzungen wären eine entsprechende Beteiligung und Koordination der vorhandenen Potentiale, eine stärkere Einbindung in die bestehenden internationalen Programme und die Bereitstellung der notwendigen finanziellen Ressourcen. Neben gemeinsamen geographischen Schwerpunkten, in denen koordiniert interdisziplinäre Studien durchgeführt werden können (vgl. Beitrag N. Jürgens), wird in Zukunft vor allem auch die Erschließung und effektive Vernetzung der unterschiedlichen bestehenden und noch aufzubauenden Daten- und Informationsquellen von Bedeutung sein, um einen entscheidenden Beitrag zu den entstehenden internationalen Biodiversitätsforschungsprojekten zu leisten.

## Literatur

- Barthlott, W., Lauer, W., Placke, A. (1996): Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phyto-diversity. *Erdkunde* 50/4: 317-327
- Barthlott, W., Biedinger, N., Braun, G., Feig, F., Kier, G., Mutke, J. (1998): Terminological and methodological aspects of the mapping and analysis of global biodiversity. In: Proceedings of the VIII Meeting of the Committee for Mapping the Flora of Europe, August 8-10, 1997. *Acta Botanica Fennica* 16 (im Druck)
- Gaston, K. J. (1998) Biodiversity – the road to an atlas. *Progress in Physical Geography* 22 (2): 269-281
- Usher, M. B. (1986) (Hrsg.): *Wildlife conservation evaluation*. Chapman & Hall, London
- World Conservation Monitoring Centre (WCMC) (1992): *Global Biodiversity. Status of the earth's living resources*. Chapman & Hall, London



**Klaus Peter Sauer**

## **Mechanismen der Entstehung und Erhaltung von Biodiversität**

Der dramatische Artenverlust, den der Mensch durch seine Umwelt-nutzung hervorruft, ist mit keinem bisherigen Massenaussterben von Arten vergleichbar. Seit dieses Problem in seiner ganzen Tragweite auch im politischen Raum erkannt worden ist, gibt es nationale und internationale Bemühungen, den Verlust an Biodiversität zu minimieren. Solche Bemühungen setzen voraus, daß man die mittelbar und unmittelbar wirksamen Mechanismen und Prozesse kennt, die bei der Entstehung und Regulation von Biodiversität wirksam sind.

Unter Biodiversität ist nicht einfach die Zahl von Arten zu verstehen. Biodiversität bezeichnet ein biologisches Konzept und hat im Netzwerk der verschiedenen biologischen Konzepte eine hierarchisch übergeordnete Funktion. Biodiversität ist das Ergebnis eines langen historischen Prozesses und damit ohne jeden Zweifel unsere wichtigste globale Ressource und unmittelbar mit unserer eigenen Existenz verknüpft. Biodiversität umfaßt alle Ebenen der natürlichen Vielfalt von der molekularen und genetischen Ebene bis zum Populations- und Artniveau. Jenseits des Artniveaus tritt uns die Biodiversität in Mustern unterschiedlich komplexer Lebensgemeinschaften entgegen.

Derzeit existiert jedoch eine Lücke zwischen der beobachtbaren Realität von komplexen Mustern der Biodiversität und einer sie erklärenden Theorie, die auch Auskunft über die Natur der wirksamen Selektion gibt.

Das macht die Erforschung der Entstehung, Erhaltung und Regulation der Biodiversität und der ihren Mustern zugrundeliegenden kausalen Mechanismen und Prozesse schwierig. Grundsätzlich kann man sich der kausalen Erklärung der Muster der Biodiversität auf zwei Wegen nähern, auf dem ökologisch-funktionellen oder dem evolutiv-phylogenetischen. Auf beiden Wegen ist jedoch unerlässlich zu versuchen die Biodiversität in Komponenten von konsistenten und durch Wiederhol-

barkeit ausgezeichnete Muster zu zerlegen. Diese Zerlegung der Biodiversität in handhabbare Komponenten ist zwingend, um Hypothesen zur Entstehung, Erhaltung und Regulation von Biodiversität zu bilden und zu testen. Beide Wege sind nicht unabhängig voneinander, werden jedoch traditionell unabhängig voneinander beschritten. Das Ziel beider Wege ist die Aufklärung der den Biodiversitätsmustern zugrundeliegenden funktionell-ökologischen und evolutiv-phylogenetischen Mechanismen und Prozesse. Hier wollen wir uns auf den evolutiv-phylogenetischen Weg der Erklärung von Biodiversitätsmustern konzentrieren. Dieser Forschungsansatz erzwingt eine Synthese aus historischer und kausaler Evolutionsforschung.

Da die Stammesgeschichte und damit auch die transspezifische Evolution als historischer Prozess exakter Induktion nicht zugänglich ist, bedient sich die historische Evolutionsforschung der Methode des Vergleichs. Die kausale Evolutionsforschung, die Evolutions- und Populationsgenetik, erzielt ihre Aussagen auf der Grundlage des Experiments. Der sowohl an Ursachen und Mechanismen der Evolution als auch an der Entstehung von Biodiversität interessierte Evolutionsforscher fragt nach den Ursachen, die den phylogenetischen Mustern zugrundeliegen, die in der Geschichte der Biodiversität entstanden sind: *Warum wechseln sich in der Evolution der Organismen Phasen sehr schneller Entwicklung mit solchen scheinbarer Stasis ab? Warum haben manche Taxa eine adaptive Radiation, eine Artenvervielfältigung, durchlaufen und stehen artenarmen Schwestergruppen gegenüber?* Diese Frage vermag der Evolutionsgenetiker nicht zu beantworten, da seine Theorie typischerweise die folgende Form hat: „Wenn der Genotyp A die Fitness  $w$  hat, dann wird sich die Population in eine unbestimmte Richtung entwickeln“. Hier existiert eine Lücke zwischen der beobachtbaren Realität und der sie erklärenden Theorie. Um diese Lücke zwischen der Beobachtung phylogenetischer Muster der Biodiversität und dem Mangel einer sie erklärenden Theorie zu schließen, ist ein Zugang notwendig, der Auskunft über die Natur der wirksamen Selektion gibt. Dieser Zugang muß aber unabdingbar den ökologisch-adaptionsistischen Aspekt der Artbildung berücksichtigen. Durch fortwährende Spe-

ziation, also durch Bildung neuer ökologischer Bezüge, die wir ökologische Nischen nennen, „finden“ neu entstehende Arten gewissermaßen neue „ökologische Zonen“ und werden so zu Stammarten erneuter adaptiver Radiationen.

Um diesen Prozess und die ihm zugrundeliegenden Selektionsmechanismen auch experimentell analysieren zu können, bietet sich die Untersuchung solcher Artengruppen an, die sich z. Z. in einem aktuellen Artenvervielfältigungsprozess befinden. Durch die Umweltnutzung des Menschen ist gerade die Biodiversität solcher Artengruppen besonders gefährdet. *Die Knochenfische, vor allem zahlreiche Gruppen aus dem Süßwasser, durchlaufen gerade einen Artenvervielfältigungsprozess und bieten sich daher für solche Untersuchungen zur Entstehung und Erhaltung von Biodiversität an.* In der Analyse der Biodiversität von Süßwasserfischgruppen lassen sich politische Ziele mit wissenschaftlichen zwingend verbinden. Die Erhaltung der immer knapper werdenden Ressource „Trinkwasser“ ist mit der Erhaltung der Süßwasserfische engstens verknüpft.

Auf der Suche nach den Mechanismen (= der wirksamen *Selektion*), welche die ökologische Differenzierung artenreicher Gruppen verursacht haben, gilt es zu prüfen, ob in der Möglichkeit der Einschränkung des Zufalls bei der Zusammenführung von weiblichen und männlichen Gameten die Potenz zu beschleunigter Evolution, also zu schnellerer und feiner abgestimmter ökologischer Differenzierung begründet ist, d. h. wenn Mechanismen der *sexuellen Selektion* wirksam sind. Notwendige bzw. hinreichende Voraussetzungen für die Wirkung von *sexueller Selektion* sind quasi innere Besamung bzw. wirkliche innere Besamung. Durch komplizierte Partnerfindungsmechanismen und Balzrituale wird äußere zur quasi inneren Besamung. Innere Besamung wird durch eine Kopulation erreicht. Diese evolutiven Schritte zur inneren Fertilisation sind innerhalb der Zahnkarpfen alle realisiert.

Die *Altwelt-Aplocheiloiden*, eine der artenreichsten Gruppen der Zahnkarpfen, haben in Afrika ihr Diversitätszentrum. Alle Arten dieser Gruppe sind durch einen stark ausgeprägten Sexual-Dimorphismus

ausgezeichnet. Die Männchen dieser Arten sind auffällig ornamentiert. Diese Tatsache ist ein starker Hinweis auf die Wirksamkeit sexueller Selektion. Aus diesem Grund bietet diese Fischgruppe die besten Voraussetzungen, um die Mechanismen der Entstehung und Erhaltung von Biodiversität zu studieren. Darüber hinaus sind die Arten dieser Gruppe in auffälliger Weise ökologisch differenziert, was eine gute Voraussetzung für Freilanduntersuchungen bietet. Die Züchtbarkeit dieser Arten ist wiederum eine weitere hervorragende Voraussetzung für das experimentelle Arbeiten.

Die Untersuchung dieser Fischgruppe ist aus einem weiteren Grund bestens geeignet, zum Verständnis der Entstehung und Erhaltung von Biodiversität und der ihr zugrundeliegenden Mechanismen und Prozesse beizutragen. Die nächstverwandte Fischgruppe, die *Neuwelt-Aplocheiloiden*, haben in Amerika völlig unabhängig die gleiche ökologische Differenzierung durchlaufen. Damit existieren zwei nahezu identische, jedoch unabhängige Diversitätsmuster. Ein Vergleich der Analyse beider Muster birgt die Möglichkeit, allgemeine Mechanismen der Entstehung und Erhaltung von Biodiversität zu erkennen.

**Manfred Küppers**

## **Globaler Wandel der Biodiversität und ökophysiologische Forschung: Chancen und Grenzen**

Im Laufe der Erdgeschichte ereigneten sich mehrfache „globale Wandel“, beispielsweise bezüglich der Temperatur oberflächennaher Schichten, bezüglich der Zusammensetzung der Erdatmosphäre aufgrund der evolutiven Entwicklung des Photosyntheseapparates oder durch katastrophale Ereignisse, wie den vermuteten Asteroiden-Einschlägen. Hiermit verbunden war das Aussterben einer immensen Zahl von Individuen und Arten. Trotzdem nahm nach solchen Ereignissen die Biodiversität, wie wir heute wissen, verstärkt wieder zu. Es ließe sich demnach der bequeme Standpunkt vertreten, die Natur habe es ja mehrfach bewiesen, und sie wird es auch jetzt wieder richten, wenn durch menschliche Eingriffe die bestehende Biodiversität vollkommen verändert wird, sei es durch Eingriffe direkter (z.B. (Brand-) Rodungen) oder indirekter Natur (z.B. anthropogene Klimaveränderungen). Zu befürchten ist aber, daß sich die Menschheit zuvor selbst ihre Existenzgrundlagen zerstört oder zumindest stark eingeschränkt hat. Wir haben folglich nicht Zeit zu warten, bis sich tropische Regenwälder regenerieren oder durch andere, artenärmere Wälder und Kultursteppe ersetzt worden sind. Vorhandenes Wissen über bestehende Biodiversität, deren Veränderungsraten, den Ursachen der Veränderungen und die möglichen Folgen muß dringend vermehrt und, soweit derzeit überhaupt möglich, in ausgewogenes, politisches Handeln umgesetzt werden.

Unzweifelhaft wird durch anthropogene Belastungen die globale Biodiversität „krank“. Es müssen daher – dies ist durchaus vergleichbar mit der Medizin – für die Ergreifung aussichtsreicher Gegenmaßnahmen erhaltende, stabilisierende und „heilende“ Mechanismen bekannt sein, soll nicht nur an den Symptomen kuriert werden. Damit werden die Fachrichtungen **Populationsbiologie** (zu Unrecht im deutschsprachigen Raum oft geschmäht) und **Ökophysiologie** fundamental relevant, denn nur sie können Auskünfte über die Dynamik der artspezifischen Lebenszyklen, die Einnischungserfolge und über das Regenerationspotential von Beständen geben. Hier liegen aber auch die großen Probleme: Der Großteil der Gefäßpflanzen, die die terrestrische Phyto-

masse ausmachen, ist zwar bekannt, aber ihre Lebenszyklen, artspezifischen Toleranzbereiche und Konkurrenzbeziehungen liegen nach wie vor im Dunkeln. Wenn auch die (globale) Biodiversität inzwischen als „Patient“ registriert ist, weiß niemand, wie sie gesund funktioniert hat, geschweige denn, wie sie wieder zu gesunden oder zumindest stabil zu halten ist. Die hierzu erforderlichen Arbeiten sind sehr arbeitsintensiv und leider auch sehr langwierig. Demnach muß man sich kurz- und wohl auch mittelfristig auf das Kartieren „gesunder“ und „kranker“ Regionen beschränken. Die Antwort hierauf kann nur lauten: Mehr an diesen Grundlagen forschen; nur so lassen sich die Defizite auffangen! Erst anschließend können präzisere, umfassende Kenntnisgebäude entwickelt werden. Auch dies ist vergleichbar mit der geschichtlichen Entwicklung in der Medizin: **Jahrhunderte immerwährender Forschung** haben erst allmählich das Grundwissen über den gesunden menschlichen Organismus geliefert. Dennoch stehen wir vielen Krankheiten, deren Prinzipien bereits verstanden sind, immer noch hilflos gegenüber. (Tropische) Waldökosysteme sind jedoch wesentlich komplexer als der Organismus „Mensch“, so daß ein Vielfaches an ihnen geforscht werden müßte, um nur annähernd einen vergleichbaren Wissensstand herzustellen, insbesondere wenn der Patient „Biodiversität“ heißt. Das Gegenteil ist aber der Fall. Ihre Erforschung liegt oft in den Händen weniger, unzureichend finanzierter Idealisten. Dies setzt dem sachlichen, wissenschaftlichen Fortschritt klare, äußere Grenzen.

