



## Das Ende der Biodiversität?

Grundlagen zum Verständnis der Artenvielfalt und seiner Bedeutung  
und der Maßnahmen, dem Artensterben entgegen zu wirken

5. Franz-Ruttner-Symposion

---

## Laufener Seminarbeiträge 2/02



Limnologische Forschungsstation Seon

**ANL** Bayerische Akademie  
für Naturschutz und  
Landschaftspflege

**Zum Titelbild:**

Das Titelbild symbolisiert den Planeten Erde mit seiner Vielfalt an Pflanzen und Tieren und die besondere Stellung des Menschen. Als Homo sapiens ist es ihm gelungen, sich von zahlreichen lebenserschwerenden Zwängen der Natur zu befreien und sich eine eigene kostenintensive Welt zu schaffen. In wenigen hundert Jahren ist der Mensch vom physiologisch unbedeutenden Konsumenten zu einem globalen Manipulator geworden, durch welchen die Vielfalt des Lebens in erschreckendem Maße vermindert wird. Diese Entwicklung gefährdet die Erhaltung der uns seit Millionen von Jahren kostenlos zur Verfügung stehenden lebensfreundlichen Eigenschaften der natürlichen Umwelt.

(Titelbildmontage: H. O. Siebeck)

**Die Veranstaltung und vorliegende Broschüre wurden mit Mitteln der Europäischen Union gefördert.**

**Laufener Seminarbeiträge 2/02**

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

ISSN 0175 - 0852

ISBN 3-931175-67-7

---

Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege ist eine dem Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen angehörende Einrichtung.

---

Die mit dem Verfassernamen gekennzeichneten Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung der Herausgeber wieder. Die Verfasser sind verantwortlich für die Richtigkeit der in ihren Beiträgen mitgeteilten Tatbestände.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der AutorInnen oder der Herausgeber unzulässig.

Schriftleitung: Dr. Notker Mallach (ANL, Ref. 12) in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Otto Siebeck

Satz: Christina Brüderl (ANL)

Farbseiten: Fa. Hans Bleicher, 83410 Laufen

Redaktionelle Betreuung: Dr. Notker Mallach (ANL)

Druck und Bindung: Lippl Druckservice, 84529 Tittmoning

Druck auf Recyclingpapier (100% Altpapier)

# **Das Ende der Biodiversität?**

**Grundlagen zum Verständnis der Artenvielfalt und seiner Bedeutung  
und der Maßnahmen, dem Artensterben entgegen zu wirken**

**5. Franz-Ruttner-Symposion**

12.-13. Oktober 2000  
in Rosenheim

Veranstalter:

Gesellschaft der  
Freunde und Förderer der  
Limnologischen Forschungsstation Seeon  
der Ludwig-Maximilians-Universität  
München e.V. (GFL)  
in Zusammenarbeit mit der  
Bayerischen Akademie für  
Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Tagungsleitung:

Prof. Dr. Otto Siebeck,  
Limnologische Forschungsstation Seeon  
des Zoologischen Instituts  
der LM-Universität München  
und  
Dr. Christian Stettmer, Dipl.-Biol. (ANL)

---

Herausgeber:

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)  
D-83406 Laufen/Salzach, Postfach 1261  
Telefon (08682) 8963-0, Telefax (08682) 8963-17 (Verwaltung) und 8963-16 (Fachbereiche)  
E-mail: [poststelle@anl.bayern.de](mailto:poststelle@anl.bayern.de)  
Internet: <http://www.anl.de>

2002

---

Programm des Symposions		4
Begrüßung	Christian STETTNER	5-6
Einführung: Globale Umweltgefährdung und dramatischer Rückgang der Artenvielfalt rütteln die Menschen auf – aus den Anfängen des Naturschutzes entsteht ein weltweites Aktionsprogramm zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung	Hans Otto SIEBECK	7-28
Die Evolution der Vielfalt	Volker STORCH	29-44
Die ökosystemare Bedeutung der Biodiversität	Karl Eduard LINSENMAIR	45-62
Räumliche und zeitliche Muster der Diversität von Pflanzen	Stefan POREMBSKI	63-72
Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt	Stefan BAUMGÄRTNER	73-90
Bionik – Was ist das?	Werner NACHTIGALL*	91-97
Chemische, biologische und bionische Prospektion: Neue Wege zum Schutz biologischer Vielfalt	Werner NADER	99-117
Ohne die Erhaltung der Biodiversität keine erneuerbaren Ressourcen!	Clas NAUMANN*	119-123
Warum soll Biodiversität geschützt werden? Das Problem der Bewertung der Biodiversität aus umweltethischer Sicht	Kurt JAX	125-133
Biodiversität braucht Platz!	Stefan HALLE	135-143
Landnutzung und Biodiversität – Beispiele aus Mitteleuropa	Jörg PFADENHAUER	145-159
Was will der Naturschutz und was sind die Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege?	Wolfgang SCHUMACHER	161-166
Auf dem Weg zu einem Biotopverbund Untersuchungen – Fakten – Probleme – Empfehlungen	Hans Otto SIEBECK	167-202
Anhang: Angaben zum wissenschaftlichen Werdegang der Autoren		203-209
Publikationsliste		211-214

---

\* Die auf dem Symposium gehaltenen Vorträge wurden in der Publikation durch die Beiträge der Herren Professoren Dr. W. Nachtigall und Dr. Clas Naumann in dankenswerter Weise ergänzt.

## Programm des Symposions

Referenten	Referate
<b>Donnerstag, 12. Oktober 2000</b>	
Dr. Christian Stettmer, ANL	Begrüßung
Prof. em. Dr. Otto Siebeck, Limnologische Forschungsstation der LMU München, Seeon	Einführung in das Symposion
Prof. Dr. Volker Storch, Institut für Zoologie, Universität Heidelberg	Die Evolution der Vielfalt
Prof. Dr. Karl-Eduard Linsenmair, Institut für Biowissenschaften, Universität Würzburg	Die ökosystemare Bedeutung der Biodiversität
Prof. Dr. Stefan Porembski, Institut für Allgemeine und spezielle Botanik, Universität Rostock	Räumliche und zeitliche Muster der Biodiversität von Pflanzen
Prof. Dr. Stefan Halle, Institut für Ökologie, Universität Jena	Biodiversität braucht Platz
Prof. Dr. Konrad Ott, Botanisches Institut und Botanischer Garten, Universität Greifswald	Das Problem der Bewertung der Biodiversität aus umweltethischer Sicht
Dr. Stefan Baumgärtner, Alfred-Weber-Institut für Sozial- und Staatswissenschaft, Heidelberg	Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt
<b>Freitag, 13. Oktober 2000</b>	
Prof. Dr. Bernhard Hill, Institut für Technik und ihre Didaktik, Universität Münster	Biodiversität als Inspirations- und Innovationsquelle für die Technik <i>(Das Referat konnte leider nicht gehalten werden)</i>
Dr. Werner Nader, Hanse Analytik/BioInside, Freiburg i. Breisgau	Chemische und genetische Prospektion – Neue Wege zur Erhaltung der genetischen Vielfalt
Dr. Wolfgang Büchs, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig	Entwicklung und Bewertung faunistischer Biodiversität landwirtschaftlicher Nutzflächen – Probleme, Perspektiven
Prof. Dr. Wolfgang Schumacher, Ministerium für Umwelt, Raumplanung und Landwirtschaft (MURL), Düsseldorf	Erhaltung der Biodiversität in Mitteleuropa als Aufgabe der Land- und Forstwirtschaft? Erfolge, Defizite und Perspektiven
Prof. Dr. Jörg Pfadenhauer, Institut für Vegetationsökologie, Technische Universität, München	Landnutzung und Biodiversität – Beispiele aus Mitteleuropa
Dr. Günter Wiest, Bayerisches Staatsministerium für Landes- entwicklung und Umweltfragen, München	Rechtliche Grundlagen des europäischen und bayerischen Biotopverbundes
Prof. em. Dr. Otto Siebeck	Biotopverbund zwischen den Naturschutzgebieten Seeoner Seen und Eggstätter-Hemhofer Seenplatte: Fakten und Chancen

## Begrüßung zum 5. Franz-Ruttner-Symposium

Christian STETTMER

Meine sehr verehrten Damen und Herren,  
Sehr geehrter Herr Professor Siebeck,  
ich begrüße Sie ganz herzlich hier in Rosenheim zum 5. Franz-Ruttner-Symposium. Diese spezielle Veranstaltungsreihe, die von der „Gesellschaft der Freunde und Förderer der Limnologischen Forschungsstation Seeon der Ludwigs-Maximilians-Universität München e.V.“ und der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege gemeinsam gestaltet wird, hat inzwischen schon eine vierzehnjährige Tradition. Der Name Franz Ruttner steht für einen international herausragenden österreichischen Limnologen, der über mehrere Jahrzehnte die Entwicklung und Geschichte der Limnologie maßgeblich mitgeprägt hat. Dementsprechend haben sich die vier vorangegangenen Franz-Ruttner-Symposien mit limnologischen Themen befasst. Wir brechen nun beim 5. Ruttner-Symposium mit dieser Tradition und wenden uns einem Feld zu, das uns in ganz besonderem Maße bewegt und uns veranlasste, einen thematischen Richtungswechsel einzuschlagen.

Ich werde von Ihnen wohl kaum als „Cassandra-Rufer“ abgestempelt, wenn ich sage, dass wir kurz nach der Jahrtausendwende an der Schwelle zum wahrscheinlich umfassendsten Artensterben auf diesem Planeten stehen. Nicht wie während der letzten Massensterben zu Ende des Paläozoikums und Mesozoikums als Folge unabwendbarer Naturkatastrophen, sondern diesmal durch und durch selbstverschuldet, eine Folge: „Anthropogener Einflüsse“ eben.

### Globale Aspekte

Lassen Sie mich ein Beispiel nennen: Die Nettoprimärproduktion unseres Planeten liegt bei ungefähr 225 Milliarden Tonnen organischer Substanz/p.a., davon werden etwa 60% an Land produziert. Der Mensch verbraucht davon direkt als Nahrung, Tierfutter, Holz etwa 4% der terrestrischen Nettoprimärproduktion. Indirekt verbraucht er allerdings durch Brandrodung, Energieverluste bei Tierhaltung, Ernteverluste sowie durch Produktionsverluste bei der Umwandlung produktiver in weniger produktive Flächen (Wälder in Landwirtschaftsflächen, Grasland in Wüsten, Sümpfe in Parkplätze) fast 40 Prozent der terrestrischen Nettoprimärproduktion.

Eine Art beansprucht damit beinahe zwei Fünftel der jährlichen terrestrischen Nettoprimärproduktion. Viele Demographen gehen davon aus, dass sich die Weltbevölkerung – sehr vorsichtig geschätzt – in den

nächsten hundert Jahren mehr als verdoppeln wird. Damit würde der Konsumanteil an der Nettoprimärproduktion einen Wert von 80% erreichen. Die Auswirkungen dieser beispiellosen Expansion einer einzigen Art sind dementsprechend katastrophal.

### Warum ist es so wichtig, die biologische Vielfalt zu erhalten?

Die biologische Vielfalt ist Bestandteil unserer natürlichen Lebensgrundlagen. Es steht außer Zweifel, dass wir uns bereits in einem Wettlauf befinden, einem Wettlauf mit der Zeit, mit dem Ziel der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Dieser Wettlauf findet vor allem in den tropischen Regionen statt, aber auch in unseren gemäßigten Breiten. Rote Listen und Austerberatern zeigen klar den Stand dieses Rennens. Ich habe leider den Eindruck, dass der Personenkreis, der sich aktiv in dem Ringen um den Erhalt von Lebensräumen und Arten beteiligt, aus einer Handvoll Wissenschaftler, sowie hauptberuflicher und ehrenamtlicher Naturschützer rekrutiert.

### Europäische Aspekte

Die Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen, die 1992 in Rio de Janeiro stattfand, hat den Schutz der biologischen Vielfalt als weltweit wichtiges Ziel für das 21. Jahrhundert formuliert. Mit der Richtlinie 92/43/EWG des Rates über die Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen – der FFH-Richtlinie – soll ebenfalls diesem Ziel entsprochen werden. Durch den Aufbau eines europäischen Biotopverbundnetzes „Natura 2000“ soll der Schutz und Erhalt der biologischen Vielfalt in repräsentativen Lebensräumen gewährleistet werden. Die sehr kontrovers geführte Diskussion um die FFH-Richtlinie und die in Bayern über 20.000 Einwendungen gegen die geplanten Schutzgebietsausweisungen machen deutlich, wie wenig die Notwendigkeit solcher Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt in der Bevölkerung gesehen wird.

Biodiversität zeigt sich in biologischen Systemen auf allen Hierarchieebenen, vom Molekül bis hin zu Ökosystemen. Gerade in den letzten Jahrzehnten hat die Forschung eine ungeheure Fülle von Erkenntnissen in den einzelnen Teildisziplinen wie z. B. Genetik, Systematik, Evolutionsbiologie hervorgebracht. Ist man an diesem Forschungszweig nicht unmittelbar beteiligt, fällt es oft schwer, den Überblick über

den derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu behalten. Wir wollen mit diesem, wie auch den vorhergegangenen Ruttner-Symposien das aktuelle Wissen synoptisch bündeln. Es freut mich ganz besonders, dass es Herrn Prof. Siebeck gelungen ist, so viele namhafte Experten als Referenten für dieses Symposium zu gewinnen. Diese Gelegenheit werden wir zu einem intensiven Meinungs- und Erfahrungsaustausch nutzen und die Ergebnisse dieses Sympo-

sions darüberhinaus durch eine Publikation einem breiteren Interessentenkreis zur Verfügung stellen.

Ich freue mich, diese hochkarätig besetzte Tagung eröffnen zu dürfen und bin mir sicher, dass wir auch mit dieser Tagung die sicherlich hoch gesteckten Erwartungen erfüllen können. Ich wünsche Ihnen, Herr Prof. Siebeck, den Referenten und Teilnehmern eine interessante und informative Tagung mit angeregten, konstruktiven und kritischen Diskussionen.