Zunächst heißt es, die enormen Skalenunterschiede zwischen den Forschungsrichtungen zu überwinden, wobei integrative Meß- und Modellieransätze eine Hilfe sein können: Während sich die Ökophysiologie primär mit einzelnen Arten von der Molekül- bis zur Individuenebene, d.h. im Bereich von Mikro-Sekunden bis zur Dauer von Lebenszyklen bzw. von Pico-Metern bis Metern befaßt, hat die Biodiversitätsforschung Artenkonstellationen und Lebensgemeinschaften in den Zeiträumen von Generationen oder Evolutionsreihen zum Gegenstand, dies jedoch kleinräumig (z.B. Mikroorganismen) bis global. Aus diesen Skalenunterschieden ergeben sich für beide Forschungsrichtungen diametrale Dilemmata. Ökophysiologische Forschung ist lokal präzise, mechanistisch, analytisch und deshalb auch meßintensiv, aber ihre Ergebnisse lassen sich nicht selbstverständlich verallgemeinern; wenn

doch, können sie oft nur mittelbar Anwendung finden. Trotzdem trägt diese Forschungsrichtung Entscheidendes zu einer „Global Change“-Forschung bei, denken wir nur an die globalen Stoffkreisläufe. Sobald aber die Frage nach den Mechanismen gestellt wird, die zur Biodiversität führen, wird man langfristig auf gar keinen Fall auf ökophysiologische und populationsbiologische Forschung, auch wenn sie mühsam und langwierig ist, verzichten können. Biodiversitätsforschung will primär integrieren und möglichst global anwendbar sein. Ihr großer Vorteil ist, daß sie vergleichsweise eher meßextensiv ist und auf ein schon beachtliches, wenn auch immer noch sehr lückenhaftes, bekanntes Artenarsenal zurückgreifen kann; ihr Nachteil ist, daß sie nicht analytisch arbeitet und daher selbst keine Mechanismen über das Zustandekommen von Biodiversität(sgradienten) liefern kann und von daher auf die Unterstützung anderer Forschungsdisziplinen angewiesen ist.

Der Lebenszyklus von nur einer einzigen Art mit seinen Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen verschiedenen Entwicklungsstadien bedeutet für sich eine erhebliche Komplexität zusätzlich zur Speziesbezogenen Biodiversität. Eine Erforschung dieser übergeordneten Komplexität steht vollkommen am Anfang, und ihr wird wegen der hohen Artenzahlen nur dann Erfolg beschieden sein, wenn sie pragmatisch vorgeht, dabei einen Teilverlust an Präzision in Kauf nehmend: Statt die Fülle von Arten oder Lebensstadien einzeln zu verfolgen, sollten solche mit ähnlichen oder identischen Merkmalen, die der Betrachter selbst definieren kann, zu „Functional Groups“, „Stellvertreter-Arten“ oder auch Artengruppen zusammengefaßt werden. Dies könnten beispielsweise „Physio-Typen“, „Morpho-Typen“, „Investment-Typen“ oder „Lebenszyklus-Typen“ sein, deren Verhaltensweisen im günstigen Falle Indikatoreigenschaften (z.B. für lokales Klima, spezifische Konkurrenzsituationen, Nährstoff-Angebote o. ä.) besitzen, die ökophysiologisch zu untermauern sind.

Verjüngung und Regeneration von Wäldern erfolgen über sukzessionale Prozesse, während derer sich sowohl die abiotischen Umweltfaktoren als auch die Artenkombinationen kontinuierlich verschieben. Obwohl keine Sukzession exakt nach einem festen Plan abläuft, lassen sich dennoch gewisse Gesetzmäßigkeiten erkennen, anhand derer Sukzessions-“Typen“ unterschieden werden können. Einzelne Sukzessi-

onsstadien werden durch bestimmte Artengruppen dominiert, die ähnlichen „Functional Group“-Typen angehören (z.B. „Morpho“- und „Physio-Typen“) und als Artengruppen auf höherer Ebene „Gilden“ bilden. Manches, aber bei Weitem noch viel zu wenig, ist über die Ökophysiologie oder Populationsbiologie der Arten aus diesen „Functional Groups“ (z.B. Pioniere, „Klimax“-arten) bekannt. Wir müssen vermuten, daß es zwischen ihnen in wichtigen – aber oft vollkommen unbekannt – Details entscheidende Übereinstimmungen (z.B. gleiche Ausbreitungsstrategien, ähnlicher Verbißschutz, Resistenz gegen Schadfaktoren, Austrocknungsresistenz etc.) gibt, die ihr gemeinsames Aufkommen als nicht zufällig erklären. Solche Merkmale zu erkennen und zu katalogisieren, insbesondere für den tropischen Bereich, könnte einen erheblichen Beitrag für die Beurteilung des Regenerationsvermögens von Beständen liefern und Modellierungen für Vegetationsveränderungen bei globalem Klimawandel zulassen. Es fehlen hier vielfach die harten Basisdaten, die aber in Pilotprojekten in Kooperation mehrerer Arbeitsgruppen erarbeitet werden können.

Das Know-how hierzu ist in Deutschland ausreichend vorhanden, es kann jedoch derzeit wegen fehlender Mittel nicht zielgerecht eingesetzt werden: Junge und dennoch erfahrene, engagierte, hocheffiziente (weil preiswerte) Wissenschaftler müssen sich nach ausgezeichnetem Abschluß ihrer Ausbildung in vollkommen anderen Arbeitsfeldern ihren Lebensunterhalt sichern, eine Potential- und Ausbildungskostenvergeudung großen Ausmaßes. Trotz der immensen Erfordernisse an ökophysiologischen und populationsbiologischen Kenntnissen in der mechanistischen Diversitätsforschung liegen hierin gute Chancen des Erfolges; die Grenzen kommen von Außen. Es ist aber wie in der Medizin: Weil man vorher nicht weiß, welche Krankheiten wann auftreten, ist die Kenntnis der Details über den menschlichen Körper im gesunden wie im kranken Zustand (z.B. DNA-Defekte und ineffiziente Enzyme) genauso unverzichtbar wie der integrative Überblick über das funktionale, kommunikative Zusammenwirken der höheren Einheiten (z.B. der Organe). Nur konnten (aus verständlichen Gründen) weit mehr Forscher sich der Medizin widmen als der bei weitem komplexeren und viel schwieriger zugänglichen Biodiversität.



**Karl-Otto Rothhaupt**

## **Mechanismen der Erhaltung von Biodiversität in limnischen Systemen**

In der (limnischen) Ökologie werden verschiedene Faktoren mit der Diversität (hier: Artendiversität) von Lebensgemeinschaften in Verbindung gebracht. Die folgende Aufzählung nennt einige dieser Faktoren, umreißt kurz den bestehenden Forschungsbedarf in der Grundlagenforschung und versucht, ihre Relevanz im Zusammenhang mit anthropogenen Einflüssen zu benennen.

### *Trophie, Produktivität*

Die Artendiversität zeigt oft eine eingipflige Verteilung mit höchsten Werten bei mäßiger Produktivität. Es besteht Forschungsbedarf bezüglich der ökophysiologischen Ursachen; z.B. Muster in der Ressourcennutzung beteiligter Organismen. Der Mensch nimmt Einfluß auf diesen Faktor, indem er Gewässern Nährstoffe zuführt (anthropogene Eutrophierung) und damit in der Regel die Diversität von Lebensgemeinschaften nachteilig beeinflusst.

### *Externe Störungen (intermediate disturbance hypothesis)*

Konstante äußere Bedingungen führen zur Dominanz weniger konkurrenzstarker Arten („K-Spezialisten“). Externe Störungen, wie sie z.B. durch wetterbedingte Umschichtungen der Wassersäule in Seen verursacht werden, unterbrechen die Sukzession zum Gleichgewicht und geben „Pionierarten“ eine vorübergehende Chance. Höchste Artendiversitäten finden sich bei mittleren Störungsintensitäten und -frequenzen. Unklar ist derzeit die Anwendbarkeit dieses Konzeptes auf verschiedene limnische Systeme (z.B. Benthos, Plankton) und welches die relevanten räumliche und zeitliche Skalen sind. Veränderte Wettermuster (global change) und damit veränderte hydrodynamische Bedingungen (z.B. Häufigkeit von wetterbedingten Mischungsereignissen in Seen, Hochwasserereignissen in Bächen) können sich auf die Diversität limnischer Lebensgemeinschaften auswirken.

### *Arten-Areal-Beziehung*

Eine wichtige Aussage der Insel-Biogeographie ist, daß die Artenzahl einer Lebensgemeinschaft mit der Fläche des Habitats zunimmt und mit zunehmender Isolation abnimmt. Seen und Teiche sind ideale Testobjekte für diese Hypothese der Insel-Biogeographie. Es ist noch nicht hinreichend geklärt, ob die Diversität von der Fläche per se oder der oft damit verbundenen strukturellen Vielfalt abhängt. Beachtung verdient auch die Rolle der Verbundenheit von Lebensräumen. Diversitätsgefährdend wirken sich der Verlust an struktureller Vielfalt durch Gewässerverbauung und die Trennung von Habitaten (z.B. durch Wehre) aus.

### *Rolle einzelner Arten in Lebensgemeinschaften*

Die Diversität in Lebensgemeinschaften wird zuweilen von einer (oder wenigen) Arten bestimmt (sogenannte Schlüsselarten). Die ökologische Rolle solcher Schlüsselarten (z.B. vielseitiger Räuber, Strukturbildner, oft einziger Vertreter einer funktionellen Gruppe) verdient Beachtung. Durch menschliche Einflüsse kann die Gefahr der Extinktion wichtiger diversitätsbestimmender Arten drohen. Umgekehrt kann die Einführung neuer, exotischer Arten verheerende Folgen haben. So hat der im Victoriasee eingeführte Nilbarsch den größten Teil der endemischen Cichliden ausgerottet.

### *Biodiversität und Ökosystemfunktionen*

Der postulierte Zusammenhang zwischen Diversität und Stabilität im Sinne von Artenkonstanz hat sich weder theoretisch noch empirisch halten lassen. Allerdings haben neuere Arbeiten (an terrestrischen Systemen) gezeigt, daß sich Diversität stabilisierend auf Ökosystemfunktionen wie z.B. Konstanz der Biomasse oder Resistenz gegen äußeren Stress (z.B. Trockenheit) auswirken kann. Es ist noch nicht klar ob dieser Effekt in ähnlicher Weise auch in aquatischen Systemen auftritt und ob er auf ökologischen Wirkmechanismen beruht (Konkurrenten können frei werdende Räume nutzen). Es könnte sein, daß ihm ein „statistischer Mittelungseffekt“ zugrunde liegt, ähnlich wie eine gemischte Kapitalanlage im Durchschnitt stabiler ist als eine einseitige („Portfolio-Effekt“).

## *Tropische Gewässer, limnische Biodiversität in Afrika*

Die genannten Aspekte der Diversität in limnischen Lebensgemeinschaften und Ökosystemen lassen sich prinzipiell (auch) in Mitteleuropa bearbeiten. Der geplante geografische Schwerpunkt der Biodiversitätsforschung in Deutschland soll in Afrika liegen. Deshalb möchte ich hier noch einige Gedanken zur Situation tropischer und speziell afrikanischer Gewässer anführen.

Im Gegensatz zu den Mitteleuropäischen Seen, die nach der letzten Eiszeit entstanden sind (ca. 15000 Jahre), sind afrikanische Grabenbruchseen (z.B. Tanganyikasee, Malawisee) um Größenordnungen älter und haben endemische Floren- und Faunenelemente. Die Cichliden z.B. des Malawisees sind ein bekanntes Beispiel für die adaptive Radiation einer Tiergruppe. Diese Systeme bieten eine hervorragende Gelegenheit, an einem Modellsystem auch die historisch-evolutionäre Seite von Biodiversität zu bearbeiten.

Tropische Gewässer weisen völlig andere hydrodynamische Muster auf als die uns bekannten Seen der gemäßigten Breiten. Flache tropische Seen schichten und durchmischen sich unter Umständen in Tag-Nacht-Rhythmus. Tiefe tropische Seen sind permanent geschichtet ohne die bei uns üblichen herbstlichen und frühjährlichen Durchmischungsphasen. Diese extremen hydrodynamischen Muster wirken sich auf die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften aus.

Süßwasser ist eine für den Menschen knappe Ressource und dies ist besonders in den Tropen der Fall. Durch zunehmende menschliche Nutzung der Oberflächengewässer, die an sich schon Zielkonflikte mit sich bringt (Trinkwassergewinnung, Abwasserentsorgung, Fischerei) wird starker Druck auf limnische Ökosysteme ausgeübt, der zu Artenverlusten führt und der sicherlich mit der Gefährdung der Regenwälder vergleichbar ist.

**Horst Kurt Schminke, Johann Wolfgang Wägele**

## **Die Tiefsee – ein Modell zur Erforschung mariner Diversität**

Arten sind der Dreh- und Angelpunkt aller Biodiversitätsforschung. In dynamischer Wechselwirkung bauen sie komplexe ökologische Systeme auf, die ohne Kenntnis der Funktionselemente, der Arten, nicht zu verstehen sind. Außerdem sind Arten die Einheiten, in denen genetische Vielfalt ihren Ausdruck findet.

Die Entdeckung des Sandlückensystems als eines neuen marinen Lebensraumes durch Remane in Kiel Ende der 20er Jahre war der Ausgangspunkt einer eindrucksvollen Erfolgsgeschichte mariner Biodiversitätsforschung. Die Anfänge in Deutschland weiteten sich nach dem Krieg schnell zu einem internationalen Unternehmen aus. Der erste Schritt in der Erforschung des neuen Lebensraums bestand weltweit in der Erfassung der unerwarteten Formenvielfalt. Unter den neu entdeckten Arten waren viele, die neue höhere Taxa repräsentierten, einige wenige entpuppten sich sogar als Vertreter ganz neuer Tiergruppen, z.B. Gnathostomulida und Loricifera. Auf die Bestandsaufnahme folgte die Erforschung der Lebensansprüche einzelner Arten im Labor, bevor zur Aufklärung ökosystemarer Zusammenhänge übergegangen wurde. Zur Erfolgsgeschichte trug bei, daß die Untersuchungen bald auch auf Tiere der gleichen Größenfraktion in anderen Sedimenten ausgedehnt wurden, was zur Definition einer Faunenkomponente geführt hat, die heute als Meiofauna bekannt ist.

Bei der nochmaligen Entdeckung eines neuen Lebensraumes im Meer im Umkreis mineralreicher heißer Quellen, sogenannter „hot vents“, in einigen 1.000 Metern Tiefe entlang der mittelozeanischen Rücken hat sich die Erfolgsgeschichte der Sandlückenfauna nicht wiederholt. Im Augenblick aber gibt es eine große Kontroverse, von der ähnliche globale Impulse ausgehen könnten wie seinerzeit von der Entdeckung des Sandlückensystems als Lebensraum.

Es geht um die Frage, ob die Artenvielfalt im Meer genauso dramatisch unterschätzt worden ist wie die an Land. Grassle & Maciolek haben

Kalkulationen angestellt, die sie unter einer Reihe von Annahmen zu der Einschätzung geführt haben, daß in der Tiefsee 10 Millionen Arten existieren. Dem ist widersprochen worden. Eine Seite meint, es seien noch mehr, die andere Seite argumentiert, daß die Zahl eine Million nicht übersteigt. Die aktuelle Datenlage läßt keine objektive Klärung dieser Kontroverse zu. Eine weitere Streitfrage ist die, ob der Artenreichtum in der Tiefsee größer ist als im Flachwasser außerhalb der Tropen. Auch diese Frage muß vorerst offen bleiben.

Es ist an der Zeit, der Frage des Artenreichtums in der Tiefsee auf den Grund zu gehen. Dazu bedarf es der Untersuchung systematisch-zoo-geographischer, ökologischer und erdgeschichtlicher Aspekte. Zu fragen wäre zunächst:

- wie groß die Areale sind, die einzelne Arten besiedeln,
- wie hoch der Prozentsatz an Kosmopoliten oder weit verbreiteten Arten ist,
- ob es endemische Taxa gibt, die für eine Region charakteristisch sind und
- wie groß und fleckenhaft die Flächen sind, die eine artenreiche bzw. eine artenarme Fauna tragen.

Ferner ist der Einfluß folgender Faktoren auf die Artenvielfalt zu untersuchen:

- die strukturelle Vielfalt des Meeresbodens,
- die Sedimentqualität,
- das Nahrungsangebot in Abhängigkeit von der Primärproduktion,
- das erdgeschichtliche Alter der Meeresregionen und
- der Faunenaustausch mit benachbarten Schelfgebieten.

Diesen Fragenkomplexen soll dadurch nachgegangen werden, daß man die Tiefseelebensgemeinschaften des Ostatlantiks entlang eines Transekts von der Iberischen Tiefsee bis ins Südpolarmeer mit Stichproben untersucht. Gleichzeitig sollen an verschiedenen Stellen wenigstens

drei Profile entlang des Kontinentalabhangs vom Flachwasser bis in die Tiefsee zur Erfassung der bathymetrischen Veränderungen der Artenvielfalt gelegt werden. Die Untersuchungen hätten das Ziel, vergleichbar den Untersuchungen im terrestrischen Bereich zu einer größenordnungsmäßigen Abschätzung der Artenvielfalt im Meer zu gelangen und Auskünfte über die latitudinale, bathymetrische und regionale Verteilung der Artenvielfalt zu erhalten. Damit wären auch die Grundlagen geschaffen, um später die Auswirkungen menschlicher Eingriffe (z.B. Tiefseebergbau, Abwassereinleitung) auf die Artenvielfalt in der Tiefsee zu untersuchen.

Im Gegensatz zur Forschung im terrestrischen Bereich verfügt Deutschland im marinen Bereich über die infrastrukturellen Voraussetzungen für ein solches Großvorhaben. Geeignete Forschungsschiffe mit den notwendigen Probennahmegeräten stehen zur Verfügung. Was noch fehlt, ist das zunehmend konkrete Formen annehmende „Deutsches Zentrum für marine Biodiversitätsforschung“ (DZMB), das taxonomisch ausgerichtet ist und dessen Personal an der Planung der Probennahme, der wissenschaftlichen Auswertung der Proben und an der Koordinierung und Synchronisierung der eingebundenen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zu beteiligen wäre. Diese können nicht nur aus Deutschland kommen, da es internationaler Forschungsbeteiligung bedarf, um alle relevanten Organismengruppen abzudecken. Da Fragen der Sedimentqualität und die Abhängigkeit der Artenvielfalt von der Produktion in der Wassersäule zu den Untersuchungsgegenständen gehören, sind auch andere Forschungsdisziplinen einzubeziehen. Ziel wäre ein interdisziplinäres Großvorhaben mit internationaler Beteiligung, in dem Systematiker mit Sedimentologen, Ozeanographen, Ökologen, Paläontologen und Mikrobiologen zusammenwirkten.

**Gotthilf Hempel**

## **Die reiche Biodiversität in Küstenzonen**

Die Grenzbereiche zwischen Land und Meer sind überall auf der Erde Lebensräume mit hoher Biodiversität. Das gilt besonders für die Gezeitenzonen und das obere Sublitoral, in dem der Meeresboden noch voll dem Tageslicht ausgesetzt ist. Aber auch landwärts weisen die Sandstrände und Feuchtgebiete eine hohe Artenvielfalt auf. In Lagunen und Strandseen sowie im Schlickwatt gilt dies besonders für die Mikroflora.

In den Tropen kommen Mangroven und Korallenriffe als zwei sehr reiche, aber in ihrem Arteninventar verschiedene Ökosysteme hinzu. In beiden Systemen bilden Pflanzen und Tiere ein festes, nischenreiches Gerüst, das einer Fülle von Organismen Ansatzflächen, Schutz und Weidegrund bietet. In den Mangroven besteht das Gerüst aus wenigen Baumarten mit ihren Luft- und Stelzwurzeln, während im Riff kalkbildende Korallen, Muscheln, Würmer und Algen in unterschiedlichem Maße zum Aufbau des Riffes beitragen.

Die Primärproduktion in der Mangrove erfolgt größtenteils im Blätterdach der Bäume und in den zeitweilig überspülten Mikroalgen des Bodens und der Luftwurzelregion. Das Korallenriff erhält seine Primärprodukte aus den symbiotischen Zooxanthellen der Korallen und auch krustenbildenden Algen sowie dem von der Strömung eingetragenen Phytoplankton. Mangroven und Korallenriffe sind Brut- und Aufwuchsgebiete für eine große Anzahl mariner Crustaceen und Fische, sie leben im adulten Zustand im Meer und werden dort auch fischereilich genutzt. Die Erhaltung dieser Küstenökosysteme mit ihrer Biodiversität hat damit weiterreichende Schlüsselfunktionen für die Erhaltung mariner Fischereiressourcen.

Mangroven und Korallenriffe sind seit altersher vom Menschen als Lieferanten von Nahrungs- und Baustoffen (Holz, Korallenkalk) genutzt worden. Mit Zunahme der Küstenbevölkerung wächst dieser Nutzungsdruck. Schwerer wiegen aber andere menschliche Eingriffe, die

durch Trockenlegung, Konvertierung in Aquakulturen, Reis- und Zuckerrohrfelder sowie durch Küsten- und Straßenbaumaßnahmen zu einem rapiden Rückgang der Mangrove in allen Tropenländern geführt haben.

Die heutige Schätzung der Mangrovenfläche liegt bei 170.000 km<sup>2</sup>, ihr Rückgang schwankt je nach Region zwischen 10 % und 90 %: Indonesien ca. 50 %, Philippinen 70 %, Vietnam 40 % (Mastaller 1996)

Die Korallenriffe haben durch zerstörerische Gift- und Explosivfischerei, Export von Souvenirtieren und Aquarienfischen sowie durch Baumaßnahmen und den Tauchtourismus mehr gelitten als die meisten anderen Natursysteme der Erde. Hinzu kommen Fernwirkungen der Waldrodungen und anderer Faktoren, die die Sedimentfracht erhöhen und damit u.a. das Lichtangebot senken. Von den weltweit 600.000 km<sup>2</sup> Riff sind in den letzten Jahrzehnten über 10 % vernichtet und weitere 30 % akut gefährdet.

Mangroven und Korallenriffe haben gemeinsam, daß der Rückgang fragmentierend erfolgt, so daß sich die Frage nach der Mindestgröße erhaltenswerter Areale und nach dem Maximalabstand zwischen diesen Fragmenten stellt, ähnlich wie das für terrestrische Systeme charakteristisch ist.

Die Verbindung zwischen Biodiversitäts- und Klimafolgenforschung ist im Falle der Mangroven und Korallenriffe offensichtlich. Beide Systeme sind unmittelbar abhängig von der Geschwindigkeit und dem Ausmaß der langfristigen Veränderungen des Meeresspiegels und von der Intensität tropischer Stürme. Die Korallenriffe sind sehr sensibel gegen starke Veränderungen der Wassertemperatur. Sie liefern uns andererseits in der Feinschichtung der Kalkskelette hervorragende Daten zur Entwicklung der Lebensbedingungen des Riffs in Anhängigkeit von den schwankenden klimatischen und ozeanographischen Verhältnissen. Für ausgewählte hartschalige Tiergruppen läßt sich die Veränderung der Biodiversität über Zeiträume von Jahrhunderten zurückverfolgen.

In der Mangrove ergeben sich vom Kronendach zum Schlickboden verschiedene Stockwerke mit sehr unterschiedlichen Lebens- und Produk-



tionsbedingungen und entsprechend unterschiedlichen, aber tropisch verzahnten Lebensgemeinschaften. Der Baumwipfelbereich ist meist eng mit dem anschließenden Regen- oder Küstenwald verzahnt, er bietet einer großen Zahl von Wirbeltieren Lebensraum. Im Wurzelbereich leben vor allem an aquatische Lebensbedingungen angepaßte Evertebraten und Fische. Die Luftwurzeln bieten als Harts substrat z.B. in Costa Rica mehr als 130 Arten – vornehmlich Mollusken – Lebensraum (Büttner 1997). In den Gewässern zwischen den Mangroven zählt man in Neu-Guinea bis zu 200 Fischarten.

Wegen ihrer schweren Zugänglichkeit sind die Mangrovegebiete der Erde hinsichtlich ihrer Biodiversität noch nicht gründlich erforscht worden. Starke geographische Unterschiede, insbesondere zwischen der an Baumarten ärmeren Mangrove der Neuen Welt und der artenreicheren Mangrove Afrikas, Südasiens und Australiens, sind augenfällig. Unter biogeographischen Gesichtspunkten erscheint ein zonaler Vergleich zwischen den Mangroven Brasiliens, Angolas und Mozambiques besonderes vielversprechend, weil hierbei die Systeme auf beiden Seiten des Südatlantiks untereinander und mit ihrem ostafrikanischen Pendant verglichen werden können. Andererseits bietet sich ein interhemisphärischer Vergleich zwischen der Mangrove Westafrikas (z.B. Elfenbeinküste) und Angolas an.

Korallenriffe sind hinsichtlich ihres Aufbaues vielfältiger als die Mangrove – dies hängt mit ihrer Genese, der Topographie und den ozeanographischen Bedingungen zusammen. Die vertikale Strukturierung in Riffdach und Riffhang und dessen vom Lichtangebot bestimmte Vertikalzonierung spiegeln sich in der Besiedlung wider. Hinzu kommt eine reiche Kryptofauna in den Höhlen und Klüften des Riffkörpers.

Im Korallenriff sind auf engem Raum fast alle Stämme des Tierreichs vertreten. Ihre z.T. hohe Artenzahl wurde trotz intensiver Forschung in manchen Riffgebieten (z.B. Karibik, Australien, Rotes Meer) bisher nur sehr unvollständig erfaßt. Die Untersuchung der engen Hohlräume steht erst am Anfang.