# Globale Umweltgefährdung und dramatischer Rückgang der Artenvielfalt rütteln die Menschheit auf – aus den Anfängen des Naturschutzes entsteht ein weltweites Aktionsprogramm zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung der Biosphäre

## eine Einführung in das 5. Franz-Ruttner-Symposium

Otto SIEBECK

### 1. Ist der Mensch eine Naturkatastrophe?

Über viele Tausende von Jahren war der Mensch ein physiologisch unbedeutender Konsument und die Schäden, die er als solcher in seiner Umwelt angerichtet hat, waren vernachlässigbar gering, zumal sie sich ohne sein Zutun wieder reparierten. Mit der „Bevölkerungsexplosion“ (10.000 vor Christo: 10 Millionen, 5.000 v. Christo: 5.000 Millionen, um die Zeitenwende: 250 Millionen, 1650: 500 Millionen, 1850: eine Milliarde, 1930: zwei Milliarden, 1980: 4 Milliarden, 2000: über sechs Milliarden; PATZIG 1995) und der kulturellen Evolution haben sich die Zerstörungen jedoch vervielfacht.

Im Verlaufe der letzten Jahrzehnte ist der Mensch bereits zu einem globalen Manipulator geworden, der die externen Energie- und Materieflüsse für seine Zivilisation und für die Expansion seiner Dominanz gegenüber allen anderen Lebewesen ausnutzt (STUMM 1978, NISBET 1991). In den Entwicklungsländern entstehen die Schäden fast nur, um das Überleben der ohne effektive Geburtenkontrolle rasch anwachsenden Bevölkerung zu sichern. In den reichen Industrieländern geht es längst nicht mehr um das nackte Überleben, sondern vor allem um einen hohen Lebensstandard zu erreichen und zu bewahren, in welchem das Konsumverhalten und die Genußsucht eine erhebliche Rolle spielen.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der kulturellen Evolution war die wachsende Befreiung des Menschen von den Zwängen der Natur, mit anderen Worten, seine zunehmende Unabhängigkeit, die ihm einen immer größeren Freiraum für sein Handeln geschaffen hat (MARKL 1986).

Es besteht kein Zweifel, dass die sich daraus ergebenden Fortschritte in der Medizin, Technik, Pflanzen-, Tierzucht, Gentechnologie u. a. die Lebensverhältnisse jedes Einzelnen in vielerlei Hinsicht gewaltig verbessert haben und dass sich aus jedem einzelnen Fortschritt weitere mögliche Fortschritte abzeichnen. Ebenso sicher ist, dass der menschliche

Geist stets alles daran setzen wird, jeden als realisierbar eingeschätzten Fortschritt früher oder später auch zu verwirklichen. Und wie er sich einst den Einsatz des Feuers zunutze gemacht und die Risiken in Kauf genommen hat, wird er auch alle Vorteile nutzen, die sich gegenwärtig aus den Naturwissenschaften und der Medizin ergeben, z. B. aus der Erforschung der Eigenschaften von Stammzellen, aus der Gentechnik und der Gentherapie.

Das Ausbeuten der Güter dieser Erde im Kleinen wie im Großen und das Verdrängen fast aller Mitgeschöpfe des Menschen zeigen aber, dass er sich trotz der besonderen Fähigkeiten, die ihn von allen anderen Lebewesen unterscheidet, in einer grundlegenden Eigenschaft nicht von diesen entfernt hat. So schreibt MOHR (1995): Der Mensch „verhält sich wie andere Arten: Seit der moderne *Homo sapiens* auf diesem Planeten existiert, greift er brutal in die Ordnung der Natur ein, vernichtet andere Arten, zerstört die Vielfalt und Schönheit der Schöpfung – um für sich Platz zu schaffen. Dies gehört zum rauhen Alltagsgeschehen der biologischen Evolution und ist deshalb natürlich. Aber zweifellos ging es der Schöpfung ohne den Menschen viel besser: In diesem Sinne ist der Mensch eine Naturkatastrophe“.

### 2. Wachsende Unabhängigkeit von der Natur wird dennoch niemals zur Naturbeherrschung führen

Die Fortschritte in der kulturellen Evolution des Menschen haben ihn überheblich gemacht. Die Natur zu beherrschen, sie durch Kultur weiter zu entwickeln und zu vollenden, erscheinen ihm als der natürliche Auftrag. Naturkatastrophen berühren nur diejenigen nachhaltig, die unmittelbar davon betroffen waren. Diese Einstellung erfährt in unserer Zeit allmählich eine durchgreifende Änderung. Wir sehen, dass die Güter der Natur nicht unbegrenzt sind, dass die Natur nicht jeden Eingriff erträgt und dass wir in völliger Verkennung der Lage schon längst damit begonnen haben, unsere sich kostenlos erhalten-

de lebensfreundliche Umwelt zu schädigen und damit die nachfolgenden Generationen in Gefahr zu bringen.

Ähnlich wie wir es von Medikamenten hinsichtlich ihrer erwünschten, aber auch ihrer möglichen Nebenwirkungen wissen, hat jeder Fortschritt, der mit einem Eingriff in die Umwelt des Menschen verbunden ist, negative Nebenwirkungen. Sie sind nicht immer sofort, sondern oft erst mehr oder weniger spät nach erfolgtem Eingriff erkennbar (Langzeitschäden). Im ersten Fall sind Ursache und Wirkung meist leicht nachzuweisen, ganz besonders, wenn eine mono-kausale Schädigung vorliegt (Beispiel: November 1986 Sandoz-Unfall: Rheinvergiftung!). In Frage kommende Gegenmaßnahmen bieten sich dann sofort an. Bei Langzeitschäden kommen meist mehrere Schädigungen zusammen (Beispiel: „Waldsterben“ Ende der 70er Jahre; KOCH 1993), die oft erst nach jahrzehntelanger Forschung erkannt werden.

Die Summe der negativen Nebenwirkungen, die durch die kulturelle Evolution des Menschen auf seine belebte und unbelebte Umwelt entstanden ist, setzt sich meist aus unzähligen Kurz- und Langzeitschäden zusammen. Durch Wechselwirkungen untereinander können diese prinzipiell verstärkend oder abschwächend wirken und frühzeitig oder verzögert erkennbar werden. Ihre Analyse und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen werden daher häufig erschwert und so ist es nicht ohne weiteres möglich, unter den in Frage kommenden Gegenmaßnahmen Prioritäten zu setzen. Hinzu kommt, dass Gegenmaßnahmen nicht unbedingt schnell wirksam sind. Diese Ausgangslage behindert rasches Handeln.

### **3. Zunahme der Umweltschäden mit dem wirtschaftlichen Fortschritt**

Es ist kein Wunder, dass mit den wirtschaftlichen Fortschritten im vergangenen Jahrhundert, insbesondere in seiner 2. Hälfte, auch die Zahl der Umweltschäden rasant zugenommen hat (NISBET 1994). Luft- und Gewässerverschmutzungen, die zunächst nur zu lokalen Beeinträchtigungen der Gesundheit oder anderen Schädigungen geführt haben, sind durch erfolgreiche Gegenmaßnahmen inzwischen eher in den Hintergrund geraten, während Einflüsse auf das globale Klima – wie die Verstärkung des Treibhauseffektes infolge Zunahme der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration, insbesondere durch die ungehemmte Verbrennung fossiler Brennstoffe und durch Waldrodungen – im Brennpunkt der öffentlichen Diskussion stehen (Spektrum der Wissenschaft 1990). Zu den „heißen“ Themen gehört auch die Zunahme der Fluorkohlenwasserstoffe in der Stratosphäre, die den Ozon-Schutzschild der Erde vor den gefährlichen UV-B-Strahlen der Sonne zerstören (FABIAN 1992). Wasserverschmutzungen schränken die Verfügbarkeit von gesundem Trinkwasser ein, z.B. durch Schwermetalle, Pestizide

(DFG 1992) und Medikamente, und durch Bodendegradation und Ausschwemmungen wächst der Verlust an fruchtbaren Böden weltweit immer schneller (RIPL 1995). Infolge der Expansion der Wohn- und Gewerbegebiete schwinden Natur- und Kulturlandschaft, der Rest erfährt durch den Ausbau der Infrastruktur eine schleichende ökologische Entwertung.

Diese Entwicklung geht zu Lasten fast aller Mitgeschöpfe des Menschen! Verschont bleiben diejenigen, die als Nutzpflanzen und Nutztiere ausgewählt worden sind. Von den ca. 500.000 Pflanzenarten der Erde hat der Mensch im Laufe seiner Geschichte weniger als 0,1 % für seine Zwecke gefördert. Etwa 150 Arten wurden oder werden noch kommerziell angebaut und dies unerbittlich zu Lasten aller übrigen. Weniger als 20 Arten liefern fast die gesamte Nahrung für Mensch und Nutztier. An der Hauptbiomasse sind sogar nur 3-4 Arten beteiligt: Weizen, Reis, Mais und Kartoffel. Und fast das gesamte Fleischangebot stammt von weniger als 10 Arten (MARKL 1986).

Das „Jahrhundert der Ökonomie“ (VON WEIZSÄCKER 1989) welches bis in unsere Zeit reicht, ist auch das Jahrhundert der zunehmenden Gefährdung unserer Umwelt mit fast allen unseren Mitbewohnern: den Pflanzen und Tieren. Von den Fortschritten profitiert in den reichen Industrieländern fast jeder Mensch, zumal wirtschaftliche Prosperität auch die Möglichkeiten geschaffen hat, unmittelbar erkennbare oder durch wissenschaftliche Untersuchungen nachweisbare Schäden in der Umwelt zu reparieren. Von den nachteiligen, nicht mehr kurzfristig zu reparierenden globalen Folgen erfährt er aber nur aus der Zeitung. Sie sind für ihn (noch) nicht ohne weiteres erkennbar. Er sieht sie nicht und er fühlt sie nicht.

Diese Situation ist für den *Homo sapiens* eine völlig neue. Sie kann nicht durch seine physische Anpassungsfähigkeit gemeistert werden, sondern nur über seinen Intellekt: durch Vorausschau und Vorsorge, aber auch durch die Bereitschaft, auf Gewohntes zu verzichten, wenn über zu erwartende Schäden kein Zweifel besteht. Obgleich es in jeder Gesellschaft eine gebildete Minderheit gibt, die sich durch Lesen, Hören und Sehen auf dem Laufenden hält und bereit ist, sich auf Einschränkungen einzustellen, bedeutet dies noch lange nicht, dass sich die Mehrheit ebenso verhält. Abgesehen davon ist auch ein beträchtlicher Anteil der gebildeten Minderheit zu keinen Einschränkungen bereit, wenn der bisherige wirtschaftliche Profit nicht bewahrt werden kann. Abgesehen davon, gibt es hinsichtlich des Ausmaßes zu erwartender Schäden nicht gerade selten unter den Experten voneinander abweichende Prognosen (RÖCK 1998), darunter auch solche, die sich schlicht als falsch erwiesen haben. Dies alles trägt nicht gerade dazu bei, notwendiges Handeln zu beschleunigen.

#### 4. Anfänge einer Umkehr im Denken und Handeln

An einer düsteren Prognose käme man kaum vorbei, wenn es nicht auch ermutigende Entwicklungen gäbe. Begonnen haben diese mit dem erfolgreich durchgesetzten Anliegen einer Minderheit, die Natur zu schützen. Den Anfang machte das gebildete Bürgertum des 19. Jahrhunderts. Mit der Gründung des ersten Nationalparks, des Yellowstone-Nationalparks, im Jahre 1872, der als „öffentlicher Park zum Nutzen und zur Erbauung des Volkes“ (KNAPP 2000) geschaffen worden ist, wurde eine weltweite Bewegung zur Gründung von Nationalparks eingeleitet. Die Schönheit der Landschaft mit ihrer Vegetation und die dort lebenden Tiere, vor allem die größeren Wirbeltiere: Säuger, Vögel und Reptilien, waren der Hauptbeweggrund. Viele Pflanzen, wie die Orchideen und Tiere, wie der Braunbär und der Biber, waren und sind immer noch populär. Sie bestärkten das Bestreben, sie besonders zu schützen.

Naturschutz entwickelte sich somit nicht auf der Grundlage ökologischer oder ökonomischer Überlegungen, sondern aus ideeller Motivation heraus, einer Eigenschaft, zu welcher nur der *Homo sapiens* fähig ist. Nur er ist in der Lage, sich Gedanken zu machen über seine Mitgeschöpfe und ihre Entwicklung. Nur er ist in der Lage, diese Themen interessant zu finden, Geheimnisse verstehen zu wollen, bei Pflanzen und Tieren Schönes zu entdecken, die Landschaft, in der er aufgewachsen ist, als Heimat zu erleben, um damit auch für die Schönheit anderer Landschaften empfänglich zu werden und sich von der unerschöpflichen Vielfalt der Lebensformen im Kleinen wie im Großen faszinieren zu lassen. (Auf der anderen Seite duldet er jedoch durch Wegschauen Massentierhaltungen, die in ihrer Tierquälerei weit über das hinausgehen, was aus ethischen und/oder religiösen Gründen vertretbar ist.)

Naturschutz schließt gegenwärtig den Arten- und Landschaftsschutz ein, weil Artenschutz, nach den Fortschritten der Ökologie in den letzten Jahrzehnten untrennbar mit Biotopschutz verknüpft ist. Die Anliegen des Naturschutzes wurden im Laufe der Zeit immer mehr von den Bestrebungen des Umweltschutzes unterstützt, obgleich Letzterer vor allem die Beeinträchtigungen des Menschen im Visier hat. Da sein Schutz auf Dauer aber nicht vom Schutz von Pflanzen und Tieren getrennt werden kann, sind schon von Anfang an Überschneidungen im Sinne gleicher oder ähnlicher Zielrichtungen wie beim Naturschutz vorhanden.

Aus Tabelle 1 ergibt sich, wie sich die unterschiedlichen Bestrebungen zum Schutz der Natur und des Menschen im Laufe der Jahre zu einem ganzheitlichen Programm entwickelt haben. So wurde der Artenschutz durch den Biotopschutz erweitert. Mit der Gründung des UNESCO-Programms „*Man and Biosphere*“ (MAB) im Jahre 1970 wurde der Mensch mit

seinen Aktivitäten und deren Folgen für die Umwelt mehr als jemals zuvor in die Forschung einbezogen und mit der Herausgabe des ersten *Red Data Book* durch die Welt-Naturschutzunion (IUCN) wurde der Grundstein für ein weltweites, wissenschaftlich fundiertes Überwachungsprogramm gelegt.

KNAPP (2000) bezeichnet diese jüngere Entwicklungsphase des Naturschutzes als die „Konsolidierungsphase“ des Naturschutzes (1970-1990). In diese Zeit fällt auch die Entwicklung des Umweltschutzes. Im Vordergrund steht in diesem Bereich die Festlegung von Grenzwerten zur Vermeidung gesundheitlicher Schäden bzw. der Belastbarkeit der Umwelt. Mit der Verabschiedung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) im Jahre 1985 wird erstmals (!) der Vorsorge jener Rang eingeräumt, der zur Vermeidung von Schäden unerlässlich ist. Zuvor dominierte eher die Bereitschaft, Schäden in Kauf zu nehmen, um sie dann, wenn nötig, zu reparieren, wobei die Eliminierung der Symptome oft eine größere Rolle gespielt hat als die Verhinderung der Ursachen.

#### 5. Es wächst zusammen, was zusammen gehört – die Synthese durch die Konferenz von Rio de Janeiro

Etwa ab 1990 wird die „Konsolidierungsphase“ von der bis in die Gegenwart reichenden „Emanzipationsphase“ des Naturschutzes abgelöst. In dieser tritt die globale Verantwortung des Menschen zum Schutz der Biosphäre in den Vordergrund. Sie nimmt ihren Anfang mit der „Mission for the 1990s“ des WWF. Es folgen die Einberufung der ersten Europäischen Umweltministerkonferenz auf Initiative des Europarates, das LIFE-Programm der Europäischen Union und die Veröffentlichung der „Strategie für ein Leben im Einklang mit Natur und Umwelt – Unsere Verantwortung für die Erde“ durch IUCN, UNEP und WWF.

Der vorläufige Höhepunkt dieser Entwicklung wird in der 2. Internationalen Umweltkonferenz der Vereinten Nationen (*United Nations Conference on Environment and Development UNCED*) in Rio de Janeiro im Jahre 1992 erreicht, zu welcher der Brundlandt-Report (1987) den Anstoß gegeben hatte (HABER 1995). Bei dieser bisher größten Gipfelkonferenz waren 179 Länder vertreten. Neben zwei internationalen Abkommen und zwei Grundsatzserklärungen (1. Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen: Reduktion von Treibhausgasen, 2. Konvention zur Erhaltung der Artenvielfalt, 3. Erklärung von Rio über Umwelt und Entwicklung, 4. Walddeklaration: Richtlinien für die Bewirtschaftung, Erhaltung und nachhaltige Entwicklung aller Arten von Wäldern, die für eine wirtschaftliche Entwicklung und die Erhaltung aller Lebensformen von wesentlicher Bedeutung sind) wurde unter dem Namen Agenda 21 ein umfassender Maßnahmenkatalog vorgelegt.

**Tabelle 1**

**Zur Geschichte des Naturschutzes** (in Anlehnung an KNAPP 2000, erweitert und durch einige Meilensteine aus Bayern ergänzt)

**1. Anlaufphase: Ende des 19. Jahrhunderts bis Ende des 2. Weltkrieges 1945**

1872	<b>Gründung des Yellowstone-Nationalparks</b>
1895	1. Internationale Konferenz für Vogelschutz in Paris
1909	Erste Nationalparks in Schweden, bis 1939 weltweit insgesamt 300 Nationalparks
1913	1. Internationaler Ornithologenkongress in Bern
1922	Gründung des Internationalen Rates für Vogelschutz (ICBP) in Paris
1923	<b>1. Internationaler Kongress für Naturschutz in Paris</b>
1928	Gründung des Internationalen Büros für Naturschutz in Brüssel
1933	Verabschiedung der „ <b>Londoner Konvention zum Schutz der Flora und Fauna in ihrem natürlichen Zustand</b> “
1935	Reichsnaturschutzgesetz: Ideeller Naturschutz, Förderung des Heimatgefühls
1942	Verabschiedung der „Panamerikanischen Konvention zum Schutz der Natur und Erhaltung der wild lebenden Tierwelt in der westlichen Hemisphäre“ Washington

**2. Institutionalierungsphase: Ende des 2. Weltkrieges (1945) bis 1970**

1946	Internationales Übereinkommen zur Regulierung des Walfangs
1947	Gründung des Internationalen Büros für Wasservogelforschung (IWRB)
1948	Gründung der Welt-Naturschutzunion (IUPN ab 1956 IUCN) in Fontainebleau/Frankreich
1949	Internationale Fachkonferenz zum Schutz der Natur von UNESCO und IUPN
1950	Gründung der Artenschutzkommission in Brüssel auf der IUPN Generalversammlung. Gründung des „ <b>Deutscher Naturschutzring (DNR)</b> “
1960	Generalversammlung der IUCN beginnt Arbeit an Listen gefährdeter Pflanzen- und Tierarten ( <i>Red Data Books</i> )
1961	Gründung des <b>World Wide Fund for Nature (WWF)</b> in der Schweiz. Auf der Insel Mainau wird die <i>Grüne Charta von der Mainau</i> beschlossen.
1964	Europarat schafft „Eurodiplom“ als Prädikat zur Auszeichnung von Schutzgebieten
1966	1. Herausgabe der <b>Red Data Books</b> (Säugetiere und Vögel)
1967	Internationales Symposium der IUCN über Landschaftsschutzgebiete
1968	UNESCO-Konferenz über die wissenschaftlichen Grundlagen einer rationalen Nutzung und Erhaltung der Biosphäre

**3. Konsolidierungsphase: 1970 bis 1990**

1970	Gründung des UNESCO-Programmes „ <b>Der Mensch und die Biosphäre</b> “ (MAB). 1. <i>Red Data Book</i> über gefährdete und seltene Pflanzen. <b>Gründung des Bayerischen Staatsministeriums für Naturschutz und Umweltfragen</b>
1971	Ramsar-Konvention. Gründung des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz LfU
1972	Verabschiedung der UNESCO-Konvention zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt ( <b>World Heritage Convention</b> )
1973	Verabschiedung des „Übereinkommens über den internationalen Handel mit gefährdeten Arten freilebender Tiere und Pflanzen“: Washingtoner Artenschutzabkommen
1974	In Bayern beginnt unter der Leitung von Prof. Dr. W. Haber (Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Weihenstephan) die <b>Artenschutzkartierung</b> . Sie wird später durch die Biotopschutzkartierung erweitert und von der ABSP-Gruppe des BayLfU als <b>Arten- und Biotopschutzkartierung</b> fortlaufend weiter geführt
1975	Gründung des „ <b>Bund für Natur- und Umweltschutz Deutschlands</b> “: BUND
1976	Bundesnaturschutzgesetz: Landschaftsplanung und -pflege kommen hinzu
1979	Erlass der EG-Vogelschutz-Richtlinie in Ländern der Europäischen Gemeinschaft durch den Rat der EWG, Bonner Konvention zum Schutz wandernder Tierarten
1980	In der „World Conservation Strategy“ der Internationalen Naturschutzunion (IUCN) wird erstmals der Begriff „ <b>sustainable development</b> “ verwendet
1983	1. Internationaler Biosphärenreservat-Kongress der UNESCO in Minsk
1984	1. Internationale Nordsee-Schutzkonferenz. Der Umweltschutz wird in die Bayerische Verfassung aufgenommen
1985	1. CORINE-Biotoperhebung der EU
1986	Organisation des „ <b>National Forum on BioDiversity</b> “ in Washington. Publikation der Ergebnisse von Edward O. WILSON (Hrsg.) unter dem Titel „Biodiversity“ (1988)
1987	Gründung der „Stiftung Europäisches Naturerbe“ ( <i>Euronatur</i> ). Gesamtnovellierung des Artenschutzes. Brundtland-Report: Our Common future, Oxford, übersetzt von Volker HAUFF (Hrsg.): „ <b>Unsere gemeinsame Zukunft - Für ein Klima des Wandels</b> “
1988	IUCN, UNEP und WWF gründen das <b>World Conservation Monitoring Centre WCMC</b>

**Tabelle 1 (Fortsetzung)**

4. Emanzipationsphase ab 1990

1990	WWF veröffentlicht seine „Mission for the 1990s“- in allen Ländern starke Zunahme von Nationalpark- und Schutzgebietsausweisungen. 1. Europäische Umweltministerkonferenz auf Initiative des Europarates
1991	LIFE-Programm der EU zur Finanzierung von Projekten, die im Rahmen der geplanten Natura 2000 zu realisieren sind. Verabschiedung des Fledermausabkommens (Bonner Konvention) und der Alpenkonvention. IUCN, UNEP und WWF veröffentlichen die „ <b>Strategie für ein Leben im Einklang mit Natur und Umwelt - Unsere Verantwortung für die Erde</b> “
1992	<b>Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro. Verabschiedung der Konvention zur Biologischen Vielfalt</b> , der Klimakonvention, Rio-Deklaration, Walderklärung und <b>Agenda 21</b> . Die EU erlässt die <b>Flora-Fauna-Habitat (FFH)-Richtlinie</b> und das <b>Schutzgebietsprogramm Natura 2000</b> . Ein Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen ( <b>WBGU</b> ) wird etabliert. EU-Agrarreform und Agenda 2000
1993	Bildung der Kommission für nachhaltige Entwicklung (CSD) zur Umsetzung der Agenda 21. 1. Sitzung des „ <b>Global Biodiversity Forum</b> “ zur Förderung der Anliegen der Biodiversitätskonvention. Tropenwaldkonvention der Deutschen Bundesregierung
1994	Die 12. IUCN-Generalversammlung in Buenos Aires verabschiedet neue Management-Kategorien für Schutzgebiete. <b>1. Vertragsstaatenkonferenz zum Übereinkommen über die biologische Vielfalt</b> . Internationales Tropenholzübereinkommen. Herausgabe der Leitlinien für das Leader II - Programm durch die EU, Laufzeit: 1994-1999
1995	Sevilla-Strategie und Internationale Leitlinien für das Weltnetz der Biosphärenreservate. 5. Europäische Umweltministerkonferenz in Sofia beschließt das Programm „Umwelt für Europa“. In seiner Regierungserklärung „Umweltinitiative Bayern“ kündigt der Bayerische Ministerpräsident als Beitrag zur „Natura 2000“ einen „ <b>landesweiten Biotopverbund</b> “ an. <b>In Bayern wird das 500. Naturschutzgebiet ausgewiesen</b>
1996	World Conservation Congress der IUCN in Montreal. Inkrafttreten des „Internationalen Übereinkommens über die Bekämpfung der Wüstenbildung“ 3. Vertragsstaaten-Konferenz der Biodiversitätskonvention in Buenos Aires. Gründung der <i>Species 2000</i> als außerordentliches Mitglied der Global Biodiversity Information Facility (GBIF) zur Katalogisierung aller Lebewesen auf der Erde. In Deutschland ergänzt die <i>Agenda Systematik 2000</i> die internationalen Biodiversitäts-Initiativen
1997	Herausgabe der <b>Bayern-Agenda 21</b> für eine nachhaltige und zukunftsfähige Entwicklung in Bayern auf Beschluss des Bayerischen Ministerrats durch das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen
1999	IUCN und Weltbank unterzeichnen gemeinsames „Memorandum of Understanding“, durch welches die Zusammenarbeit beider Organisationen institutionalisiert wird. Der WBGU gibt sein Jahresgutachten unter dem Thema „ <b>Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre</b> “ heraus
2000	Das World Conservation Monitoring Centre (WCMC) in Cambridge wird zum „ <b>Centre for World Biodiversity Information and Assessment</b> “ von UNEP. 5. Vertragsstaatenkonferenz der Biodiversitätskonvention in Nairobi. Herausgabe der Leitlinien für das „Leader+“ -Programm durch die EU. Laufzeit 2000 - 2006

In der Konvention zur „Erhaltung der biologischen Vielfalt“ wird von den Ländern gefordert, die Vielfalt zu bewahren und die Vorteile, die sich aus ihrer Nutzung ergeben, gerecht untereinander aufzuteilen. Von den insgesamt IV Teilen, in welche die **Agenda 21** aufgegliedert ist, wird in Teil II (Erhaltung und Bewirtschaftung der Ressourcen für die Entwicklung) im **Kapitel 15** das Thema: „**Erhaltung der biologischen Vielfalt**“ abgehandelt.

In Abschnitt 15.2. heißt es: „Die wesentlichen auf unserem Planeten zur Verfügung stehenden Güter und Dienstleistungen hängen von der Vielfalt und Variabilität von Genen, Arten, Populationen und Ökosystemen ab. Die biologischen Ressourcen ernähren und kleiden uns, gewähren uns Obdach und liefern uns Arzneimittel und geistige Nahrung. Die natürli-

chen Ökosysteme der Wälder, der Savannen, der Gras- und Weideflächen, der Wüsten, der Tundren, der Flüsse, Seen und Meere beheimaten den größten Teil der biologischen Vielfalt unserer Erde. Auch die Felder der Bauern und die Gärten sind als Vorratsträger enorm wichtig; hinzu kommen Genbanken, botanische Gärten, Zoos und andere Verwahrungsorte für Keimplasma, die einen zwar kleinen, aber bedeutenden Beitrag leisten. Der gegenwärtig zu verzeichnende Verlust der biologischen Vielfalt ist zum großen Teil Folge menschlichen Handelns und stellt eine ernste Bedrohung für die menschliche Entwicklung dar.“

In einer Presseerklärung des *Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)* zum Jahresgutachten 1999 vom 13.

September 2000 wird zu Recht die aufrüttelnde Überschrift „Dramatischer Verlust biologischer Vielfalt gefährdet Chancen zukünftiger Generationen“ gewählt. Und weiter heißt es: „Diese Entwicklung lässt schwerwiegende Beeinträchtigungen unserer natürlichen Lebensgrundlagen befürchten“.

## 6. „Biodiversität“, ein neues Schlagwort in der Diskussion über den Artenschwund

Anstelle „biologischer Vielfalt“ – wird häufig auch der Begriff „Biodiversität“- verwendet. In beiden Begriffen steckt mehr als nur Vielfalt der Arten, denn Vielfalt gibt es auch innerhalb einer Art: die Gene, Genotypen, Genpools und Populationen. Hinzu kommen die Gilden, die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Arten und schließlich auch die unterschiedliche Organisation und Funktion von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen; mit anderen Worten: auf jeder Organisationseinheit des Lebens herrscht Vielfalt. Vielfalt ist eine immanente Eigenschaft des Lebendigen. Durch die Forschungen der letzten Jahrzehnte ist es anschaulich geworden, dass jede Art eine Kollektion von einer ungeheuren Anzahl von Genen ist (Bakterien >1.000, bei einigen Pilzen ca. 10.000, mehrere 100.000 bei Blütenpflanzen und Tieren – E.O. WILSON 1992). Aufgrund ihrer Eigenschaften können wir diese als „Synthesevorschriften“ oder mit einem anderen Wort als „Rezepte“ zur Bildung von Eigenschaften bezeichnen, die das Resultat vieler Millionen Jahre Evolution darstellt.