Im Rahmen des primär terrestrisch orientierten BMBF-Schwerpunktes der deutschen Diversitätsforschung sollten sich die Riffuntersuchungen

auf die dem Strand unmittelbar vorgelagerten Saumriffe konzentrieren. Im Roten Meer sind die Abnahme der Biodiversität von Aden bis Aqaba und die Unterschiede zwischen dem West- und dem Ostufer besonders reizvoll unter den Gesichtspunkten der Besiedlungsgeschichte und der Abhängigkeit von der jeweiligen ozeanographischen Situation. In Ostafrika finden sich Saumriffe bis nach Mozambique, so daß auch hier ein interhemisphärischer Vergleich möglich ist.

Der Beschreibung biogeographischer Gradienten der Biodiversität sind Vergleiche entlang der Gradienten anthropogener Beeinflussung gegenüberzustellen, die zum kausalen Verständnis der Veränderungen und der Empfindlichkeit der Systeme wesentlich beitragen. Das Rote Meer bietet hierfür sehr gute Möglichkeiten. Für die Riffe vor Aqaba liegen detaillierte Langzeitbeobachtungen vor, ein Großprojekt mit Unterstützung der Weltbank und der EU befaßt sich unter deutscher Federführung mit dem Schutz der Riffe, in ägyptischen Gewässern werden verschiedene Verfahren zur Regeneration von Riffen und zur Schaffung von Ersatzbiotopen erprobt. In enger Zusammenarbeit mit einheimischen Wissenschaftlern und Nutzergruppen lassen sich die verschiedenen direkten und indirekten menschlichen Einflüsse auf die Biodiversität trennen und durch den Vergleich von Standorten, in denen diese Faktoren jeweils unterschiedlich stark wirkten, quasi-experimentell untersuchen.

Um der Artenfülle und der milieubedingten Schwierigkeiten bei der Probennahme Herr zu werden, wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Übersichtsverfahren zur groben Bestandsaufnahme und -überwachung entwickelt. Diese Verfahren müssen aber vor Ort auf ihre Aussagekraft anhand von Detailaufnahmen bis auf das Artniveau für die jeweilige Fragestellung überprüft werden.

Ein Workshop am 19./20. November 1998 in Bremen soll eine Übersicht über deutsche Arbeiten in der tropischen Küstenforschung und speziell in der Biologie der Mangrove und Korallenriffe liefern.

**Erko Stackebrandt**

## **Biodiversität von Mikroorganismen**

Der Begriff Mikroorganismen schließt Prokaryonten und phylogenetisch niedrigere eukaryontische Taxa ein, die bei der Analyse großer Ökosysteme gewöhnlich nicht berücksichtigt werden. Es soll an dieser Stelle mit Ausdruck die außerordentliche Bedeutung der Mikroorganismen betont werden, ohne die kein funktionsfähiges Ökosystem, gleich welcher Nische, aufrechterhalten werden kann. Es ist den Mikrobiologen aber auch durchaus bewußt, daß die lückenlose Aufklärung eines komplexen Ökosystems unter Berücksichtigung aller daran beteiligten biologischen Taxa nicht möglich ist. Die Beteiligung mikrobiologisch arbeitender Forschungszentren an einem Biodiversitätsprogramm muß sich also schwerpunktmäßig auf bestimmte Fragestellungen konzentrieren, die nicht der transkontinentalen Transekt-Strategie der Botaniker und Zoologen folgt. Ein Programm „Biodiversität“ wird von Mikrobiologen aufgenommen, wenn schwerpunktmäßig Probleme definiert und in Kooperation mit Systematikern und Ökologen anderer Disziplinen durchgeführt werden. Bevor jedoch globale Themen in Angriff genommen werden, sollten die Rahmenbedingungen in Deutschland verbessert werden. Im folgenden wird die Situation exemplarisch am Beispiel der Bakterien dargestellt, ähnliche Probleme lassen sich aber auf andere mikrobiologische Taxa übertragen.

### *Handlungsbedarf 1.*

*Inventarisierung von Sammlungen von Prokaryonten, die mit öffentlichen Mitteln eingerichtet wurden. Bestandsaufnahme der Inhalte, taxonomische Untersuchungen und Auswahl von Stämmen zur Aufnahme in öffentliche Sammlungen. Ausbildung einer größeren Zahl von jungen Taxonomen.*

Im Vergleich zur Gesamtzahl aller bisher beschriebenen pro- und eukaryontischen Arten, die mit etwa 2 Millionen angegeben wird, ist die Zahl der etwa 4000 gültig beschriebenen prokaryontischen Arten verschwindend gering. Das Verhältnis beträgt damit etwa 1:0,002. Diese

0.2% lassen die Zahl der Bacteria und Archaea unrealistisch klein erscheinen, vor allem wenn man bedenkt, daß die Vorfahren der Prokaryonten unseren Planeten nachweislich bereits vor mehr als 3.5 Milliarden Jahren besiedelt hatten.

Es ist aber gerade auf Grund der geringen Zahl beschriebener Arten verständlich, daß für Typstämme, soweit im Labor kultivierbar, in Referenzsammlungen weltweit ein sehr gut archiviertes Material vorliegt und der Öffentlichkeit taxonomische Daten über Kataloge und in elektronischer Form zur Verfügung gestellt werden. Phylogenetische Daten liegen für die Typstämme von 90% aller beschriebener Gattungen und von 80% aller beschriebener Arten vor. Ursache für den optimalen Zustand bezüglich Verfügbarkeit und Charakterisierung sind die im International Code of Nomenclature of Bacteria festgelegten Regeln, nach denen der Typstamm in einer öffentliche Sammlung hinterlegt werden muß. Neben der DSMZ (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen), einer Einrichtung der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Leibniz, gibt es in zahlreichen Instituten der Universitäten und Großforschungseinrichtungen spezielle Sammlungen von meist weniger gut beschriebenen prokaryontischen Stämmen, über deren Inhalt der Öffentlichkeit nur wenig Information vorliegt. Bezüglich der Bestandsaufnahme solcher „quasi-öffentlicher“ Sammlungen, die oft aus Mitteln der DFG, dem MPI oder anderen öffentlichen Einrichtungen finanziert wurden, besteht Handlungsbedarf. Es kann nicht angehen, daß solche Spezielsammlungen durch Änderung der Forschungsrichtung in ihrem Bestand gefährdet werden. Nach Ausscheiden des entsprechenden Kurators fehlt oft das „know-how“, taxonomische Arbeiten weiterzuführen, wenn nicht sogar solche Sammlungen am Leben zu erhalten. Eine sofortige Übernahme solcher Sammlungen mit wenig definiertem Inhalt ist nicht möglich, wenn nicht im Vorfeld eine Bestandsaufnahme der Inhaltes aufgenommen worden ist. Diese Untersuchungen sollten zum Anlaß genommen werden, junge Taxonomen an ihr zukünftiges komplexes Arbeitsgebiet heranzuführen.

## *Handlungsbedarf 2.*

*Workshops zum „Artkonzept in der Mikrobiologie“ (unter Einbeziehung von Bakteriologen, Mycologen, Protozoologen). Forschungsschwerpunkt(e) „Wirt-Partner“ Beziehungen unter Berücksichtigung medizinischer, ökologischer und biotechnologischer Aspekte. Aufbau (bzw Ausbau) einer Sammlung von (N2-konserviertem) biologischen Material von Invertebraten für die Untersuchung von Wirt-Partner Assoziationen.*

Zwei Erklärungen werden auf die Frage gegeben, warum die Zahl der isolierten prokaryontischen Arten so gering ist. Zum einen wird bestätigt, daß die Definition des Taxon „Art“ in der Bakteriologie grundlegend anders ist als diejenige, die in der Klassifizierung höherer Eukaryonten angewendet wird. Die Definition der Art in der Bakteriologie ist künstlich und pragmatisch, aber anspruchsvoll auf Grund des hohen Aufwands zur Bestimmung der phylogenetischen Stellung, der chemischen Zusammensetzung von Zellbestandteilen, der Physiologie und der Morphologie. Die zweite Erklärung liegt in der Tatsache, daß es den Mikrobiologen bisher nicht gelungen ist, die in Umweltproben zu beobachtende, reiche Vielfalt an prokaryontischen Organismen auf künstlichen Nährmedien in Reinkultur zu bringen. Eine bessere Abschätzung und Erfassung der Artenvielfalt erscheint für die Nachvollziehbarkeit evolutionärer Zusammenhänge auf dem Niveau des Moleküls, des Genoms und der Zelle absolut erforderlich. Molekulare Untersuchungen weisen nach, daß die Artenvielfalt der mit der eukaryontische Zelle assoziierten Prokaryonten enorm ist. Nicht nur stellt die eukaryontische Zelle eine Chimäre dar, die aus verschiedenen prokaryontischen Entwicklungslinien entstanden ist, sondern Wirt-Partner Beziehungen haben in der Natur seit je eine außerordentliche Rolle gespielt. Man muß davon ausgehen, daß jede eukaryontische Art mindestens eine neue Art von Prokaryonten beherbergt. Die Aufklärung dieser Beziehungen erfordert eine enge Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen, die in Deutschland noch nicht verwirklicht ist. Für viele Untersuchungen muß lebendes Material vorliegen, während andere Untersuchungen an Stickstoff-fixierten Material durchgeführt werden kann.

### *Handlungsbedarf 3.*

*Workshops zur Vernetzung, Harmonisierung (Quality Management) und Spezialisierung europäischer Sammlungen.*

Die Flut potentiell isolierbarer Stämme, Fragen nach „Property Rights“ und das Wissen um die hohe Zahl der in Sammlungen weltweit verfügbaren Stämme gleicher Herkunft hat eine rege Diskussion über eine Harmonisierung der Sammlungs- und Hinterlegungsstrategien entfacht. Insbesondere Europa besitzt ein dichtes Netz von Sammlungen von Prokaryonten, Hefen und Pilze, deren Inhalt weit über die Befriedigung der Nachfrage hinausgeht. Hier besteht ein akuter Handlungsbedarf an Kommunikation, um Redundanzen abzubauen und Forschungsprogramme zu aktivieren, ohne die nationalen Interessen und die Wirtschaftlichkeit von Sammlungen zu beeinträchtigen. Mit relativ geringen Mitteln zur Organisation von Workshops und von bi- bis multilateralen Treffen sollte ein enormer synergistischer Effekt zu erreichen sein.

### *Handlungsbedarf 4.*

*Koordination des nationalen taxonomischen Potentials für die Isolierung neuer prokaryontischer Arten und DNA. Erweiterung der deutschen Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen durch eine Abteilung „Umwelt-DNA und DNA Sonden“. Aufbau einer Sammlung von Standortproben gefährdeter Biotope. Ausbildung von Taxonomen und umfassend geschulter Ökologen.*

Prokaryonten wurden in allen bisher auf ihre Anwesenheit hin untersuchten ökologischen Nischen gefunden. Diese Nischen schließen auch solche ein, die ursprünglich aufgrund ihrer extremen physiko-chemischen Bedingungen als lebensfeindlich erachtet wurden, wie etwa die Salzkrusten ausgetrockneter Seen in Ost Afrika, die unmittelbare Nähe zu heißen Quellen der Tiefsee, Fumarole und Gesteine der Antarktis, Geysire und Sulfataras, alkalische Seen, und intra- und interzelluläre Gewebe aller bisher untersuchten Vertreter niederer und höherer Eukaryonten. Bisher nicht-beschriebene Organismen kommen aber auch in weniger spektakulären Habitaten vor und molekulare Untersuchun-

gen können belegen, daß die Zahl neuer freilebender Arten in gemäßigten Zonen der Zahl der in den Tropen gefundenen Arten durchaus vergleichbar ist. Gerade unter dem Gesichtspunkt der CBD erscheint es wichtig, das biotechnologische Potential von einheimischen Prokaryonten näher zu untersuchen. Deutschland bietet eine Fülle von wenig untersuchten Standorten, die sich vom marinen Bereich bis in den hochalpinen Bereich erstrecken. Untersuchungen sollten mit der Isolierung und Hinterlegung von „Standort-DNA“ begleitet werden, deren Potential von der pharmazeutischen Industrie erkannt wurde. Diese Aktivitäten sollten kooperativ unter Beteiligung nationaler Institute und Sammlungen unter spezieller Berücksichtigung der CBD durchgeführt werden.

**Clas M. Naumann**

## **Biogeographie und Stammesgeschichte. Prioritäten für die Erhaltung von Biodiversität**

### *Zusammenfassung*

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Betrachtung steht das Bemühen, die räumlichen Verteilungsmuster von Organismen möglichst flächendeckend in einer Weise zu dokumentieren und zu analysieren, die es erlaubt, hieraus Prioritäten für die Erhaltung eines möglichst hohen Anteiles der globalen Biodiversität zu entwickeln. Hierbei spielen Forschungsansätze der Biogeographie und der Stammesgeschichtsforschung (Phylogenetik) eine wichtige Rolle. In Kombination mit modernen Möglichkeiten der Informationstechnologie können mit vergleichsweise geringem Aufwand rasche und begründete Prioritätsansätze für die Erhaltung von Biodiversität entwickelt werden. Grundlage dieser Forschungsansätze muß die kritische Auswertung des Dokumentationspotentials sein, das sich in den international bedeutsamen Sammlungen der einschlägigen Forschungseinrichtungen befindet.

### *Biogeographie*

Kritische arealanalytische Verfahren der modernen Biogeographie ermöglichen es, Mannigfaltigkeitszentren (Gebiete höchster Diversität, 'hot spots') von den eigentlichen Evolutionszentren und Refugialzentren, die zugleich die Zentren der Endemismenhäufigkeit sind, zu unterscheiden. Gerade in diesen Endemismus-Zentren finden sich zahlreiche stenöke (d.h. sensible) Arten, die aufgrund ihrer evolutiven Besonderheiten (Abstammungsgeschichte, Anpassungssyndrome) von besonderem biologischem Interesse und zugleich aufgrund ihrer kleinräumigen Verbreitung durch Umweltzerstörungen besonders bedroht sind.