## 7. Die Vielfalt der Arten – das „praktische Maß“ der biologischen Vielfalt

In der Praxis arbeitet man in der Regel mit der Artenzahl, denn Arten sind im Vergleich zu den anderen, oben aufgezählten Organisationseinheiten leicht zu bestimmen und zu zählen, zumal Artenvielfalt auf die Fläche oder, in aquatischen Ökosystemen, auf den Raum bezogen, bestimmt wird. Abgesehen davon ist die Art „die eigentliche Einheit der Evolution, sie ist das Gebilde, das sich spezialisiert, sich anpasst oder sich in seiner Adaptation umstellt“ (MAYR 1979). Dennoch gibt es genug verbleibende Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Artenvielfalt. Es ist nicht

einmal möglich anzugeben, wie viel Arten gegenwärtig auf der Erde existieren, wie viele Arten pro Jahr im Verlauf der natürlichen Evolution aussterben und wie groß die Zahl derjenigen Arten ist, die der Expansion des Menschen und seiner Zivilisationsmaschinerie Jahr für Jahr unwiederbringlich zum Opfer fallen. Immerhin gibt es Schätzungen. Und sie reichen aus, um zu zeigen, dass das gegenwärtige Artensterben erschreckend schnell vonstatten geht. Die Zahl der bekannten, d.h. taxonomisch beschriebenen und archivierten Arten liegt bei 1.750.000. Aus der Häufigkeit neuer Entdeckungen von Tier- und Pflanzenarten ergeben sich bisher nur grobe Hinweise auf die vermutete Zahl noch unbekannter Arten. Sie liegt zwischen 10.000.000 und 200.000.000 (GLEICH et al. 2000). Nach einem Bericht des United Nations Environment Programme (UNEP 1995) wird die Gesamtartenzahl auf 13,4 Millionen geschätzt, doch ist von den wenigsten Arten Näheres über ihre Biologie bekannt.

Einige Beispiele zur Zahl der bekannten bzw. noch nicht entdeckten Arten sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Nach Schätzungen des bekannten amerikanischen Biologen Edward O. WILSON (1992) sterben jährlich etwa 27.000 Arten aus. Diese Angabe basiert auf einem infolge der Verkleinerung von Inselartigen Lebensräumen vor allem in den Tropen nachgewiesenen Artenverlust. Daraus leitet man ab, dass die Artenzahlen etwa mit der 4. Wurzel der Fläche ihres Lebensraumes zu- bzw. abnehmen.

Obleich solche Zahlenangaben – insbesondere durch die nach 1992 begonnene Intensivierung diesbezüglicher Bestandsaufnahmen – in den kommenden Jahren immer wieder korrigiert werden müssen, besteht unter den Ökologen kein Zweifel, dass die anthropogene Aussterberate um viele Zehnerpotenzen über der natürlichen Aussterberate bzw. über der Rate neuentstehender Arten liegt (WILSON 1992). Nach einem Bericht der UNEP (1995) wird in den nächsten Jahrzehnten ein Aussterben von Zehntausenden von Arten erwartet, wenn die Zerstörung von Lebensräumen in gleichem Maße voranschreitet wie bisher.

Zahlreich sind die Institutionen, die mit der Vervollständigung des globalen Organismenkataloges be-

Gewässername Eggstätt-Hemhofer Seen	Elektrische Leitfähigkeit ( $\chi$ 25 °C $\mu$ S/cm)	Gewässername Seoner Seen	Elektrische Leitfähigkeit ( $\chi$ 25 °C $\mu$ S/cm)
Thalersee	540	Griessee **	180
Langbürgenersee	260	Brunnsee	510
Schlosssee	380	Seeleitensee	490
Kesselsee	210	Mittersee	480
Kautsee	300	Jägersee	470
Hartsee*	360*	Klostersee	250
Pelhamersee	410	Moorweiher	16
Einbessee	16	Thienmanweiher	14
Blassee	15	Naumannweiher	15
Stettnersee	170		
Lemberger Gumpfen	19		

**Tabelle 2**

**Globaler Artenbestand**, Auswahl (nach GROOMBRIDGE 1992, aus Kleine Senckenbergreihe 2000, 1996, ergänzt)

\* darunter Fische: 25.000, Vögel: 9.950, Reptilien: 7.400, Amphibien: 4.950, Säugetiere: 4.630 (aus GLEICH et al. 2000)

fasst sind. Durch die Konferenz von Rio de Janeiro ist ein zusätzlicher Schub entstanden, der bisherige Arbeiten auf diesem Gebiet intensiviert, z.B. durch das *RAP Programm (Rapid Assessment Program)* und durch das *BIOTROP-Programm (Neotropical Biological Diversity Program)* der Universität Kansas/USA. Diese Entwicklung ist dringend nötig, zumal die Taxonomie mit dem Aufschwung der experimentellen Biologie an den Universitäten in Deutschland über mehrere Jahrzehnte hinweg fast völlig verdrängt worden ist.

Die gegenwärtig wichtigste internationale Initiative zur weltweiten Datenerhebung läuft unter dem Namen *Species 2000*. Das Programm wurde von der *International Union of Biological Sciences (IUBS)* in Kooperation mit dem *Committee on Data for Science and Technology (CODATA)* und der *International Union of Microbiological Societies (IUMS)* im September 1994 gegründet. Die Biodiversitätsforschung erschöpft sich aber nicht mit Datenerhebungen (Europäische Kommission 1998). Darüber erfahren wir eine Menge aus erster Hand im Beitrag von Prof. Dr. K.-E.Linsenmair in diesem Heft.

Da die Artenvielfalt der Erde sehr unterschiedlich verteilt (BARTHLOTT et al. 1999) und auch ihre Bedrohung nicht überall dieselbe ist, nehmen die „hot spots“ – das sind Gebiete mit besonders großem Artenreichtum und einer großen Zahl sonst nirgends vorkommender Arten (Endemiten) bei der weltweiten Arteninventur einen ganz besonderen Stellenwert ein. So gibt es beispielsweise auf der Insel New Caledonia (Fläche 16.000 km<sup>2</sup>) ca. 3.000 Pflanzenarten, unter welchen 80% endemisch sind (MYERS 1992). Erwartungsgemäß gibt es auch zwischen verschiedenen Ökosystemen innerhalb Mitteleuropas und anderswo erhebliche Unterschiede. In Buchenwäldern Mitteleuropas beispielsweise ist der Artenreichtum besonders groß: Es wurden ca. 4.300 Pflanzen- und ca. 6.700 Tierarten nachgewiesen, etwa 1.800 von ihnen sind direkt an Buchen gebunden (ELLENBERG 1998).

Der World Wide Fund for Nature (WWF) hat bei der Festlegung von Prioritäten einen etwas anderen Weg gewählt, indem er in einer *Global 2000*-Liste 232 Regionen genannt hat, welche die verschiedenen Lebensraumtypen der Erde repräsentieren. Diese sollen nun bevorzugt untersucht werden. Die überall auf der Erde gesammelten Daten laufen in einer Zentrale ein: dem *World Conservation Monitoring Centre (WCMC)*.

## 8. Biodiversität und nachhaltige Entwicklung

Das durch die Ergebnisse der Konferenz in Rio aktualisierte Programm der Biodiversitätsforschung ist, wie bereits angedeutet, nicht auf die Aufstellung einer Arteninventur beschränkt, denn auch der vollkommenste Artenkatalog eines Gebietes liefert für sich genommen keinen Anhaltspunkt, um einer weiteren Forderung gerecht zu werden, die ebenfalls zu

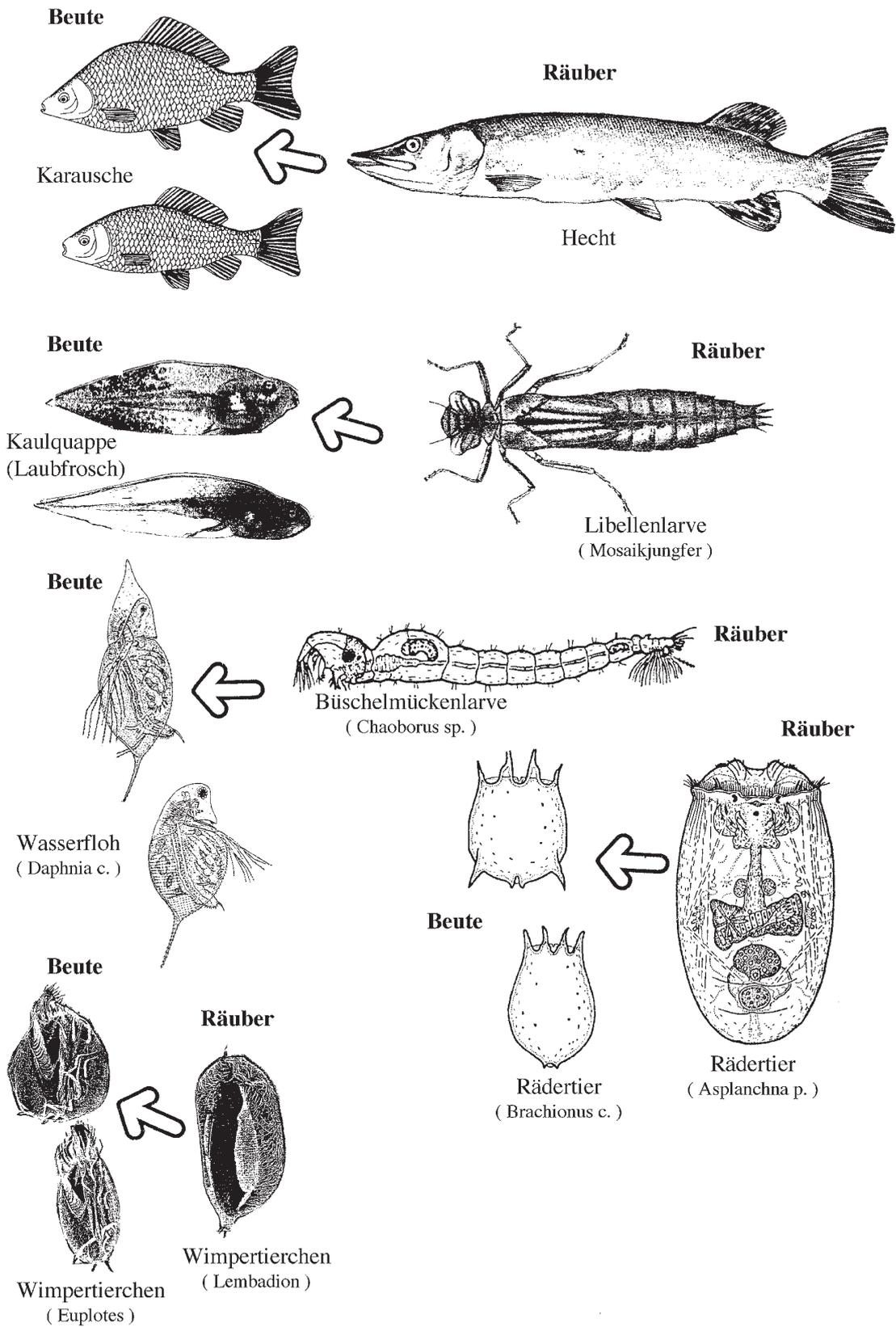
den Ergebnissen der Konferenz von Rio de Janeiro gehört: Die Forderung einer nachhaltigen Entwicklung („sustainable development“) mit dem Ziel, Modelle für eine umweltverträgliche Entwicklung zu erarbeiten.

Das ist eine gigantische Aufgabe! Sie wird das „Jahrhundert der Ökonomie“ durch ein – um mit von Weizsäcker zu sprechen – „Jahrhundert der Umwelt“ ablösen, in welchem die Ökonomie mit der Ökologie (Lehre vom Haushalt der Natur!) eine Synthese finden muss und mit dem daraus abzuleitenden Management eine neue Stufe in der kulturellen Evolution des Menschen erreichen wird.

Der Anfang ist bereits gemacht, wenn die „Ökonomie der Biodiversität“ zu einem zentralen Thema wird und Fragen untersucht werden wie z. B. Welche Bedeutung besitzt Biodiversität als Grundlage für Wirtschaftsprozesse? Und: „Inwiefern können ökonomische Argumente eingesetzt werden, um den Verlust an biologischer Vielfalt zu vermindern“? Welche Biodiversität gemeint ist, hängt von der jeweiligen speziellen Fragestellung ab.

Der Begriff „nachhaltige Entwicklung“, wird erstmals im Jahre 1980 in der „World Conservation Strategy“ der IUNC verwendet. Streng genommen geht es ausschließlich um die Kontrolle von Wachstumsprozessen, die auf erneuerbare Ressourcen angewiesen sind, z. B. um Beziehungen zwischen einem Konsumenten und seiner Nahrung. Im Prinzip können Wachstumsprozesse schneller zum Verbrauch der dafür erforderlichen Ressourcen führen als diese erneuert werden. Ohne einen besonderen Mechanismus gäbe es in diesem Fall keine Chancen für ein Überleben, z. B. wenn bei einer Massenentwicklung von Raupen die kollektive Beendigung der Fraßzeit mit der Verpuppung grundsätzlich erst zum Zeitpunkt des völligen Verbrauchs der Futterpflanzen erfolgen würde. Diese hätten keine Chance zur Reproduktion. Sie würde aussterben. Absterben würde aber auch die nächste Konsumentengeneration, falls die betreffende Art auf ihre Futterpflanze spezialisiert war. Sollte es derartige Konstellationen jemals gegeben haben, so hatten sie beide keine Überlebenschancen, d. h. es gibt sie nicht (mehr).

Der Ökologe kennt viele Beispiele, die ihm zeigen, wie Nachhaltigkeit in der Natur erreicht wird, d. h. dass sowohl der Räuber als auch seine Beute überleben. Vor allem in aquatischen Ökosystemen gibt es dafür zahlreiche experimentelle Befunde (z. B. GILBERT & STEMBERGER 1978, HAVEL, J. E. & S. I. DODSON 1984, LAMPERT et al. 1994, TOLLRIAN & DODSON 1999, TOLLRIAN & HARVELL 1999) (Abb. 1). Ein Beispiel: Bei einer kleinen Rädertierart (*Brachionus calyciflorus*), die einer größeren (*Asplanchna brightwelli*) als Beute ausgeliefert ist, wachsen unter dem Einfluss von Substanzen (Kairomone), die vom Räuber abgegeben werden, in aufeinanderfolgenden Generationen immer längere Dor-



**Abbildung 1**

**Warum rottet der Räuber seine Beute nicht aus? Verteidigungsstrategien von Beutearten gegenüber ihrem wichtigsten Räuber:** Unter dem Einfluss des Hechtes bekommen Karausche höhere Rücken, die das Verschlingen erschweren; unter dem Einfluss der Libellenlarve akkumulieren schwarze Pigmente in der Schwanzflosse der Laubfroschkaulquappe, wodurch die Beute dem Räuber größer erscheint und Angriffshemmung bewirkt; unter dem Einfluss der Büschelmücke bekommt eine Wasserflohart einen spitzen Helm, der dem Räuber das Hantieren erschwert; unter dem Einfluss des Rädertiers *Asplanchna* wachsen der Beute lange Dornen, die das Verschlucken erschweren und unter dem Einfluss des Ciliaten *Lembadion* wird die Beute größer und breiter. In allen Fällen erfolgt der „Einfluss“ durch Substanzen, die vom Räuber ins Wasser abgegeben werden (Kairomone). Die Pfeile weisen auf die phänotypischen Folgen des Kairomons (nach versch. Autoren umgezeichnet, Literatur vgl. Text).

nen, die das Verschlingen zunehmend erschweren und schließlich unmöglich machen. Soweit kommt es aber nicht, weil die Räuberpopulation schon im Verlaufe dieser Veränderungen an Zahl abnimmt und mit ihr auch die Kairomonkonzentration im Wasser. Die Folge ist, dass die Beute auf lange Dornen „verzichten“ und sich nun – befreit von der Notwendigkeit Dornen zu bilden – wieder verstärkt vermehren kann. Da einige Räuber übrig geblieben waren, finden diese nun bald wieder ein reichliches Nahrungsangebot. Sie nutzen es, wachsen schnell heran und vermehren sich auch wieder stärker. Unter dem Einfluss der vom Räuber abgegebenen und mit seiner wachsenden Dichte zunehmenden Kairomonkonzentration wachsen der Beute nun wieder längere Dornen und das Spiel beginnt von neuem – allerdings nur im Zweiartenversuch so stark ausgeprägt wie hier angedeutet. In der freien Natur gibt es für den Räuber wie für seine Beute noch eine weitere Chance: Da es nicht nur eine, sondern viele Beutearten gibt, kann der Räuber auf andere ausweichen, wenn die bevorzugte Beute in die Minderheit geraten ist.

Aus diesen Wechselbeziehungen ergibt sich, dass sie das Ausrotten der Beute durch den Räuber verhindern, obgleich dieser der Beute in der Regel haushoch überlegen ist. Mit anderen Worten: Der Nahrungsbedarf der Folgegenerationen des Räubers ist durch diesen Mechanismus „nachhaltig“ gesichert. Das Besondere daran ist, dass es der Räuber selbst ist, welcher der Beute seine Anwesenheit durch Kairomone signalisiert. So kommt zustande, was mit Nachhaltigkeit gemeint ist: Erneuerbare Ressourcen sollen nur insoweit genutzt werden, dass sie auch den Folgegenerationen zur Verfügung stehen.

Der geschilderte Zweiartenversuch hat den Wirkungsmechanismus unter Ausnutzung der chemischen Kommunikation geklärt. Das erwähnte Ausweichen des Räubers auf eine andere Beuteart gibt uns einen Hinweis auf die Bedeutung der Biodiversität in diesem speziellen Zusammenhang: Je mehr Beutearten verfügbar sind, desto geringer die Wahrscheinlichkeit, dass dem Räuber die Nahrung ausgeht und dass eine seiner Beutearten ausgerottet wird. Das aus Räubern und Beutearten bestehende System gewinnt – innerhalb gewisser Grenzen – somit durch Vielfalt an Nachhaltigkeit.

## 9. Nachhaltige Entwicklung einer lebensfreundlichen kostenlosen Umwelt

„Nachhaltige Entwicklung“ muss auch für die Ökosysteme gelten, die dem Menschen in ihrer Gesamtheit kostenlos eine lebensfreundliche Umwelt sichern. Es ist völlig ausgeschlossen, diese Eigenschaft für die gesamte Menschheit durch Technik zu gewährleisten, etwa so wie es in einer Raumsonde für eine kleine Gruppe von Menschen eine zeitlang möglich ist.

„Nachhaltige Entwicklung“ der Ökosysteme bedeutet, dass ihre Fähigkeit zur Selbstregulation nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Über die komplexen Mechanismen, die in ihrer Gesamtheit die Selbstregulation ermöglichen, ist wenig bekannt. Sicher ist, dass die Nahrungsbeziehungen, durch welche ein mehr oder weniger komplexes Nahrungsgewebe organisiert wird, daran beteiligt sind. Neben den Nahrungsbeziehungen gibt es aber noch viele andere, z. B. Konkurrenzbeziehungen, Kommensalismus und Amensalismus (CZIHAK, G.; H. LANGER & H. ZIEGLER 1976, BUSCH & UHLMANN 1989).

Nahrungsbeziehungen sind immer Wechselbeziehungen zwischen den beteiligten Arten. Jede Beuteart steht mit mehreren Räuberarten in Wechselbeziehung und jede Räuberart mit mehreren Beutearten. Die Zahl dieser Wechselbeziehungen nimmt sicherlich mit der Artenzahl eines Ökosystems zu. Damit steigt aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass Störungen kompensiert werden. Als Störungen möchte ich ungewöhnliche Einflüsse bezeichnen, die in relativ kurzer Zeit das gesamte Ökosystem oder hinreichend große Teile betreffen und nicht rhythmisch, wie z. B. Jahreszeiten, sondern unvorhersehbar eintreten und zumindest für einige Arten von erheblichem Nachteil sind. Wird nur eine Art oder werden nur einige wenige Arten beeinträchtigt, so profitieren die übrigen, soweit sie – in Gilden organisiert – ähnliche Funktionen ausüben wie die geschädigten oder diesen als Beute gedient haben. Es ist durchaus vorstellbar, dass wichtige Eigenschaften des Ökosystems z. B. seine Produktion in solchen Fällen bis zum Überschreiten einer gewissen Schwelle erhalten bleiben.

Man kann sich diesen Zusammenhang anhand eines Experimentes verdeutlichen (YASUNO et al. 1988), dessen Ergebnisse in Abb. 2 dargestellt sind. In großen Wasserbehältern hatte sich eine Planktongesellschaft entwickelt, in welcher neben zahlreichen kleinen Algenarten (A) und einer größeren Algenart (CE Ceratium) vom Zooplankton: 2 Rotatorienarten (H & K), 3 Kleinkrebsarten (CY, DI & DA) und die Büschelmücke (CH) dominierten. Nur sehr vereinzelt waren noch zwei besonders kleine Arten von Kleinkrebsen: *Moina* (M) und *Chydorus sphaericus* (CS) vorhanden. Das Experiment zeigt, wie durch die Störungen unterschiedlicher Größe (Konzentration des Insektizids Permethrin) bei den einzelnen Arten unterschiedliche Effekte auftreten, nicht nur negative, sondern auch positive, durch welche das Nahrungs-gewebe umstrukturiert wird und erst bei der höchsten verwendeten Konzentration für die meisten Arten von Nachteil ist.

Aus zahlreichen Untersuchungen weiß man aber, dass die Wechselbeziehungen in Ökosystemen sehr viel komplexer sind als bisher angenommen. Die „Diversität-Stabilität-Hypothese“, wonach die Stabilität eines Ökosystems mit ihrer Diversität zunimmt und demnach von ihrer Artenzahl abhängig sei, konnte mit den gängigen Definitionen für Stabilität

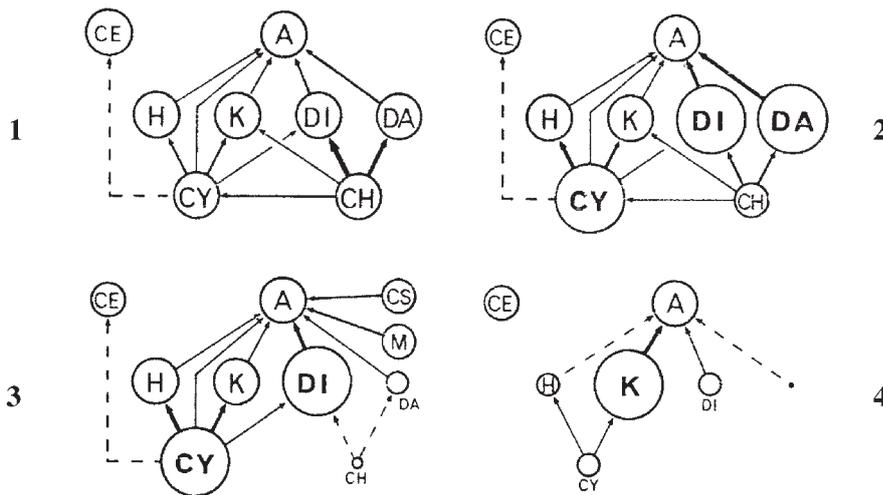
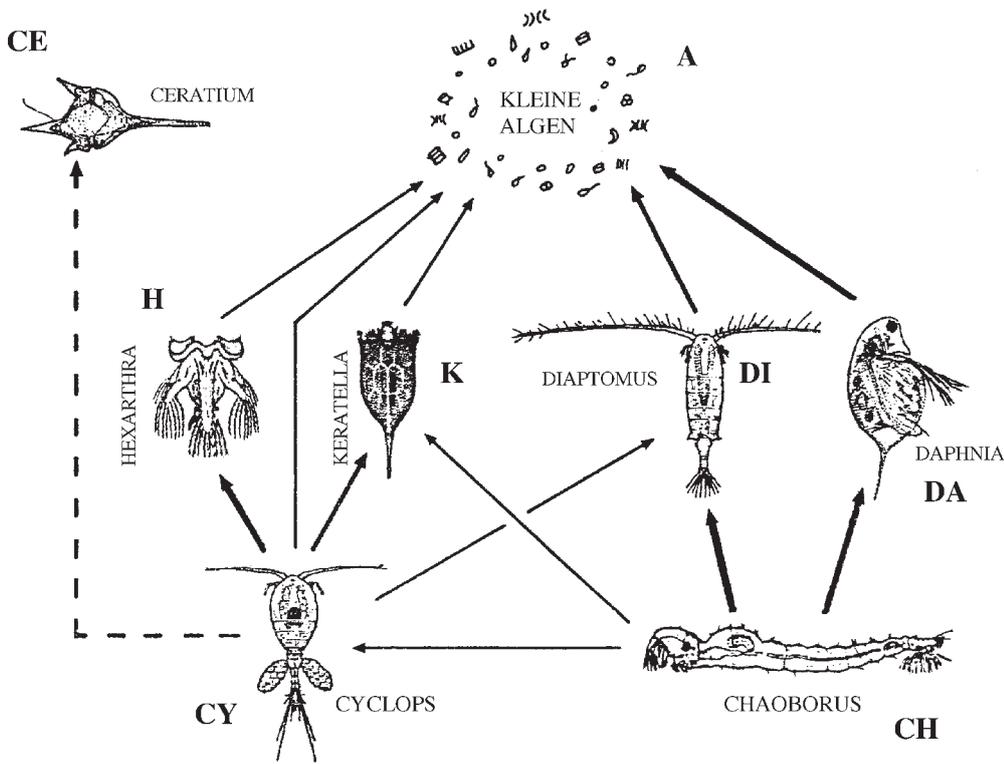


Abbildung 2

**Einfluss steigender Konzentrationen des Pflanzenschutzmittels Permethrin auf ein Nahrungsgewebe aus Algen und Zooplankton.** Die Pfeile symbolisieren die Nahrungsbeziehungen, ihre Dicke die Präferenz für die jeweilige Beute. Die Permethrinzugabe Nr. 2: 0.75 mg/l bewirkt zunächst die Schädigung der Büschelmücke (CH), wovon ihre Beute, die Kleinkrebse (DI, DA, CY) profitieren und an Zahl zunehmen. Bei höherer Konzentration (Nr. 3: 1.5 mg/l) wird auch *Daphnia* (DA) reduziert. Durch den Wegfall dieses dominierenden Konkurrenten für die beiden Kleinkrebse (CS, *Chydorus* und M, *Moina*) nehmen diese an Zahl erheblich zu. Von der höchsten Permethrin-Konzentration (Nr. 4: 10.0 mg/l) profitiert das Rotator: *Keratella*, welches an Zahl erheblich zunimmt. Die Phytoplanktonart *Ceratium* zeigt keine wesentlichen Veränderungen in ihrer Dichte (aus LAMPERT 1992, verändert).

bekanntlich nicht verifiziert werden (LINSENMAIR, in diesem Heft und LINSENMAIR 1995).

Das schließt aber nicht aus, dass die Fähigkeit zur Selbstregulation eines Ökosystems innerhalb gewisser Grenzen mit der Zahl und der Art der vorhandenen Wechselbeziehungen korreliert. Die Zahl der Wechselwirkungen ist mit Sicherheit wesentlich

größer als die Zahl der vorhandenen Arten. Da man Erstere nicht so ohne weiteres bestimmen und zählen kann, muss man sich in Untersuchungen zur biologischen Vielfalt auf die Artenzahl beschränken, und man geht wohl nicht fehl in der Annahme, dass die Fähigkeit zur Selbstregulation mit abnehmender Artenzahl reduziert wird. Weil aber der Stellenwert der

verschiedenen Arten in ihrem Beitrag zur Selbstregulation nicht gleich ist, weiß man nicht, ob eine Beeinträchtigung der Selbstregulation bereits bei einem Verlust von 5, 20 oder 40% der vorhandenen Arten eintritt oder noch später. Hinzu kommt, dass jedes Ökosystem ein Unikat darstellt und aus diesem Grund macht es keinen Sinn, verschiedene Ökosysteme anhand der Artenzahlen zu vergleichen und jenem mit der höchsten Artenzahl von vornherein die maximale Fähigkeit zur Selbstregulation zuzuschreiben oder andere Bewertungen vorzunehmen. Ganz abgesehen davon bedeutet Selbstregulation auf keinen Fall Unveränderlichkeit. Die Selbstregulation ist jedoch daran beteiligt, dass die Artenzusammensetzung in einem Ökosystem nicht zufällig ist und dass sie sich innerhalb eines durch die natürliche Entwicklung gegebenen Zeitrahmens verändert, z.B. durch Anpassungen an hinreichend langsam erfolgende Umweltveränderungen.