### *Phylogenetik*

In Ergänzung zum arealanalytischen Ansatz lassen sich mit Hilfe moderner stammesgeschichtlicher Verfahren diejenigen Gebiete identifi-



zieren, in denen sich heute noch ursprungsnahe ('basale') Formen erfolgreicher Teilgruppen des Tier- und Pflanzenreiches finden. Hierbei finden sowohl klassische als auch molekularbiologische Methoden Anwendung. Die Erhaltung basisnaher Formen, die oft in isolierten Rückzugsgebieten, nicht selten auch unter extremen ökologischen Bedingungen, leben, ist von besonderem Interesse, weil sich durch den Vergleich des Informationsgehaltes dieser konservativen Formen mit den erfolgreicherem und artenreicheren Verwandtschaftskreisen Rückschlüsse auf die Hintergründe des evolutiven Erfolges und damit der auslösenden Faktoren erfolgreicher Radiationen ziehen lassen.

*Interdisziplinäre Ansätze zur Verknüpfung von Informationstechnologie mit Ansätzen und Fragestellungen der Biogeographie*

Es werden zukünftig Ansätze benötigt, mit deren Hilfe die räumliche Verteilung der Organismen effizient, unter verschiedenen detaillierten Fragestellungen (regionale Endemismus-Zentren, stammesgeschichtliche Schwerpunktsetzung) sowohl im Weltmaßstab als auch für regionale und systematische Teilgebiete analysiert werden kann. Auf diesem Wege können nach der Festlegung von Erhaltungszielen die Konsequenzen von Artenverlust bewertet werden und erkannt werden, in welchen Räumen der Erde prioritäre Erhaltungsmaßnahmen anzusetzen haben.

Als Beispiel für derartige Anwendungen wird das von Wissenschaftlern des Natural History Museum (London) in Kooperation mit Informatikern entwickelte PC-Programm *Worldmap* vorgestellt. Am Beispiel der Papilionidae (Ritterfalter) wird demonstriert, wie für eine relativ artenreiche Organismengruppe (596 Arten weltweit) in effizienter Weise diejenigen Gebiete herausgearbeitet werden können, die erforderlich sind, um

- a. die Gebiete höchster allgemeiner Artendichte zu identifizieren (species richness),
- b. die Gebiete höchster taxonomischer (phylogenetischer Repräsentanz = character richness),

- c. jede Art der Gruppe an wenigstens einem Ort der Welt zu erhalten  
(Endemismuszentren)

Die verwendeten Daten basieren ausschließlich auf den im Laufe der letzten 200 Jahre akkumulierten und in den Forschungsmuseen der Welt deponierten Informationen und dem dazugehörigen Belegmaterial.

An einem zweiten Beispiel, einem auf die Vogelfauna der Afrotropis bezogenen Datensatz (1911 Arten, 1 x 1°-Darstellung) werden Kerngebiete herausgearbeitet, in denen *ca.* 70 % der Gesamtdiversität Afrikas repräsentiert sind. Ergänzend wird berechnet, in welchen Bereichen Prioritäten für die Erhaltung eines möglichst hohen Anteiles der verbleibenden Arten (komplimentärer Datensatz) zu setzen sind. Schließlich wird dargelegt, welche Gebiete zu erhalten sind, wenn jede Art der Gesamtf fauna zumindest an einem Ort des Gebietes erhalten werden soll (minimum set of areas).

Es wird herausgearbeitet, wie derartige Arbeitsansätze dazu beitragen können, durch die Bewertung von Diversitätsparametern einerseits und politischer Verfügbarkeit schutzwürdiger Flächen andererseits regionale Schutzprioritäten zu erarbeiten.

### *Schlußfolgerungen*

Die weltweit, insbesondere auch in den Forschungssammlungen der Bundesrepublik Deutschland vorliegenden Informationen (Dokumentationen) zur regionalen Verteilung der Organismen sind umfassend und bilden die einzige kritisch überprüfbare Grundlage für die Erarbeitung detaillierter Verbreitungskarten. Bei sorgfältiger Auswertung dieser Daten können in kurzer Zeit anhand ausgewählter und ökologisch besonders bedeutsamer Organismengruppen flächendeckende Angaben zur lokalen Verbreitung, zu Mannigfaltigkeits- und Endemismuszentren geliefert werden, die dann als ein deutscher Beitrag zur internationalen Biodiversitätsforschung in die entstehenden Verbundprojekte eingespeist werden müssen. Angesichts des gigantischen Ausmaßes der biologischen Diversität und der in einer Reihe von Gruppen besonders evidenten taxonomischen Kenntnisdefizite ist eine Beschränkung auf

besonders gut dokumentierte und zugleich ökologisch bedeutsame Indikatorgruppe von besonderer Bedeutung (z.B. Zoologie: Amphibia, Vögel, Chiroptera, Rhopalocera, etc.).

#### *Internationale Relevanz*

Mit der Umsetzung der beschriebenen Teilaufgaben eines deutschen Biodiversitätsprogrammes kommt die Bundesrepublik den sich aus der CBD ergebenden Verpflichtungen nach und nimmt die Aufgaben wahr, zu denen sie sich im Rahmen des OECD-Abkommens (Washington, März 1998) und der Folgekonferenz in Bratislava verpflichtet hat. Sie entspricht damit zugleich der Forderung der *Darwin Initiative* zur Schaffung eines Globalen Taxonomischen Informationssystems.

**Fritz F. Steininger**

## **Biodiversität im Wandel der Erdgeschichte**

***Präambel:** Die Entwicklung des Systems Erde wird seit Beginn der organischen Evolution, mindestens seit 3,8 Mrd. Jahren, durch Stoffwechselprozesse nachhaltig beeinflusst, wobei der Begriff „Stoffwechsel“ weit gefaßt werden muß. Es lassen sich einige wenige aber gravierende, physiologisch gesteuerte Ereignisse erkennen: (1) Erste physiologische Prozesse gekennzeichnet durch spezifischen C-Isotopen Signale in den grönländischen Isua Gesteinen (3,8 Mrd.). (2) Entwicklung von Photosynthese-Systemen in verschiedenen Bakterien vor rund 2,2 Mrd. Jahren. Dies führt zu O<sub>2</sub> im Überschuß als stark toxisches Stoffwechselendprodukt, verbunden mit einer tiefgreifenden Umgestaltung des Systems Erde: Die Entwicklung der O<sub>2</sub>-Atmosphäre veränderte nachhaltig die biochemischen und geo-chemischen Prozesse und der O<sub>2</sub>-Streß führte zur Bildung von komplexen mikrobiellen Gemeinschaften in einer Zelle (Endosymbionten-Theorie) und somit zur Bildung der eucaryonten Zelle. Wichtige Belege für diesen Umschwung sind die Banded Iron Formations (BIFs) und die verstärkte Bildung von kieseligen und karbonatischen Mikrobialithen / Stromatolithen. (3) An der Wende vom Präkambrium zum Kambrium um 560 Mio. Jahre beginnt die gesteuerte Biomineralisation und damit die Entstehung mineralisierter Skelettelemente. Der Einfluß von Stoffwechselprozessen heute ist mehr als offensichtlich. Der aktuelle „Global Change“ ist letztlich nichts anderes. Ferner greifen astronomische Periodizitäten (Milankovitch und Sub-Milankovitch Zyklen) massiv in das geobiologische/geo-physiologische Geschehen ein (Klima, Albedo, Photosynthese-Aktivitäten u.v.a.).*

Im Verlaufe der 4,5 Mrd. Jahren der geologischen Geschichte des Planeten Erde wird die (Paläo-) Biodiversität durch die paläontologischen Dokumente in Form von Fossilfunden kontinuierlich über mehr als 3.8 Mrd. Jahre bis in die Gegenwart erschließbar. Diese fossilen Taxa lassen uns – je nach Erhaltungs- (Fossilisations-) Potential einzelner Gruppen – einen Ausschnitt aus der (Paläo-) Biodiversität der ehemals

existenten Organismenvielfalt erfassen. Auf den gut überlieferungs-fähigen Hartteilen von Organismen beruht die meist morphologische Unterscheidung einzelner Taxa, ihre taxonomische Beschreibung und die Klassifikation dieser (Paläo-) Vielfalt. In den letzten Jahren kommen in der Paläontologie vermehrt bio- und geo-chemische Methoden zur Anwendung, die vor allem bei der taxonomischen Kennzeichnung und der systematischen Klassifikation, den Stoffwechselprozesse und Stoffflüsse und der Paläo-Öko- und Klimasystem Forschung der erdgeschichtlichen Vergangenheit eine wesentliche Rolle spielen.

Durch Fossilisationspotential einerseits und die Tiefe der Zeit, die verschiedensten in der Erdgeschichte beobachtbaren Ereignisse (Meeresspiegelschwankungen, „Icehouse“- und „Greenhouse“-Stadien, drastische Klimaänderungen etc.) und die sich in der Zeit verändernde Verteilung von Ozeanen und Kontinenten andererseits, werden Filter eingeführt, die eine Betrachtung der (paläo-) biologischen Vielfalt erlauben, die in rezenten Bereichen nicht zugänglich ist. Damit können vor allem bei der (Paläo-) Biodiversitätsmessung natürliche Evolutionsvorgänge und diverse „Störphänomene“ in natürlichen Langzeitreihen studiert werden. Diese Fossildokumente bieten den einzigartigen Vorteil, die Entwicklung einzelner Taxa, größerer taxonomischer Einheiten bis hin zu gesamten Ökosystemen und Biomen, kontinuierlichen über lange Zeiträume hinweg, ohne jegliche anthropogene Einflußnahme, in ihrer natürlichen Reaktion auf die natürliche Umwelt studieren zu können. Nur in der Erdgeschichte besteht somit die Möglichkeit, gezielt den Einfluß von z.B. kosmischen, orbitalen, geochemischen, plattentektonischen/geographischen und biogeographischen Ereignissen, von Meeresspiegeländerungen und Klimaänderungen auf die Vielfalt der Organismen in der Zeit und die Reaktion dieser Vielfalt in der Zeit und durch den Zeitfilter abstrahiert, studieren und auf die Ereignisse bezogen, aufzuschlüsseln und daraus anthropogen unbeeinflusste Modellvorstellungen zu entwickeln.

Wesentlich für den Erfolg solcher Studien sind jedoch bestimmte (z.T. noch zu schaffende) Voraussetzungen:

**Die Auswahl von bestimmten Fossilgruppen** mit einem hohen Fossilisationspotential und kontinuierlich reichem Vorkommen in den studierten Zeitsegmenten.

**Die moderne taxonomische Bearbeitung von diesen Fossilgruppen** unter Einbeziehung aller heute zur Verfügung stehenden Methoden. Diese taxonomische Bearbeitung hinkt derzeit weit hinterher. Viele Arbeiten, die sich mit den verschiedenen Aspekten der (Paläo-) Biodiversität in Zeit und Raum auseinandersetzen, können oft nur auf bereits klassische, 30 bis 40 Jahre alte taxonomische Monographien zurückgreifen.

**Die paläontologischen Archive** mit den darin enthaltenen Fossildokumenten, die in den Forschungs-Sammlungen, Bohrkernen und Aufschlüssen (Geotopen) bereit liegen, sind meist ungenügend bis gar nicht erschlossen. Dies ist ein weiteres hinderndes Kriterium mit bahnbrechenden Studien der (Paläo-) Biodiversität auf breiter zeitlicher und (paläo-) geographischer Basis voranzukommen. Bei den Archiven reichen die Probleme von der Erfassung der hier lagernden Fossildokumente in Datenbanken durch eine einheitliche Datenerfassung bis hin zu den immer häufiger hinsichtlich ihrer Betreuung und Erschließung „verwaisender“ und damit für die wissenschaftliche Auswertung nicht mehr zugänglicher wertvollster Forschungs-Sammlungen.

**Die Auswahl der Prüfstrecken und Zeitebenen:** hier bietet sich in der Erdgeschichte der in der Gegenwart nicht vorhandene Vorteil, einerseits Zeitebenen mit gesicherter Kontinuität, ohne erkennbare (z.B.: physikalische, chemische, tektonische) „Störungen“ für eine Bearbeitung auszuwählen, neben solchen mit erkennbaren „Störungen“ verschiedenster Ursachen (z.B.: durch bekannte kosmische, geo-chemische, plattentektonische und klimatische Ereignisse). Damit stehen im Rahmen der Erdgeschichte eine unerschöpfliche Anzahl von natürlichen „Prüfstrecken“ in Zeit und Raum für die Reaktion der (Paläo-) Biodiversität unter unterschiedlichste Bedingungen zur Verfügung. Letztlich müssen diese Arbeiten an geologischen Profilen (Aufschlüssen) durchgeführt werden, die eine möglichst detaillierte Zeitskalierung er-

lauben, wobei die jüngeren Epochen der Erdgeschichte – ab dem Neogen – eine Zeitskalierung bis in den Bereich von unter 100 Jahren und detaillierter erlauben.

### **Geobiologische Prozesse als Antrieb der Evolution der Biodiversität im System Erde**

Mit Schlagworten werden hier beispielhaft zukunftsorientierte Forschungsansätze und eine Zeitscheibe („Teststrecken der Paläo-Biodiversitätsentwicklung“) für die deutsche Paläontologie und Geobiologie angeführt, die es ermöglichen, (Paläo-) Biodiversitätsstudien für die Erschließung der historischen Biodiversität zu erstellen und Modelle für die Vorhersage der zukünftigen Entwicklung der heutigen Biodiversität unter bestimmten Faktoren zu erarbeiten.