Im Verlauf der Entwicklung von Ökosystemen (Sukzession) kommen bekanntlich erhebliche Veränderungen in der Artenzusammensetzung zustande. Aufgrund dieses natürlichen Wandels in der Artenzusammensetzung ist Artenschutz, streng genommen, biologisch nicht begründbar. Die Evolution hat die Arten geschaffen, sie erhält sie aber nicht.

Das ist dennoch kein Argument gegen den Artenschutz! Bei diesem geht es nicht darum, die erwähnten, ganz allmählich erfolgenden Veränderungen in der Artenzusammensetzung zu verhindern, sondern um dem raschen Artensterben unter dem Einfluss des Menschen entgegenzuwirken. Der Mensch ist durch seine Zivilisationsmaschinerie ein ganz erheblicher Störfaktor, der „aus der Sicht von Pflanzen und Tieren“ so unvorhersehbar schnell, massiv und unterschiedlich wirksam ist, dass Anpassungen, vor allem bei den k-Strategen, von vornherein ausgeschlossen sind.

Die Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung von Ökosystemen bedeutet Fernhaltung von Störungen, durch welche die Fähigkeit zur Selbstregulation massiv beeinträchtigt werden könnte. Da man diese Fähigkeit aber nicht so ohne weiteres feststellen, kontrollieren und im Schadensfall reparieren kann, bleibt nur ein Weg: Kontrolle des Ökosystems über seine Artenzahlen mit dem Ziel, etwaige Störungen auszuschalten, die für einen zuvor nachgewiesenen Artenrückgang in Frage kommen oder besser noch, ihn – wenn möglich – von vornherein zu vermeiden.

Sicher werden aus den Ergebnissen der Ökosystem- bzw. der Biodiversitätsforschung im Laufe der nächsten Jahre weitere Kontrollmöglichkeiten abgeleitet werden können, zumal nach der Inventur der bisherigen Forschungsansätze (SENCKENBERGISCHE NATURFORSCHENDE GESELLSCHAFT 1997) nun auch weltweit mit einem Schub neuer Aktivitäten gerechnet werden kann. Trotz der bestehenden Defizite in der Grundlagenforschung (z.B. auch hinsichtlich besonders wichtiger Definitionen wie Ökosy-

stem, Ökosystemgrenzen – vgl. TREPL 1986, WIESER 1992) erlaubt die Dramatik des Artensterbens keinen Aufschub der weltweit durchgeführten Kontrolluntersuchungen bis die bestehenden Wissensdefizite aufgefüllt sind. Für die Praxis der Arteninventur ist das ohnehin unerheblich.

Da Störungen von Ökosystemen durch den Menschen nicht nur durch das Entnehmen erneuerbarer Ressourcen (z.B. Überfischung in Meeren) zustandekommen, sondern auch durch die verschiedensten Arten von Belastungen, wie z.B. Luft- und Wasserverschmutzung, Bodenerosion u.a., muss der Begriff „nachhaltige Entwicklung“ in einer von Menschen besiedelten Landschaft diesen Umstand berücksichtigen. Als „nachhaltig“ gilt die Entwicklung einer Region dann, wenn sie mittel- bis langfristig mit den ökologischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen verträglich erscheint und nicht zu Lasten der Folgegenerationen, der Nachbarn und der Handelspartner erfolgt. Mit anderen Worten: „Nachhaltigkeit“ bedeutet, dass die jeweilige Wirtschaftsform für das Ökosystem tragfähig ist (MOHR 1995). Für die Umsetzung dieser Forderung gibt es kein allgemein anwendbares Rezept. In der Praxis führt daher kein Weg daran vorbei, dass für jede einzelne konkrete Aufgabe Zielvorstellungen definiert und für die jeweiligen Umsetzungsmaßnahmen spezielle Konzepte, eventuell durch Hinzuziehung von Rechenmodellen zu entwickeln sind (WISSEL 1995).

## **10. Reduktion des Artensterbens unter Beibehaltung der industriellen Landwirtschaft nach heutigem Muster?**

Die landwirtschaftliche Lebensmittelerzeugung in der Kulturlandschaft hat dem Menschen die Basis seiner Existenz geliefert. Aus natürlichen sich selbstregulierenden Ökosystemen sind anthropogene Ökosysteme geworden, die – um funktionstüchtig zu bleiben – vom Menschen reguliert werden müssen. Das sind >90% der ertragfähigen Landflächen der Erde, die aus dem ehemals natürlichen Zustand in Kulturlandschaften verwandelt worden sind. In vielen dieser Kulturlandschaften hat sich – durch die Zunahme kleinräumiger Strukturen – eine größere Artenvielfalt entwickelt als je zuvor vorhanden war. Mit dem Entstehen der industriellen Landwirtschaft hat sich das jedoch grundlegend geändert. Und es besteht kein Zweifel, dass der Erfolg der Landwirtschaft ohne diese Umstellung nicht möglich gewesen wäre: Vor etwas über hundert Jahren waren 4 Landwirte nötig, um sich, ihre Familien und einen Nichtlandwirt zu ernähren, heute ernährt 1 Landwirt über 70 Nichtlandwirte! Die Landwirte sind durch die Lebensmittelerzeugung im Prinzip auch heute noch die Garanten des Fortschritts (HANK & TRENKEL 1994). Sie werden es bleiben, wenn es gelingt die Bewirtschaftung so zu verändern, dass die drohenden Gefährdungen rechtzeitig verhindert werden.

Zu den Nachteilen des Fortschritts in den letzten Jahrzehnten gehören weltweit

1. die Gefährdung der Böden: Bodendegradation, Rodung und Übernutzung der Wälder, Überweidung von Grasland, unsachgemäßer Ackerbau, Ausbeutung der Vegetation für den häuslichen Bedarf und das Anwachsen von Industrie und urbanen Ballungsgebieten (WBGU 1994),
2. die Belastung der Gewässer mit Nährstoffen, Pflanzenschutzmitteln wie Herbizide, Fungizide und Insektizide (DFG 1992), Pharmaka wie Antibiotika und Hormone und
3. die Ausrottung von Pflanzen- und Tierarten durch Vernichtung ihrer Lebensgrundlagen.

Aufgrund der enorm großen landwirtschaftlich genutzten Flächen (z. B. in Deutschland 54,7%) ist der Anteil der Landwirtschaft am Artenrückgang mit Abstand am größten. Das ergibt sich aus den im Jahre 1989 vom Umweltbundesamt Berlin vorgelegten Untersuchungen (VON WEIZSÄCKER 1989). Es folgen in dieser Reihung die Forstwirtschaft, der Tourismus, Rohstoffgewinnung, Gewerbe, Siedlung, Industrie, Wasser- und Teichwirtschaft, Verkehr, Abfall und Abwasserbeseitigung, Militär, Wissenschaft, Lebensmittel- und, an letzter Stelle, die Pharmaindustrie.

Die Spitzenstellung der Landwirtschaft als Verursacher des Artenrückgangs ergibt sich unmittelbar aus ihren Produktionsmethoden. Hier lautet die Maxime: Förderung des gewünschten Produkts in Monokulturen zu Lasten aller pflanzlichen Konkurrenten um Nährstoffe und Licht a) durch züchterische Leistungen und b) durch optimale Düngung und – zur Ausschaltung aller „Mitesser“ – durch den Einsatz von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden (Abb. 3).

Auf Wiesen wird diese Strategie nicht verfolgt, doch stellen sich im Zuge der Futtergewinnung vor allem für Rinder (Milchproduktion) ähnliche Ergebnisse ein:

- a) weil unter dem Einfluss der jährlich mehrmals durchgeführten Mahd (4-6 Mal) fast alle Blütenpflanzen an der sexuellen Reproduktion (und damit alle blütenbesuchenden Insekten an ihrem Nahrungserwerb) gehindert werden,
- b) weil unter dem Einfluss der jeweils im Anschluss an die Mahd und nach der Schneeschmelze erfolgenden massiven Güllendüngung im Überschuss (Entsorgungsproblem!) nur noch robuste Arten überleben (Abb. 4),
- c) weil – meist sogar überflüssigerweise – die Äcker und Wiesen so dicht bis zu den Wäldern reichen, dass die Entwicklung eines Ökoton ausgeschlossen ist und
- d) weil die bewirtschafteten Flächen völlig ausgeräumt werden, indem weder geschonte Wiesenränder, noch Hecken und Sträucher an ihrer Begrenzung geduldet werden.

Mit der angestrebten Monokultur bei der Ackerbewirtschaftung und der zwischen Aussaat und Ernte

kurzen Zeitspanne stehen die von Menschenhand gesteuerten Agrarökosysteme in diametralem Gegensatz zu natürlichen Ökosystemen. Ähnlich ist nur die Startphase, denn auch die Besiedelung eines neuen Lebensraumes – z. B. auf einer durch Vulkanismus entstandenen Insel – findet zunächst nur mit einer oder einigen wenigen Arten (Pionierarten) statt. Mangels Konkurrenz und mangels vorhandener Konsumenten produzieren diese relativ hohe Erträge. Und, da sie nicht total abgeerntet werden, schaffen sie die Voraussetzungen für die Existenz der nachfolgenden Immigranten (Pflanzen und Tiere). Im weiteren Verlauf nimmt die Artenzahl fortwährend zu. Ihre Zusammensetzung hängt nicht nur von den abiotischen Eigenschaften der Umwelt ab, sondern auch von der Art der Wechselbeziehungen zwischen den Arten und der Zahl und der Art der entstandenen Nischen. Zu Lasten des Ertrages einzelner Arten entwickelt sich dann eine Pflanzen-Tiergesellschaft mit wachsendem Organisationsgrad und – innerhalb gewisser Grenzen – der Fähigkeit zur Selbstregulation.

All dies entfällt bei der Ackerbewirtschaftung. Die nach der erfolgten Aussaat beginnende erzwungene Pionierphase wird im Extremfall konsequent auf das gewünschte Produkt beschränkt, doch zeichnen sich durch Forschungsergebnisse Möglichkeiten ab, die man als erfolgversprechende Kompromisslösungen bezeichnen kann (vgl. Beitrag von J. PFADENHAUER in diesem Heft). Die Lebensdauer dieser künstlich auf niedrigem Organisationsgrad gehaltenen Systeme ist kurz. Sie reicht nur jeweils von der Aussaat bis zur Ernte.

Die Landwirtschaft hat nicht immer die Spitzenposition unter all jenen Komponenten der Zivilisationsmaschinerie eingenommen, die für den dramatischen Rückgang der Artenzahlen verantwortlich sind, ganz im Gegenteil! Mit der Entwicklung der Kulturlandschaft aus dem Naturzustand hat sie in vielen Bereichen die Artenvielfalt sogar erhöht. Das geschah jedoch in der Zeit der traditionellen Landwirtschaft. Sie schuf aus den relativ einheitlichen Waldgebieten (Eichenmischwald) eine reich strukturierte Landschaft, durch welche die Nischenbildung gefördert wurde. Viele Arten, die zuvor durch die Beengtheit ihres Lebensraumes keine Möglichkeiten hatten, sich zu entfalten, fanden diese nun unter den neuen, für sie besseren Bedingungen; andere wanderten aus weiter entfernten, offenen Landschaften ein (z. B. BRANDL & PFEIDER 1993).

Die industrielle Landwirtschaft hat diese Strukturen in weiten Teilen längst wieder zerstört. Das gilt sogar für die Vielfalt der durch Züchtung hervorgebrachten Kulturpflanzen und Haustiere (Agrarbioidiversität; WBGU Jahrgutachten 2000). Man sollte es nicht für möglich halten, aber es stimmt: In Großstädten mit Parks und in Wohngebieten mit Gärten ist die Artenvielfalt bereits höher als in den Gebieten, in welchen die industrielle Landwirtschaft vorherrscht! Selbstverständlich finden nicht alle Arten, die in der



**Mischwald (Vielfalt):** Lebensgemeinschaft, Artenreichtum, hoher Organisationsgrad

In jungen ungestörten Ökosystemen tendiert die Entwicklung in Richtung zunehmenden Organisationsgrades (zunehmende Artenzahl, zunehmende Wechselwirkungen, Steigerung der Fähigkeit zu Selbstregulation) zu Lasten hoher Erträge der einzelnen Arten.



**Getreideanbau (Monokultur):** Ausschaltung aller wesentlichen „Mitesser“, Artenarmut, niedriger Organisationsgrad

In Agrarökosystemen werden Lebensgemeinschaften mit hohem Organisationsgrad zugunsten eines hohen Ertrages des gewünschten Produkts (z.B. Getreide, Kartoffel, Mais) unter kostenaufwendigem Einsatz von chemischer (Dünger, Herbizide, Fungizide, Insektizide) und mechanischer Energie (Einsatz von Maschinen) unterdrückt.

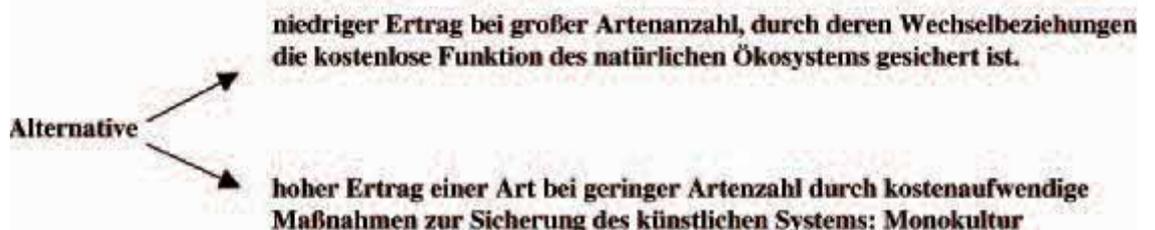
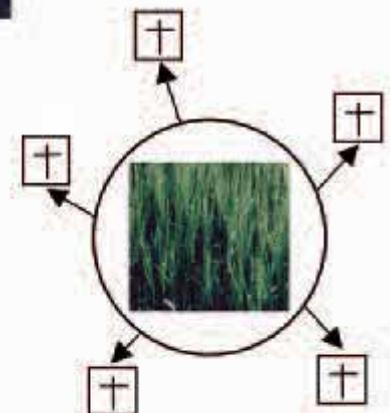


Abbildung 3  
Prinzipielle Unterschiede zwischen einem natürlichen, sich kostenlos erhaltenden Ökosystem am Beispiel eines Mischwaldes und einem künstlichen, unter Kostenaufwand erhaltenem Ökosystem am Beispiel eines Getreidefeldes (Original).



1-2 Mal Mahd und Düngung mit Rindermist pro Jahr beeinträchtigt die Vielfalt an Blütenpflanzen, Insekten und Spinnen kaum.



Mehrmalige Mahd und mehrmaliger Gülleaustrag pro Jahr werden nur von wenigen Pflanzen- und Tierarten toleriert.

#### Beispiele für robuste Pflanzenarten:



Löwenzahn (*Taraxacum officinale*). Reproduktionsphase meist vor der ersten Mahd abgeschlossen



Stumpfblättriger Ampfer (*Rumex obtusifolius*). Schnellwüchsigkeit sichert die Erholung nach jeder Mahd.

Abbildung 4

Konventionelle maximierte Milchproduktion erfordert hohe Erträge auf Wiesen. Sie werden durch intensive mehrmalige Düngung und häufige Mahd pro Jahr erzielt. Unter diesen Bedingungen verlieren die meisten Blütenpflanzen und die auf sie angewiesenen Insekten- und Spinnenarten ihre Lebensgrundlage und viele Vogelarten ihre Nahrung. Der Artenrückgang wird daher gefördert. Durch Randstreifen, die aus dieser Bewirtschaftung herausgenommen werden, kann diesem Problem wirksam entgegen gesteuert werden (Original).

von der traditionellen Landwirtschaft geschaffenen Kulturlandschaft leben konnten, nun auch in städtischen Gärten und Parks entsprechend gut geeignete Lebensbedingungen.

Die Erhaltung der genetischen Vielfalt ist für die Landwirtschaft selbst von allergrößter Bedeutung, insbesondere für die Weiterentwicklung der Pflanzensorten, z.B. durch Einzüchten wertvoller Eigenschaften, wie z.B. von Resistenzen. Je größer die Vielfalt, desto größer die Chance, dass beispielsweise mit der zu erwartenden globalen Erwärmung geeignete Sorten ausgewählt und vermehrt werden können, die unter den neuen Bedingungen nicht nur existieren, sondern auch hohe Erträge bringen.

Die eingangs gestellte Frage: „Reduktion des Artensterbens unter Beibehaltung der industriellen Landwirtschaft nach heutigem Muster?“ muss aus den genannten Gründen und unter Berücksichtigung der Größe der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit einem eindeutigen „Nein“ beantwortet werden. Eine Rückkehr zur traditionellen Landwirtschaft, durch welche bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts unsere Kulturlandschaften entstanden sind, kommt aus nahe liegenden Gründen ebenfalls nicht in Frage. Sicher ist jedenfalls, dass die Methoden der gegenwärtigen industriellen Landwirtschaft aufgrund ihrer nachteiligen „Nebenwirkungen“ ohne die Erfüllung zahlreicher Forderungen, wie sie vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (HABER & SALZWEDEL 1992) im Einzelnen präzisiert worden sind, die Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung nicht erfüllen. Daraus folgt, dass die gegenwärtige Landwirtschaft die Lebens- und Arbeitsbedingungen für die nachfolgenden Generationen erschwert.

Die Warnungen des WBGU in dem bereits erwähnten Jahresgutachten 1994: „Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden“ müssen sehr ernst genommen werden. Ohne die geforderte Wende in der Agrarpolitik sind die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen aber nicht realisierbar. Die Bauernverbände stehen leider eher für die Beibehaltung des Eingefahrenen. Sie sehen ihre Hauptaufgabe anscheinend ausschließlich darin, ihren Mitgliedern innerhalb des gegebenen wirtschaftlichen Rahmens Sicherheit zu vermitteln bzw. durchzusetzen.

Das ist eine wichtige Aufgabe, sie reicht aber nicht aus. Noch nie zuvor haben sich die diversen Berufsfelder in unserer Gesellschaft so schnell geändert wie in unserer Zeit. Die Landwirte werden davon nicht ausgenommen bleiben, es sei denn zum Nachteil der kommenden Generationen. Wer Entwicklungen aufhält, muss in Kauf nehmen, dass Gewohntes in einer sich ändernden Welt eines Tages umso drastischer zur Korrektur zwingt.

Pessimismus ist aber nicht angebracht, denn immerhin wächst die Zahl der sogenannten Ökolandwirte und neue Allianzen von Landwirten und Umweltver-

bänden (Arbeitsgemeinschaft bäuerliche Landwirtschaft, AbL in Kooperation mit der Umweltschutzorganisation *EURONATUR*) haben sich konstituiert. (SZ v. 25.10.01). Der *Bund Naturschutz in Bayern e. V.* (2001) hat aus Anlass der BSE-Krise einen konstruktiven Beitrag zur Diskussion der Agrarwende präsentiert.

### **11. Nachhaltige Sicherung einer lebensfreundlichen Umwelt setzt umfassendes Management voraus, in welchem dem Schutz der Biodiversität ein besonderer Stellenwert eingeräumt werden muss**

Wir wissen, dass die Ausweisung von Naturschutzgebieten den Artenrückgang nicht zu stoppen vermag, dazu sind sie an Zahl zu wenig und in der Fläche zu klein. Was außerhalb der Naturschutzgebiete den Artenrückgang beschleunigt, wird innerhalb der meisten Naturschutzgebiete bestenfalls verzögert, aber nicht aufgehoben. Die Beschlüsse der Konferenz von Rio laufen daher darauf hinaus, dass ein umfassendes Umweltmanagement entwickelt werden muss, um die Prozesse nachhaltig zu sichern, durch welche uns die Natur beständig und kostenlos lebensfreundliche Bedingungen bietet.

Immerhin findet der Artenrückgang in den größeren Naturschutzgebieten mit erheblicher Verzögerung statt. Es gibt daher keinen Grund, das Bemühen um die Ausweisung weiterer Naturschutzgebiete einzustellen, zumal nicht bekannt ist, wie schnell und wie erfolgreich das durch die Ergebnisse der Konferenz von Rio angestrebte umfassende Umweltmanagement Wirkung zeigen wird. Weltweit sind derzeit 5% der Fläche durch Naturschutzgebiete besonders geschützt, 10-20% jeder biogeographischen Repräsentativität sollten es nach Meinung aller Experten mindestens sein.

Wenn auf der einen Seite kein Zweifel besteht, dass die Erhaltung der gegenwärtig vorhandenen Artenvielfalt nicht möglich ist, so muss auf der anderen Seite klar sein, dass es darum geht, einen möglichst großen Restbestand an Arten zu erhalten. Wenn dieses Ziel, um die Bevölkerung nicht zu überfordern – indem ihr bei jeder Gelegenheit Hunderte von Artnamen genannt werden – häufig auf eine populäre Art „zugespitzt“ wird, so sollten einige Politiker doch allmählich davon Abstand nehmen, den pädagogischen Zweck dieser Vereinfachung durch Formulierungen wie „der Mensch ist wichtiger als ein Grasfrosch“ in das Gegenteil zu verdrehen! Und es sollte auch nicht darüber gestritten werden, ob der Schutz einer bestimmten Art zu rechtfertigen sei, solange ihre funktionelle Bedeutung für die zugehörige Lebensgemeinschaft nicht bewiesen ist. Wenn eine Bibliothek brennt, muss man vor dem Einsatz der Feuerwehr auch nicht beweisen, dass jedes Buch lesenswert ist.

Außerhalb der Naturschutzgebiete gibt es Landschaften oder Teile von Landschaften, deren Zustand noch

mehr oder weniger als naturnah bzw. noch mehr oder weniger dem Typ der Kulturlandschaft entsprechen, die einst durch die traditionelle Landwirtschaft entstanden sind. Wo eine besondere Unterschutzstellung wie durch die Ausweisung als Naturschutzgebiet ausgeschlossen bleiben muss, ist durch das Umweltmanagement zu entscheiden, bis zu welchem Grad dennoch Schutzmaßnahmen möglich sind, ohne die betroffene Bevölkerung wirtschaftlich zu schädigen, mit anderen Worten: die lokalen sozioökonomischen Bedingungen müssen berücksichtigt werden – nicht jedoch zu Lasten kommender Generationen.

Allgemein gültige Rezepte wird es nicht geben. Die Entscheidungen müssen vor Ort getroffen werden. Die Maxime ist klar: Sicherung der Voraussetzungen für eine nachhaltige, standortgerechte Landwirtschaft und für eine nachhaltige ländliche Entwicklung. In seinem Jahresgutachten 1999 hat der WBGU den Rahmen für ein abgestuftes Programm präsentiert. Es sieht drei Gebietskategorien vor: 1. Gruppe: „Naturschutz“: Schutz vor Nutzung, 2. Gruppe: „Mittleres Schutzniveau“: Schutz durch Nutzung und 3. Gruppe: „Wirtschaftliche Nutzung“: Schutz trotz Nutzung.

Einer der wichtigsten Gründe für die geringe Effizienz im Hinblick auf die angestrebte Verzögerung des Artenrückgangs in Naturschutzgebieten ist deren Isolation voneinander. Diesem Zustand soll entgegengewirkt werden. So fordert der WBGU in einer Presseerklärung zum Jahresgutachten 1999: „Neue Schutzgebiete sollen nach ökologischen Kriterien ausgewiesen, die vorhandenen Schutzgebiete in einen Zusammenhang gebracht und in Richtung auf ein Schutzgebietssystem entwickelt werden“. Diese Zielsetzung entspricht dem Programm „Natura 2000“, welches der Ministerrat der Europäischen Union am 5. Mai 1992 beschlossen hat. Es sieht unter Einschluss der Schutzgebiete, die bereits durch die 1979 verabschiedete Vogelschutzrichtlinie entstanden sind, ein EU-weites Schutzgebietssystem auf der Grundlage der FFH-Richtlinie (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie) vor. Hauptziel der FFH-Richtlinie ist die Erhaltung der biologischen Vielfalt und die Bewahrung bzw. Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes der natürlichen Lebensräume und der wildlebenden Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse.

Durch die Schaffung von Biotopverbänden bietet sich eine weitere Möglichkeit an, Schutzgebiete von ihrer Isolation zu befreien. Im Umwelt-Lexikon des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen wird der Biotopverbund als eine „Vernetzung von Biotopen“ definiert, „um den auf diese Lebensräume angewiesenen Tier- und Pflanzenarten Ausbreitung und Austausch zu ermöglichen. Bei der Vernetzung der einzelnen Biotope kommt es darauf an, dass die dazwischen liegenden Acker- und Wiesenflächen möglichst umweltverträglich genutzt werden“. In seiner Regierungserklärung vom Juli

1995 hat der Bayerische Ministerpräsident Dr. Edmund Stoiber die „Schaffung eines landesweiten Biotopverbundes“ angekündigt, der in Art. 1, Abs. 2, Nr. 6 des Bayerischen Naturschutzgesetzes rechtlich verankert ist. Im Jahre 2000 hat der Bayerische Staatsminister für Landesentwicklung und Umweltfragen, Dr. Werner Schnappauf, die Ausweisung von ca. 300 Biotopverbänden angekündigt.

Die Akzeptanz aller dieser Vorhaben zur Verzögerung des Artenrückgangs lässt in der Bevölkerung noch sehr zu wünschen übrig. Unter den Gründen, die dafür in Frage kommen, dürften die folgenden besonders wichtig sein:

1. die Sorge der Landwirte, in einer ohnehin schon bestehenden schwierigen wirtschaftlichen Lage weitere Einbußen hinnehmen zu müssen,
2. die Sorge der Kommunalvertretungen, durch Reduktion der gegenwärtig besonders rasant erfolgenden Expansion von Gewerbeflächen und Freizeitanlagen wirtschaftliche Nachteile in Kauf nehmen zu müssen,
3. durch Unkenntnis der Natur im allgemeinen („Entfremdung von der Natur“) und durch Unkenntnis des Artenrückgangs und seiner Folgen, weil auch einheimische Arten kaum bekannt sind und
4. Unkenntnis über die vorliegenden umfangreichen Zusammenstellungen von Arten und Biotopen, die in den zuständigen Ministerien, in den Landesämtern für Umweltschutz, in den Naturschutzbehörden der Regierungen und der Landratsämter in jahrzehntelanger mühsamer Arbeit entstanden sind. Was man aber nicht kennt, kann man nicht schätzen, und was man nicht schätzt, kann man nicht schützen.

Sowohl die Agenda 21 als auch das „LEADER + - Programm der Europäischen Union (= Liason Entre Actions De – Economie Rurale plus) sieht die Einbindung der Bevölkerung in die Entwicklung und Ausarbeitung der jeweiligen Themen durch „Arbeitskreise“ vor. Auch inhaltlich überschneidet sich der Aufgabenbereich des LEADER + - Programms mit den Kapiteln 14 und 15 im Teil II, vor allem mit Kapitel 14 der Agenda 21: „Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft und ländlichen Entwicklung“. In Abhängigkeit von der jeweils gegebenen wirtschaftlichen Struktur und den speziellen Anforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten kann der Rahmen des Vorhabens auf die jeweilige Region abgestimmt werden, deren Bevölkerungszahl 100.000 nicht überschreiten darf.

Regional auf die Alpen begrenzt, aber unter internationaler Beteiligung (Deutschland, Italien, Österreich, Schweiz), und auf eine breite fachliche Basis gestellt, ist das Projekt: „Gemeinde-Netzwerk Allianz in den Alpen“, welches vom Alpenforschungsinstitut, einer gemeinnützigen GmbH mit Sitz in Garmisch-Partenkirchen geleitet wird. Diese Einrichtung ist quasi eine Folge der Alpenkonvention von 1991 und der Konferenz von Rio de Janeiro (Agenda 21, Kapitel 13). Kennzeichnend ist der Ausbau des Wis-

senschafts-Praxis-Dialoges auf breiter fachlicher Basis, dessen Ergebnisse einem breiten Nutzerkreis zugänglich gemacht werden und insofern zur Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse beiträgt.