#### **Ausgewählte Forschungsansätze:**

Taxonomie: Die taxonomische Erfassung fossiler Organismen von welchen bisher nur ein Bruchteil bekannt sind, ist ein unverzichtbarer Bestandteil paläontologischer Grundlagenforschung. Dieser Aspekt der paläontologischen Forschung verlangt den Einsatz moderner Art-Konzepte unter Anwendung von bio- und geochemischen Daten, Populationsökologie, Variationsstatistik und Palökologie. Ohne eine fundierte taxonomische Basis sind keine weiterführenden prozessorientierten Arbeiten möglich. Dies gilt insbesondere für (1) die Erfassung der Paläodiversität und der sich aus ihren Änderungen, ergebenden Aussagen über Veränderungen im gesamten System Erde, (2) der Phylogenieforschung, (3) palökologische Fragestellungen und Ökosystemforschung, (4) paläobiogeographische Untersuchungen sowie (5) für eine hochauflösende Biostratigraphie.

Ein wichtiges Hilfsmittel, um das gesteckte Ziel zu erreichen, ist die Einrichtung von sammlungs- und literaturbezogenen Datenbanken, mit deren Hilfe es möglich sein wird, die große Zahl weit verstreuter Arbeiten zu überblicken und sinnvoll auszuwerten.

Molekular(geo-)biologie: die Anwendung molekularbiologischer Methoden führt zu neuen Datensätzen, die für die Abklärung von Diver-

sitätsmustern, der Rekonstruktion von Monophyla und der Rekonstruktion des „Uroorganismus“ mittlerweile unerlässlich ist. Es bieten sich folgende Arbeitsstrategien an: **(1)** Molekulare Analyse bestimmter organischer Verbindungen (z.B. Lipide), die organismenspezifisch sind und sich im fossilen Bericht bis ins Präkambrium wiederfinden lassen (Biomarker-Konzept). **(2)** Die Rekonstruktion von phylogenetischen Beziehungen mittels PCR-Technik. Dabei wurde klar, daß der Lebensursprung nur unter hydrothermalen Bedingungen entstanden sein kann. Mit der 18sRNA Analyse werden höhere Organismengruppen verglichen. **(3)** Auf diese Art können auch Faunenprovinzen und Ursprungsräume von Populationen rekonstruiert werden, sowie **(4)** die Bestimmung von Evolutionsgeschwindigkeiten in verschiedenen Gruppen mit unterschiedlicher Entwicklungsgeschichte.

Paläobiodiversitätsentwicklung in der Zeit: Einige wichtige Fragen dazu wären:

**(1)** Wie ändert sich die Anzahl der Arten, Nischen und Gilden in verschiedenen Milieus durch die Zeit; **(2)** Gibt es in geologischen Zeiträumen Phasen stabiler Diversität und wenn ja, welche Faktoren sind dafür verantwortlich; **(3)** In welchen Zeiträumen erreicht die Diversität nach Massenaussterben ursprüngliche Werte; **(4)** Welche evolutiven Neuerungen waren in den verschiedenen Milieus für Änderungen in der Diversität verantwortlich; **(5)** Hochfrequente Änderungen von Diversitäts- und Dominanzverhältnissen als Auswirkung von Meeresspiegelschwankungen (Paläozoische, mesozoische oder känozoische Beispiele); **(6)** Bezug zwischen Diversitätserhöhung und Verkleinerung von 'Ökosystemfenstern' (Beispiele Riffe, Wälder); **(7)** Generelle Diversifikations- und Diversitätsschübe durch adaptive Durchbrüche: Fiktion oder Wirklichkeit.

**Ausgewählte Zeitscheibe („Teststrecke der Paläobiodiversitätsentwicklung“):**

NEOGEN (24 Mio. Jahre bis heute): Das Neogen ist nicht nur ein wesentlicher Schlüssel zum Verständnis der heutigen Situation der Geobiosphäre, sondern bietet auch exzellente Rahmenbedingungen und



Archive, um grundsätzliche Prozesse und Wechselwirkungen zwischen Geo-Biosphäre zu untersuchen, die gerade auch im Hinblick auf die aktuelle Sorge um die anthropogenen Klima- und Umweltveränderungen besondere Relevanz besitzen. Zu den günstigen Rahmenbedingungen gehören: Lage der Kontinente und Meere in den großen Zügen ähnlich wie heute, aber im Detail doch so unterschiedlich, um Sensitivitätsstudien zum Einfluß der Paläogeographie (z.B. erste Verbindung Afrikas und Arabiens mit Eurasien vor 18 Mill. Jahren; Faunen- und Florenverbreitung bzw. Aridierserung während der Austrocknungsphase des Mittelmeeres im Messiniums zwischen 5.8 und 5.2 Mill. Jahren; Entwicklung der Fauna und Flora in Afrika in den letzten 3 Mill. Jahren und der Einfluß der Menschheitsgeschichte auf diese Entwicklung in der Zeit) auf andere Bereiche der Geobiosphäre (z.B. Evolution, Diversität, Klima, etc.) durchführen zu können; Biosphäre im wesentlichen auf einem der heutigen Situation vergleichbaren Stand, so daß in der Paläoökologie und Paläoklimatologie gut mit der „Nächsten-Lebenden-Verwandten-Methode“ gearbeitet werden kann; Klimaverhältnisse deutlich wärmer (und vermutlich auch atmosphärische Kohlendioxid-Konzentrationen deutlich höher) als heute, so daß bestimmte Abschnitte des Neogens als Analoga für mögliche künftige „Treibhaus-Klimate“ herangezogen werden können (interessant sind z.B. die Funktionsweise des Neogenen Klimasystems mit unipolarer Vereisung, die Struktur und Verbreitung der verschiedenen Ökosysteme, sowie die Zusammenhänge zwischen Klimaveränderungen und Ökosystemdynamik).

**Jörg U. Ganzhorn**

## **Umweltnutzung *versus* Erhalt biologischer Diversität**

Angesichts zunehmender Umwandlung von Primärlebensräumen in wirtschaftlich genutzte Flächen werden einige Gedanken zusammengestellt,

- ob und in welcher Form wirtschaftliche Nutzung natürlicher Ressourcen mit dem Ziel kompatibel ist, ursprüngliche Biodiversität zu erhalten,
- wie Umweltnutzung in Schutzbemühungen integriert werden sollte und
- welche Informationen notwendig sind, um integrierte Schutz- und Nutzungskonzepte zu realisieren.

Der Schwerpunkt der Überlegungen liegt auf Waldökosystemen der Tropen.

### *Mögliche Formen der Umweltnutzung*

1. Umwandlung von Primärlebensräumen in landwirtschaftliche Nutzfläche

Keine Form großflächiger Umwandlung ist mit Erhalt der ursprünglichen Biodiversität auf diesen Flächen vereinbar.

2. Nutzung von Primärlebensräumen ohne das Erscheinungsbild dieser Lebensräume wesentlich zu verändern

#### 2.1 Traditionelle Nutzung

Viele Arbeiten (e.g. Daily 1997. *Nature's Services*. Island Press) zeigen, daß mittel- und langfristig inhärente Werte und Leistungen ursprünglicher Ökosysteme sowie das erwirtschaftete Bruttosozialprodukt bei traditioneller Nutzung in vielen Fällen höher sind, als mit anderen Nutzungsformen erreicht werden kann. In den meisten Fällen, in denen traditionelle Nutzung praktiziert werden könnte, fallen aber

kurzsichtiges persönliches Gewinnstreben und das Interesse, das nationale oder internationale Bruttosozialprodukt nachhaltig zu optimieren, nicht zusammen. Dadurch kann sich traditionelle Nutzung ohne begleitende Maßnahmen gegen kurzfristige Gewinnmaximierung nur schwer behaupten.

## 2.2 Selektiver Holzeinschlag

Für viele Urwälder sowohl in gemäßigten Breiten, wie z.B. Kanada, als auch in den Tropen wird selektiver Holzeinschlag als Möglichkeit propagiert, wirtschaftliche Nutzung mit Erhalt der Biodiversität zu kombinieren. Naturnahe Holzwirtschaft oder selektiver Holzeinschlag sind sicher wichtige Möglichkeiten, die zum Erhalt von Biodiversität beitragen können. Sie haben aber auch ihre Probleme.

1. Selektiver Holzeinschlag ist ein sehr vager Begriff. Bei selektivem Holzeinschlag kann bei Nutzung von 1 – 5 % der Bäume zwischen 10 und 80% der umstehenden Bäume zerstört werden. Trotzdem ist das selektiv.
2. Die Schwelle von Nutzungsintensitäten, die keine merklichen Änderungen bei Tieren und Pflanzen in dem Wald hervorrufen zu Nutzungsintensitäten, bei denen ganze Populationen zusammenbrechen, ist klein. Wir kennen diese Schwelle für einige wenige Tierarten, aber nicht für das ganze System.
3. Wir wissen zu wenig über langfristige Sekundärfolgen von Holzeinschlag; oder allgemein von intensivierten Nutzungsformen natürlicher Ökosysteme. (Johns 1997. Timber Production and Biodiversity Conservation.... Cambridge University Press; Struhsaker 1997. Ecology of an African Forest. University Press of Florida).

## 2.3 Ökotourismus

Ökotourismus ist ein weiterer Ansatz, in dem Umweltnutzung und Erhalt biologischer Diversität vereint werden können.

## *Probleme*

Diesen und weiteren Ansätzen ist gemein, daß technische Probleme weitgehend gelöst sind. Die Umsetzung umweltverträglicher Praktiken scheitert aber immer noch zu oft an:

1. fehlender Kontrolle und Exekutive, die bestehendes Recht vor Ort durchsetzen,
2. internationalen oder nationalen Vorgaben, die den lokalen Bedingungen nicht genügend Rechnung tragen,
3. Dominanz Gewinn-orientierter Ökonomie über Umwelt-orientierte Politik (z.B. Cuvelier 1996. Primate Report 46-1: 133-148).

## *Neue Ansätze: Regionalisierung und Integration*

Der derzeit in den Fokus von Entwicklungsvorhaben gerückte Ansatz besteht in Dezentralisierung von Entwicklungsprojekten unter starker Berücksichtigung und Einbindung lokaler Interessen. Diese Integration erfolgt bereits in der frühen Planungsphase und beruht auf der eigentlich trivialen, aber lange vernachlässigten Erkenntnis, daß, ohne Berücksichtigung lokaler Interessen, Entwicklungsprojekte nicht aus sich selbst heraus Bestand haben können (e.g. Hannah *et al.* 1998. *Environmental Conservation* 25: 30-36).

Die Vielfalt des ursprünglichen Artenbestandes wird bei allen diesen Ansätzen gegenüber den ursprünglichen Ökosystemen reduziert sein. Wenn wir möglichst viele Arten erhalten wollen, brauchen wir große und möglichst viele Schutzgebiete (Kramer *et al.* 1997. *Last stand*. Oxford University Press). Trotz aller Nebeneffekte sind umweltverträgliche, nachhaltige Nutzungsformen aber essentiell. Wir dürfen die aktuellen Bedürfnisse der lokalen menschlichen Bevölkerung nicht unberücksichtigt lassen oder verdrängen. Erhalt des größtmöglichen Prozentsatzes der globalen Biodiversität ist langfristig am ehesten durch Integration von Schutzgebieten und verschiedenen Formen umweltverträglicher, aber ökonomisch relevanter Nutzungsformen zu erreichen. Diese nachhaltigen Nutzungsformen können und müssen ständig unter

Berücksichtigung neuer ökosystemarer Erkenntnisse verbessert werden.

Bisherige Nutzungsformen haben entweder zu großflächiger Zerstörung oder zu starker Fragmentierung der ursprünglichen Ökosysteme geführt. Wesentliche Aufgabe zukünftiger Aktivitäten wird in Zukunft in der Renaturierung von Flächen bestehen, die durch verschiedene Nutzungsformen zerstört worden sind. Verbliebene Fragmente ursprünglicher Vegetation bieten dabei Chancen für Renaturierungsvorhaben. Sie können als Rückzugsgebiete für die ursprüngliche Flora und Fauna gedient haben. Zwischen den Fragmenten sollte dann ein Austausch stattfinden und die Fragmente sollen als Reservoir dienen, von dem aus sich Arten wieder ausbreiten können, wenn sich die Bedingungen verbessert haben sollten. Ob eine Art in Fragmenten ursprünglicher Vegetation überlebt oder nicht, hängt ganz wesentlich davon ab, ob die Art die Gebiete zwischen den Fragmenten nutzen kann oder nicht (Laurance, Bierregaard 1997. Tropical forest remnants. University of Chicago Press). Es ist daher essentiell, diese Gebiete entsprechend zu gestalten. Die großen Herausforderungen und auch großes Potential liegen daher in der Renaturierung von Gebieten zwischen Fragmenten ursprünglicher Ökosysteme.

Renaturierungen müssen dabei zwei Funktionen erfüllen:

1. Sie müssen der lokalen Bevölkerung eine wirtschaftliche Grundlage geben; d.h. sie müssen letztlich die Ursachen beseitigen, die ursprünglich zu der Zerstörung des Lebensraums geführt haben.
2. Sie sollten so angelegt sein, daß sie geeignete Lebensräume für heimische Tier- und Pflanzenarten bieten.

Fragen, die sich hier stellen, sind:

1. Welche Arten sollen gefördert werden?
2. Welche Bereiche müssen wir unter Schutz stellen, damit die Arten in den Fragmenten natürlicher Vegetation überleben können, bis die Renaturierung greift?

3. Wie müssen die Renaturierungsmaßnahmen aussehen, damit die renaturierten Gebiete tatsächlich als Korridore, Pufferzonen oder Ersatzlebensräume dienen können?

#### *Aufgaben für die Grundlagenforschung*

Um die oben gestellten Fragen beantworten zu können, müssen Artenbestand, Populationsdynamik, Ansprüche der verschiedenen Arten an ihren Lebensraum und ihre interspezifischen Interaktionen bekannt sein. Wichtig ist dabei zu wissen, wie sich diese Prozesse bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen unterscheiden und welche Auswirkungen seltene, aber möglicherweise gravierende Ereignisse (El Nino, Feuer, Stürme) haben können.

Zur Definition der ursprünglich ablaufenden Prozesse sind Arbeiten in großen, möglichst ursprünglichen Lebensräumen notwendig. Hiermit können dann Vorgänge in Waldfragmenten, Sekundärvegetation und z.B. Baumplantagen verglichen werden. Dies erlaubt Rückschlüsse, welche Formationen als Korridore oder Trittsteine fungieren können und wie sich Populationen in Ersatzlebensräumen entwickeln könnten.

Ein großes Problem bei derartigen Arbeiten ist die hohe räumliche und zeitliche Variabilität der Umweltbedingungen und auch der Reaktionen der Arten auf sich ändernde Verhältnisse. Diese Variabilität bietet allerdings auch die Chance, daß Zusammenhänge nicht nur beschrieben, sondern auch tatsächlich kausal verstanden werden können. Dazu sind vergleichende Studien unter verschiedenen Rahmenbedingungen (Gradienten) mit langer Laufzeit notwendig (Cody, Smallwood 1996. Long-term studies of vertebrate communities. Academic Press).

Norbert Jürgens

## **Transkontinentale Makrotransekte als Instrument zur Erforschung der Biodiversität. Ein konkreter Vorschlag für einen Projektverbund: BIOTA – Biodiversity Monitoring Transect Analysis**

Im Mittelpunkt dieses Beitrags steht die Biodiversität des afrikanischen Kontinentes, die räumlich und zeitlich eine hohe Variabilität aufweist. Diese Variabilität geht zu einem Anteil auf historische Prozesse im Rahmen der (Co-)Evolutionsgeschichte der Taxa, der Ökologiegeschichte des Kontinentes sowie der jüngeren anthropogen beeinflussten Nutzungsgeschichte zurück. Andererseits wird sie aber auch im Rahmen der rezent herrschenden Umweltbedingungen entweder durch die aktuellen Umweltfaktoren direkt gesteuert oder aber über ökologisch gesteuerte Prozesse unter Beteiligung vieler abiotischer und biotischer Interaktionen bestimmt. In Hinblick auf die Bedeutung der Biodiversität für den Menschen sind hier wiederum die direkten oder indirekten Effekte menschlicher Landnutzung von großer Bedeutung.

Es wird der Vorschlag gemacht, einen koordinierten und international vernetzten Beitrag der deutschen Biodiversitäts-Forschung zum Problembereich „Global Environmental Change“ zu etablieren, der sich inhaltlich auf die Analyse der Ursachen und der Bedeutung (funktionellen Auswirkungen) der Biodiversität und ihrer durch Nutzung bzw. andere Aspekte des globalen Umweltwandels bewirkten Veränderungen konzentriert. In Hinblick auf die räumliche Positionierung wird der Vorschlag unterbreitet, die Forschung in einem gewissen Umfang zunächst auf einen oder mehrere Transekte zu konzentrieren, die Afrika von Nord nach Süd durchlaufen. BIOTA steht damit in räumlicher Nähe und inhaltlicher Vernetzung zu AQUA, PEP III (PAGES) und ACACIA.

### *Inhaltlich*

Die Biodiversität unterliegt weltweit rasanten Veränderungen, die in ihren Ursachen und in ihren Auswirkungen nur teilweise verstanden sind. Zwar ist generell bekannt, daß wir weltweit einen signifikantem

Verlust an potentiell nutzbarem genetischem Potential ebenso wie funktionell-ökosystemar bedeutsamer Artenvielfalt erleiden. Für eine objektive Bewertung der Vorgänge und eine darauf aufbauende politische Handlungsmaxime auf internationaler, nationaler oder regionaler Ebene fehlt aber bisher ein naturwissenschaftlicher Interpretationsansatz, der über räumliche, ökologische oder gesellschaftliche Sonderfälle hinaus einen übergeordneten Interpretations- und Bewertungsrahmen schafft.

Hier wird der Vorschlag gemacht, die Vielfalt der vorliegenden – entweder regional oder auf Fallstudien ausgerichteten – Biodiversitätsstudien in eine übergeordnete Perspektive einzubeziehen, die sich, neben den Strukturen, auf folgende Forschungsziele konzentriert:

- A *Ursachen*: Gradientenorientierte Analyse der gegebenen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Biodiversität in Bezug auf steuernde Umweltfaktoren, insbesondere in Hinblick auf den Kontrast nutzungsgeprägter Systeme im Vergleich zu natürlichen Systemen, anhand von Makrotransekten.
- B *Prozesse*: Analyse der Prozesse, über welche – natürliche und nutzungsbedingte – Veränderungen der Biodiversität, insbesondere Degradation und Regeneration, eintreten, anhand von individuenbasierten Monitoringprogrammen im Rahmen von Ökosystemanalysen in Kombination mit experimentellen Ansätzen.
- C *Wirkungen*: Analyse der funktionellen Effekte der Biodiversität und der Bedeutung der Biodiversität für Umwelt und Mensch.
- D *Faktor Mensch*: Betonung der Analyse menschlicher Nutzungssysteme, Ausarbeitung von Instrumentarien zur konkreten Einflußnahme auf die Biodiversität von Systemen bzw. Landschaftsausschnitten, insbesondere in Hinblick auf die Gestaltungspotentiale nutzungsgeprägter Systeme im Vergleich zu natürlichen Systemen; Schutzkonzepte.

### *Räumlich*

Für einen effizienten deutschen Beitrag zur internationalen Biodiversitätsforschung bietet diese räumliche Orientierung zahlreiche Vorteile:



- Weitere Konzentration der Global Change Forschung auf den terrestrischen Bereich (direkter Lebensbereich des Menschen)
- Eine dem globalen Kontext angemessene Nord-Süd-Orientierung, die dem klimazonalen Aufbau der Erde entspricht, innerhalb dessen klimatische Änderungen als Verschiebungen der Zonen und Migrationen der Organismen in Erscheinung treten können
- Wahl von Afrika als einzigem halbwegs symmetrisch auf Nord- und Südhemisphäre verteilten Kontinent mit einem gewissen Potential für transhemisphärisch vergleichende Untersuchungen
- Räumliche und politische Nähe zwischen Europa und Afrika
- Räumliche Übereinstimmung und Einbindung bestehender Ansätze (z.B. PAGES Pole-Equator-Pole III –Transekt, AQUA, ACACIA)
- Gute Ausgangsbedingungen aufgrund zahlreicher bestehender Forschungsk Kooperationen und vorhandener Kompetenz
- Besonders gute Vergleichsbasis für Arbeiten in anderen Kontinenten

Nähere Ausführungen zum Inhalt

A *Ursachen*: Gradientenorientierte Analyse der gegebenen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Biodiversität in Bezug auf steuernde Umweltfaktoren, insbesondere in Hinblick auf den Kontrast nutzungsgeprägter Systeme im Vergleich zu natürlichen Systemen, anhand von Makrotransekten.

- Analyse der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Biodiversität entlang von Makrotransekten als Ausdruck wichtiger natürlicher Gradienten. Dabei soll grundsätzlich versucht werden, sowohl relativ naturbelassene als auch stark nutzungsgeprägte Landschaftsausschnitte zu beproben, um auch den Nutzungsgradienten zu erfassen. Der Schwerpunkt soll dabei auf der Betrachtung zonaler Einheiten liegen (Biome), es wird aber in bestimmten Landschaften auch erforderlich sein regional bedeutsame Ökosysteme/Formationen oder sogar lokal differenzierte Teil-Ökosysteme und Nutzungssysteme als zusätzliche Parallelen ebenfalls zu analysieren. Lage und Konzentra-

tionen des Transektes sollen die Lage von Biodiversitätszentren (hot spots), Endemitenzentren usw. berücksichtigen.

- in Hinblick auf ökosystemar bedeutende biologische Parameter wie z.B. der Zusammensetzung aus Funktionstypen (z.B.: Etablierungsstrategien, Neophyten), dem Verhältnis Produzenten versus Konsumenten, Populationsdynamik.
- in Hinblick auf ökosystemar bedeutende Parameter der biogeochemischen Kreisläufe (z.B. Wasser, Boden, Klima, Gaswechsel)
- In Hinblick auf die endogene Dynamik der Systeme
- in Hinblick auf die zeitlichen Veränderungen der Biodiversität (z.B. historische Entstehung der Systeme (Austauschprozesse, Migrationen etc.), aktuelle versus potentielle Diversität, Extinktionsraten, verdrängende Neophyten, Neozoen)

B *Prozesse*: Analyse der Prozesse, über welche – natürliche und nutzungsbedingte – Veränderungen der Biodiversität, insbesondere Degradation und Regeneration, eintreten, anhand von individuenbasierten Monitoringprogrammen im Rahmen von Ökosystemanalysen in Kombination mit experimentellen Ansätzen.

- Degradierende Prozesse, z.B. Übernutzung der Ressourcen, Bedeutung der Fragmentierung von Habitaten, etc.
- Regenerative Prozesse, z.B. Regenerationsversuche entlang dem Transekt, Identifizierung und Bewertung von Regenerationspotentialen (Schutzgebiete?, Orobiome?)
- Experimentelle Ansätze (z.B. Entfernung bestimmter Arten oder Strategietypen, um deren Bedeutung für den Erhalt der Vielfalt zu ermitteln, Ausschluß bestimmter Nutzungsformen wie z.B. Beweidung).
- Rolle von Ammenorganismen (keystone species)
- Bewertung der Wirkung von Nutzungssystemen und anderen anthropogenen Einflüssen (Kulturlandschaft, langsame Ressourcendegradation)

C *Wirkungen*: Analyse der funktionellen Effekte der Biodiversität und der Bedeutung der Biodiversität für Umwelt und Mensch.

- Stabilität des Angebots an Nutzungsressourcen
- Effekte für biogeochemische Kreisläufe u. lokale Ökosysteme (Boden, Wasser, Luft, Organismen)
- Schutzgebiete als Einkommensquelle
- Potential bisher nicht genutzter genetischer Ressourcen
- Bedeutung schleichender Degradationsprozesse

D *Faktor Mensch*: Betonung der Analyse menschlicher Nutzungssysteme, Ausarbeitung von Instrumentarien zur konkreten Einflußnahme auf die Biodiversität von Systemen bzw. Landschaftsausschnitten, insbesondere in Hinblick auf die Gestaltungspotentiale nutzungsgeprägter Systeme im Vergleich zu natürlichen Systemen; Schutzkonzepte.

- Entwurf nachhaltig genutzter Systeme, welche auch die Biodiversität erhalten
- Rolle von Schutzgebieten und Nationalparks als neuer Landnutzungsform
- Methodische Optimierung der Identifizierung von Prioritätsräumen für die Ausweisung effizienter Schutzgebiete
- Rolle politischer, kultureller und ideeller Leitbilder („Cultural Landscape“)
- In-Wert-Setzung der Biodiversität
- Entwicklungspolitische Aspekte, CBD

**Peter Janich, Mathias Gutmann**

## **Normative Grundlagen der Biodiversität**

In die Diskussion um Biodiversität (BD), die von den verschiedenen Disziplinen der Biowissenschaften, der Ökonomie sowie der Philosophie (Wissenschaftstheorie und Ethik) geführt wird, gehen in der Regel folgende Annahmen ein:

1. BD ist ein Gegenstand der Biowissenschaften und wird von diesen eindeutig und wissenschaftlich adäquat beschrieben.
2. BD wird beeinflusst, reduziert oder gar zerstört durch zivilisatorische Einflüsse.
3. Die Beschreibung dieser in der Regel als „Störung“ verstandenen Veränderungen wird als originär biologische Aufgabe betrachtet.
4. Standards für die Normalität „natürlicher“ Umgebungen werden biologischen Beschreibungen entnommen und Handlungsanweisungen (zur Erhaltung, Wiederherstellung, oder nachhaltigen Nutzung) zugrunde gelegt.

Aus diesen Vorannahmen ergeben sich einige grundlegende Probleme, zu deren Lösung die Philosophie, insbesondere die Wissenschaftstheorie beitragen sollen.

### *I Wissenschaftstheoretische Grundlagen der BD-Diskussion*

1. Die BD-Diskussion wird in einer historisch-naturwüchsig entstandenen Fachsprache geführt, deren entscheidende Termini in Definition, Unterscheidungsabsichten, Kontext usw. unterbestimmt sind.
2. Eine kritische Rekonstruktion der naturwissenschaftlichen Wissensbestände zur BD hat Forschung und Theoriebildung als zweckrationales Handeln zugrunde zu legen.
3. Begriffs- und Theoriebildung sind keine isolierten Teile der Biowissenschaften, sondern selbst als zweckrationale, nach Erfolg und Mißerfolg zu beurteilende Handlungen im Zusammenhang empirischer Forschung zu fassen.

4. Die Disziplinen der Biowissenschaften beruhen, wie alle Wissenschaften, auf bestimmten lebensweltlichen Praxen. Dort sind für eine Rekonstruktion grundlegende Unterscheidungen, vor- und außerwissenschaftlich entwickelte Techniken sowie die Bedürfnisse zu lokalisieren, auf welche die Zwecksetzungen biowissenschaftlicher Forschung primär bezogen sind. Eine methodisch-kritische Rekonstruktion des BD-Diskurses mit handlungstheoretischen und sprachphilosophischen Mitteln zielt auf die Aufklärung naturalistischer Mißverständnisse und auf einen Praxisbezug naturwissenschaftlicher Forschung.
5. Die Biowissenschaften moderner Form hätten weder semantische noch Geltungskriterien, würden sie eine menschenunabhängige Natur aus der Distanz eines passiven Beobachters „beschreiben“.
6. Beobachtung und Experiment mit dem Ziel funktioneller und kausaler Erklärungen beruhen prinzipiell auf technischer Intervention.
7. Auch „natürliche“ (im Sinne von: nicht Mensch gemachte) Sachverhalte (einschließlich solcher der Naturgeschichte) können nur mit Hilfe technisch-experimentell beherrschter, also künstlich erzeugter Wirkungszusammenhänge als Modelle, Simulationen usw. erklärt werden.
8. Die Gegenstände, von denen die Biowissenschaften in der BD-Diskussion sprechen, verdanken sich damit Konstitutionsverfahren, und sind in diesem Sinne keine „natürlichen“ Gegenstände.

## II *Biologische Aspekte der BD-Diskussion*

Wie sehr die eingangs genannten Annahmen die wissenschaftliche Auseinandersetzung um BD bestimmen, zeigt sich an den biologischen Grundlagen verschiedener BD-Beschreibungen. Diese Vorannahmen selbst bilden, vor allem wegen ihres kontroversen methodischen Status, wichtige Teile des BD-Problems:

1. Es gibt in den Biowissenschaften keine einheitliche Bestimmung „des“ biologischen Gegenstandes „der“ BD-Forschung. Eine Vielzahl von Bedeutungen von „BD“ spiegelt eine Vielzahl von Disziplinen wider, die sich mit ihr befassen. Ökologische, genetische, taxonomische, mikrobiologische, evolutive und andere Zugänge zur BD-Diskussion führen auf das Problem, daß der genannten Disziplinen-Diversität eine Diversität von Ansätzen entspricht; es kann weder von einer Einheit der Gegenstände oder der Methoden noch von einer Vereinheitlichung oder Reduzierbarkeit von Disziplinen und Ansätzen auf eine einzige, kohärente biologische Theorie gesprochen werden.
2. Weder innerhalb der Disziplinen noch im Verhältnis der Disziplinen zueinander sind die vorfindlichen Parametrisierungsmethoden für BD einheitlich oder auch nur sinnvoll aufeinander bezogen.
3. Der Vielzahl der Bedeutungen von „BD“ entspricht die offene Frage, welches die „relevanten“ Aspekte der BD sein sollen. Neben Artenvielfalt, Biotop- und Ökosystemvielfalt werden auch genetische Vielfalt, Landschaftsvielfalt, evolutive Diversität und Disparität diskutiert.
4. Den meisten biologischen Beschreibungen von BD liegt ein radikal deskriptivistisches Verständnis zugrunde, wonach die Biowissenschaften eine „natürlich gegebene“ Wirklichkeit zu beschreiben hätten. Diese Auffassung hat unlösbare semantische und geltungstheoretische Konsequenzen, von mangelnder technisch-praktisch-politischer Umsetzbarkeit der Resultate ganz zu schweigen.
5. Adäquatheits- und Geltungsprobleme biologischer Theorien im deskriptivistischen Verständnis ergeben sich für die Beschreibung von Naturstücken, sobald sie auf ein zweckgeleitetes Handlungswissen treffen. Soll mit Hilfe von Ergebnissen der BD-Forschung ein naturwissenschaftlich gestütztes Handlungswissen gewonnen werden, ist eine Alternative zum deskriptivistischen Verständnis der Biowissenschaften zu entwickeln.

6. Dazu soll eine protobiologische Rekonstruktion biologischer Theoriestücke geleistet werden, um Grund und Reichweite biowissenschaftlicher Resultate für die Praxis zu bestimmen.

### III *Gesellschaftliche Aspekte der BD*

Den ungeklärten Begriffen sowie den offenen oder kontroversen Fragen der BD-Diskussion auf naturwissenschaftlicher Seite entspricht eine Vielzahl von Ansätzen und Empfehlungen zum gesellschaftlichen Umgang mit BD.

1. Wo Normalitätsstandards in Zustandsbeschreibungen von BD (insbesondere bei der Verwendung homöostatischer Modelle) deskriptivistisch mißverstanden werden, geraten menschliche Aktivitäten und deren Folgen notwendig zu „Störgrößen“. Dies führt entweder zur Forderung nach menschenunberührten Schutzzonen oder zur holistischen Einbeziehung des Menschen als Gegenstand der Biologie in den jeweils als natürlich angenommenen Zusammenhang. Da beide Strategien u. a. zu Handlungsanweisungen führen, die gegen menschliche Interessen gerichtet sind, kommt es in diesem Zusammenhang häufig zu autoritären oder doktrinären Politikkonzepten (insbesondere im Zusammenhang mit Umwelt-, Biotop-, Artenschutz, aber auch bei einigen Ansätzen zur nachhaltigen Nutzung).
2. Wird umgekehrt die sogenannte „ökologische Krise“ als eine gesellschaftliche, im speziellen als eine ökonomische Krise interpretiert, kann auf eine biologistische Legitimation von Handlungsanweisungen im Umgang mit BD verzichtet werden.
3. Im Falle bioethischer, ökoethischer oder genethischer Argumente tritt ebenfalls das Problem verfehlter biologistischer Legitimation von Handlungsanweisungen (nämlich in Form eines naturalistischen Fehlschlusses) auf, wenn aus deskriptivem Wissen unmittelbar normativ z. B. für Einschränkungen oder Verbote menschlicher Handlungen argumentiert wird; entsprechendes gilt für wertethische, verantwortungsethische oder gesinnungsethische Argumente, wenn diese allein auf biologisches Wissen gestützt sein sollen.

## IV *Methodische Perspektiven*

### 1. Vollständigkeit:

Die Forderung, BD zunächst vollständig zu beschreiben, um daraus Handlungsaufforderungen gewinnen zu können, ist in zweierlei Hinsicht problematisch:

- (1) Für generelle Aussagen wird nicht genau angegeben, über welchen Bereich von Gegenständen sie sich erstrecken. Es bleibt offen, ab welcher Zahl von Gegenständen und ab welcher Zahl der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen eine Vollständigkeit der Beschreibung von Gegenständen angenommen werden soll, die eine BD charakterisieren. Die Artenzahl allein ist offenkundig spekulativ (Schätzungen differieren je nach Methode bis über 100 %).
- (2) Die Frage, ob eine – wie auch immer definierte – Vollständigkeit des Wissens überhaupt entscheidend als Rechtfertigungsgrundlage für Handlungen (Eingriffe, Regulierungen, Nutzungen, Erhaltung von Naturstücken) ist, wird nicht gestellt, eine entsprechende Behauptung nicht begründet. Hier besteht die Gefahr eines deskriptivistischen Fehlschlusses.

Eine Alternative zu einem allein auf Naturwissenschaften gestützten Umgang mit BD liegt in der Beschreibung von Naturstücken oder Umgebungen unter dem Aspekt ihrer (kulturabhängigen) Nutzung. Hier werden Beschreibungszwecke expliziert und die Vollständigkeit von Beschreibungen auf diese Zwecke relativiert. Dadurch werden z. B. naturwissenschaftliche Erkenntnisse an ihrer prognostischen Zuverlässigkeit für zweckgerichtete Eingriffe in die Natur beurteilbar. Zugleich werden einseitige Beschränkungen von Zwecken (z. B. auf ökonomische Parameter) durchschaubar und vermeidbar; andererseits werden naturwissenschaftliche Beschreibungen als Mittel oder Werkzeuge verstehbar, Gegenstände von Naturstücken oder Umgebungen gezielt zu verändern, zu erzeugen oder zu reproduzieren.



## 2. Adäquatheit:

Die Auszeichnung von Parametern, nach denen biotische Vielfalt angenommen und als „BD“ beschrieben wird, ist kontrovers. Das Verhältnis der tatsächlich gewählten Kriterien zueinander ist häufig systematisch, definitorisch und auch empirisch unbestimmt. Damit entfällt weitgehend die Beurteilung der Adäquatheit von BD-Begriffen und -Maßen.

Statt einer („naturalistischen“) Adäquatheit im Sinne einer vollständigen (s. o.) Abbildtreue kann („kulturalistisch“) die Adäquatheit der Naturbeschreibung an der praktischen Verwertbarkeit und Tragweite orientiert werden.

## 3. Klärung der Explananda:

Mit einer fehlenden Explikation von Beschreibungszwecken in der BD-Forschung geht eine mangelnde Klärung der Explananda einher. „Natur“ und ihre „Vielfalt“ bleiben undefinierte Gegenstände der Naturwissenschaften. Diese für praktische Orientierungszwecke defizitäre Lage läßt sich überwinden, wenn im kulturellen Umgang mit „Natur“ die erforderlichen begrifflichen und methodischen Bestimmungen von Anfang an an den dabei verfolgten Zwecken orientiert werden. In ein solches rationales Verhältnis zur Natur können auch normative Aspekte eingehen. Exemplarisch sind dafür im einzelnen zu leisten:

- (1) Methodologische Begleitforschung. Wo systematische Bestimmungen biologischer Gegenstände fehlen oder Einschätzungen der Leistung vorhandener und angewandter Theorien unklar sind, muß die Wissenschaftstheorie durch begriffliche („protobiologische“) Rekonstruktionen Klärungen leisten – im Verständnis eines arbeitsteiligen Beitrags zur Naturwissenschaft. Für die gesamte BD-Forschung wäre dies ein (produktives) Novum, das sich auch in den Problemfeldern Genetik, Gentechnik usw. als tragfähig zu erweisen hat.
- (2) Methodische Begleitforschung in Zusammenarbeit zwischen Biologen und Wissenschaftstheoretikern hat definitorisch geklärte und

verwendungsadäquate Grundlagen zu erarbeiten, die Vergleich und Beurteilung verschiedener Elemente der BD-Forschung erlauben. Hier könnte auch im internationalen Vergleich Pionierarbeit geleistet werden.

- (3) Ethische Begleitforschung. Rechtfertigungsdiskurse für Zwecke, die im Umgang mit BD verfolgt werden sollen, sind in Kooperation von Biologen, Wissenschaftstheoretikern und Fachleuten für ökonomische, juristische und soziale Fragen zu führen. Dabei spielen die methodologischen und methodischen Klärungen die Rolle, überhaupt verlässliche Mittel für eine klare und nachvollziehbare ethische und politische Beurteilung (u. a. von Technikfolgen) zu ermöglichen. Die ethische und politische Diskussion auf ein geklärtes naturwissenschaftlich-philosophisches Fundament zu stellen, wäre ebenfalls im internationalen Vergleich ein Novum.

## **Literatur**

Janich, P. (1992) Grenzen der Naturwissenschaften. Beck, München

Janich, P. (1997) Kleine Philosophie der Naturwissenschaften. Beck, München

Gutmann, M. (1998) Methodologische und normative Aspekte der Umweltbewertung – Elemente einer Rationalen Ökologie. In: Theobald, W. (Hg.) Integrative Umweltbewertung. Theorie und Beispiele aus der Praxis. Springer, Heidelberg

Reaka-Kudla, M. L., Wilson, D. E., Wilson, E. O. (ed.) (1997) Biodiversity. Joseph Henry Press, Washington

Wilson, E. O. (1992) Der Wert der Vielfalt. Pieper, München

## Autorenverzeichnis

Professor Dr. Wilhelm *Barthlott*, Botanisches Institut und Botanischer Garten, Universität Bonn

Professor Dr. Eckhard *Ehlers*, Geographisches Institut, Universität Bonn

Professor Dr. Jörg U. *Ganzhorn*, Zoologisches Institut, Universität Hamburg

Dr. Mathias *Gutmann*, Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Professor Dr. Gotthilf *Hempel*, Zentrum für Marine Tropenökologie Bremen

Professor Dr. Peter *Janich*, Institut für Philosophie, Universität Marburg

Professor Dr. Norbert *Jürgens*, Botanisches Institut, Universität Köln

Professor Dr. Manfred *Küppers*, Institut für Botanik und Botanischer Garten, Universität Hohenheim

Professor Dr. K.-Eduard *Linsenmair*, Institut für Biowissenschaften, Universität Würzburg

Professor Dr. Clas M. *Naumann*, Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig Bonn

Professor Dr. Karl-Otto *Rothhaupt*, Limnologisches Institut, Universität Konstanz

Professor Dr. Klaus Peter *Sauer*, Institut für Evolutionsbiologie und Ökologie, Universität Bonn

Professor Dr. Horst Kurt *Schminke*, Fachbereich Biologie, Universität Oldenburg

Professor Dr. Erko *Stackebrandt*, Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, Braunschweig

Professor Dr. Fritz F. *Steininger*, Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft, Frankfurt a. M.

Professor Dr. Johann Wolfgang *Wägele*, Lehrstuhl für Spezielle Zoologie, Universität Bochum