Es stimmt hoffnungsvoll, dass überall in unserem Land, in Städten und Regionen, Arbeitskreise gebildet werden, um an Ort und Stelle die Probleme lösen zu helfen, welche einer nachhaltigen Entwicklung im Wege stehen, und darüber hinaus neue Entwicklungsmöglichkeiten zu suchen, unter welchen in ländlichen Gebieten die berufliche Diversifikation der Landwirte in Zukunft immer größere Bedeutung erhalten wird. Alle diese Aktionen könnten dazu beitragen, dass die bisherige Lagerhaltung in Pro und Contra Naturschutz bzw. Wirtschaft, vertreten durch jeweils mächtige Verbände durch ein gemeinsames konstruktives Problembewusstsein ergänzt wird und eines Tages vielleicht sogar durch dieses ersetzt werden kann. Immerhin vertritt der Naturschutz im Prinzip nicht explizit die Interessen seiner Mitglieder, sondern die Interessen aller Menschen – während alle übrigen Verbände jeweils spezielle Berufsgruppen vertreten.

Es geht jedenfalls in Zukunft nicht mehr allein um Schutz auf der einen und Nutzung auf der anderen Seite, sondern um die Sicherung einer lebensfreundlichen Umwelt für die folgenden Generationen durch die Umsetzung von Zielvorstellungen, in welchen das Pro und Contra bereits in Organisationseinheiten außerhalb von Interessenverbänden verarbeitet ist, in einem Satz: Weg vom ritualisierten Streit der Lager und hin zum sachorientierten Diskurs!

Wer sich mit der Forderung nach einer „nachhaltigen Entwicklung“ auseinandersetzt, muss sich jedoch weitere Kenntnisse verschaffen, um die aufrüttelnde Überschrift zu verstehen, die der WBGU in seiner schon mehrmals erwähnten Pressemitteilung zu seinem Jahresgutachten 1999 gewählt hat: „Dramatischer Verlust biologischer Vielfalt gefährdet Chancen zukünftiger Generationen“. Welche „Chancen“ gemeint sind, ergibt sich aus der Bewertung der biologischen Vielfalt nach ökonomischen, ökologischen und ethischen Kriterien (EHRlich & EHRlich 1983, EHRlich 1992).

## 12. Über die Werte der biologischen Vielfalt

Beginnen wir mit ökonomischen Kriterien. Unmittelbar einzusehen ist der *Ressourcenwert* von biologischer Vielfalt. Aus Pflanzen und Tieren werden unzählige Nahrungsmittel, Baumaterialien und andere Güter gewonnen (EHRlich & EHRlich 1983). Seit alters her ist der Wert von Heilpflanzen bekannt. Laut WHO sind 80% der Weltbevölkerung von der Gesundheitsversorgung durch Heilpflanzen abhängig, und es ist bekannt, dass diese z. B. in der von der *Gesellschaft für technische Zusammenarbeit* (GTZ) betreuten Entwicklungszusammenarbeit zunehmend an Bedeutung gewinnen. Insgesamt werden weltweit

mindestens 35.000 Pflanzenarten für medizinische Zwecke eingesetzt, doch beruhen die wichtigsten industriellen Arzneimittelprodukte gegenwärtig auf der Grundlage von nur ca. 90 Arten. Durch die Fortschritte in der Biochemie und der Molekularbiologie werden seit Beginn des letzten Jahrzehnts immer schneller neue Produkte entdeckt bzw. auf ihrer Grundlage neue Produkte entwickelt.

Hierzu nun einige Beispiele (Kleine Senckenberg-Reihe 1996): Im Madagaskar-Immergrün (*Catharanthus roseus*), der bis vor kurzem nur als Gartenpflanze genutzt wurde, fanden Wissenschaftler zwei Verbindungen (*Viblastin* und *Vincristin*), die seitdem erfolgreich bei der Bekämpfung von Leukämie eingesetzt werden. Die Wurzeln von *Rauvolfia serpentina* und *Rauvolfia vomitaria* enthalten Alkaloide, aus welchen man pharmazeutische Präparate hergestellt hat, die sich als blutdrucksenkend erwiesen haben. Vor wenigen Jahren entdeckten Wissenschaftler aus dem Institut für Botanik der Universität Wien in einem Zitrusgewächs (*Glycomis*) schwefelhaltige Amide, die sich sehr wirksam als Schädlingsbekämpfungsmittel einsetzen lassen, im vorliegenden Fall gegen den gefürchteten Reisschädling *Pyricularia*, der gegen die meisten gängigen Mittel bereits resistent ist. Das zur Senkung des Cholesterinspiegels eingesetzte *Mevacor* der Firma Merck stammt aus einem Bodenpilz.

Es ist nicht immer bekannt, welche Rolle die diversen Substanzen (sog. Sekundärstoffwechselprodukte) in Bakterien, Pilzen, Pflanzen und Tieren spielen, doch weiß man aus vielen Fällen, dass sie im Laufe der Stammesentwicklung entstanden sind, um sich in einer feindlichen Umwelt zu behaupten.

Die Suche von biologischem Material „zum Zwecke der Aufbereitung für eine potentielle industrielle Nutzung“ (WBGU 1999) wird als Bioprospektierung bezeichnet. Mit dem Verlust der Artenvielfalt würden der Menschheit unzählige Substanzen verloren gehen, die sie zum Schutz oder zur Heilung von Krankheiten benötigt. Indem durch molekulare Untersuchungstechniken organische Moleküle in kleinsten Mengen identifiziert werden, können sogar die Eigenschaften einzelner Gene analysiert werden. Aus dieser Sicht ist jede Art eine Bibliothek mit vielen Tausenden von Synthesvorschriften, die in Jahrmillionen entstanden sind. Und mit jeder Art, die ausstirbt, geht eine dieser Bibliotheken unwiderruflich verloren, die meisten von ihnen noch bevor ihr Nutzen bekannt geworden ist.

Auch die *Bionik* gehört zu den ökonomischen Kriterien. Sie wird definiert als wissenschaftliche Disziplin, die sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme befasst. Auch hierzu sei ein Beispiel genannt: Nach dem Vorbild der in vielen Millionen Jahren in der Evolution entstandenen Oberflächen auf den Blättern der

Lotuspflanze (*Nelumbo nucifera*) ist die Herstellung von Speziallacken, Dachziegeloberflächen und Gebäudefassaden möglich, welche entsprechende Wirkungen zeigen, wie sie auf den Blättern beobachtet werden: Diese sind nicht nur extrem unbenetzbar, sondern auch hochgradig schmutzabweisend. Ursache dieser Eigenschaft ist ihre Mikrorauhigkeit, die erst mit dem Elektronenmikroskop erkannt werden kann. Man bezeichnet dieses Phänomen als Lotus-Effekt. Er wurde von Prof. Dr. W. Barthlott vom Botanischen Institut der Universität Bonn analysiert (BARTHLOTT 1996).

Bahnbrechende Arbeiten auf dem Gebiet der Bionik hat Professor Dr. W. Nachtigall vom Zoologischen Institut der Universität Saarbrücken mit seinen Mitarbeitern über viele Jahre hinweg durchgeführt und die Ergebnisse in zahlreichen Veröffentlichungen vorgestellt. Unter seinen populären Darstellungen sei auf „Das große Buch der Bionik – Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur“ (NACHTIGALL & BLÜCHEL 2001) hingewiesen. Wer dieses Buch gelesen hat, zweifelt nicht daran, dass Biodiversität eine unschätzbare „Inspirations- und Innovationsquelle für die Technik“ ist (NADER & HILL 1999, HILL & NADER 2000 und Beitrag von NADER in diesem Heft). Eine informationsreiche Abhandlung zum Thema „Bionik – Aus der Werkstatt der Natur“ ist in der Zeitschrift *natur&kosmos* erschienen; sie wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen als Sonderdruck verteilt (März 2002).

Die Bewertung der Biologischen Vielfalt unter dem Aspekt der Ökologie ergibt sich aus der bereits erwähnten Organisation und Funktion der Arten in Lebensgemeinschaften, in welchen die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen ihnen ein wesentliches Element der Selbstregulation sind. Selbstregulation gibt es auch in der größten Organisationseinheit des Lebens: der Biosphäre (= Bereich des Planeten Erde, der von Lebewesen besiedelt ist). So ist seit über 300 Millionen von Jahren der Gehalt an Sauerstoff in der Atmosphäre bei 20,95% stabil (P. CLOUD 1990). Es ist bemerkenswert, dass bei einer Zunahme auf 25% die gesamte Landvegetation durch Feuer zerstört werden würde (LOVELOCK & LODGE 1972).

Der Kohlendioxidgehalt lag vor 160.000 Jahren etwa bei 0,02%. Er stieg dann auf ca. 0,029% (vor ca. 140.000 Jahren) um von nun an bis zum Ende der letzten Eiszeit vor etwa 10.000 Jahren auf ca. 0,02% abzufallen. Unter dem Einfluss der Bedingungen der Nacheiszeit stieg er wieder bis auf 0,029%, um dann unter dem Einfluss des Menschen (Verbrennung fossiler Energieträger, Entwaldung in den Tropen) besonders stark anzusteigen: zwischen 1800 bis zur Gegenwart von 0,029% auf über 0,035%, Tendenz weiterhin steigend.

Aus Vergleichen in der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre von Erde, Venus, Mars u.a.

Planeten haben der englische Atmosphärenforscher J.E. LOVELOCK und die amerikanische Biologin L. MARGULIS schon 1972 die Hypothese aufgestellt, dass die Erde sich durch die Eigenschaften der Biosphäre zu einem homöostatischen System entwickelt habe (GAIA-Hypothese). Heute weiß man, dass die Biosphäre ein kompliziertes Gewebe aus Rückkopplungsschleifen und Ausgleichsprozessen ist, welche die Zusammensetzung der Atmosphäre und das Geschehen in Böden und im Meer steuern. Wenn es nicht gelingt, die globalen, vom Menschen verursachten Veränderungen, wie z.B. Ozonreduktion, Temperaturerhöhung, Kohlendioxidemission und Degradation von Böden zu stoppen, würden alle Bemühungen, eine nachhaltige Entwicklung auf kontinentaler, überregionaler, regionaler und lokaler Ebene zu erreichen, scheitern.

Der Wert der biologischen Vielfalt anhand der ökonomischen und ökologischen Kriterien ergibt sich letztlich somit aus wohlverstandem Eigennutz des Menschen (Anthropozentrismus). Das gilt aber auch für den Annehmlichkeits-, Erholungs- und ästhetischen Wert. Wandern, Fischen, Jagen, Vogelbeobachtung, Tauchen und Naturphotographie u.a. hätten ohne biologische Vielfalt nicht den besonderen subjektiven Wert, der ihm aus dem unmittelbaren Erleben wächst. Und wir fühlen uns moralisch verpflichtet, unseren Nachkommen dieselben Chancen des Erlebens einzuräumen und ihnen ein reiches Entwicklungspotential (Bioprospektierung, Bionik, Pharmazie u.a.) zu hinterlassen. „Jede Organismenart ist ein einzigartiges historisches Produkt. Sie verkörpert ein genetisches Programm, das – einmal gelöscht – evolutiv nie wieder in dieser Form entstehen kann. Wenn wir als *Homo sapiens* heute andere Arten zum Verschwinden bringen, dann reißen wir damit Seiten aus einem Buch heraus, das zum größten Teil noch ungelesen und zudem in einer Sprache geschrieben ist, die wir gerade erst zu entziffern beginnen“ (WEHNER & GEHRING 1990).

Die sich aus dieser Einsicht ergebenden Konsequenzen lassen sich aber nicht aus der Naturwissenschaft ableiten. „Urteile darüber zu ermöglichen, was moralisch gut oder schlecht, wünschenswert oder nicht wünschenswert ist“ (K. JAX, in diesem Heft) ist Aufgabe der Ethik. Man kann diese Wünsche und die sich daraus ergebenden Fragen nicht einfach beiseite lassen, denn der Mensch braucht nun einmal nicht nur Wasser, Luft und Nahrung zum Leben, sondern auch Befriedigungsmöglichkeiten für ästhetische Bedürfnisse oder spirituelle Erfahrungen, die auch einen Umgang mit der Natur einschließen und insofern zu einer Naturethik führen. Naturethik d.h. Ethik des Umgangs mit Arten, Biotopen, Ökosystemen u.a., stößt aber auf schwierige Begründungsprobleme (OTT 1999). Darauf einzugehen, würde den Rahmen dieser Einleitung sprengen. Als Übersicht sei das von der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen

in der „Grauen Reihe Nr. 12“ herausgegebene Bändchen zum Thema „Biodiversität als Problem der Naturethik – Literaturreview und Bibliographie von Th. GALERT (1998) verwiesen.

### **13. Anlass für die Thematik des 5. Franz-Ruttner-Symposiums und kurze Inhaltsangabe der Beiträge**

Als im Frühjahr 2000 die fristgerechte Meldung von FFH-Gebieten an die EU von heftigen Diskussionen begleitet war, fiel auf, dass die Gründe für die Festlegung von FFH-Gebieten kaum zur Sprache gekommen sind. Das aufrüttelnde Signal, welches von der Konferenz von Rio seinen Ausgang genommen und weltweit – nicht nur in der Europäischen Union – zu neuen Aktivitäten geführt hatte, schien am Ort des Handelns auf einen Streit hinsichtlich des Auswahlverfahrens reduziert zu sein.

Eigene Erkenntnisse und Erfahrungen aus den geführten Diskussionen und Zeitungsberichten haben wesentlich zur Aufgabenstellung für das 5. Franz-Ruttner-Symposium beigetragen. Wir, die Organisatoren, haben uns vorgenommen, einen Beitrag zu leisten, um elementare Wissenslücken zum Thema Artenvielfalt und ihre Gefährdung aufzufüllen.

Am Anfang unseres Symposiums steht der Beitrag „Evolution der Vielfalt (Volker Storch). Er informiert uns über die unglaubliche Vielfalt der Lebensformen, über ihr Kommen und Vergehen seit etwa 3,5 Milliarden Jahren, in deren Wurzeln auch die Entwicklung des Menschen ihren Anfang genommen hat.

Diese Vielfalt war nie gleichmäßig über die Erde verteilt. Auch gegenwärtig gibt es, wie wir aus eigener Erfahrung wissen, erhebliche Unterschiede, die am Beispiel der Pflanzen unter dem Thema „Räumliche und zeitliche Muster der Diversität von Pflanzen“ (Stefan Porembski) behandelt werden. Die Gründe sind vielfältig. Zu vielen naturgegebenen Gründen ist mit dem Beginn der Landwirtschaft auch der Einfluss des Menschen in auffälliger Weise hinzugekommen.

Die Arten sind aber nicht nur ungleichmäßig verteilt, sondern auch in vielfältiger Weise organisiert, in Gilden, Lebensgemeinschaften, Ökosystemen. Auch die Biosphäre ist eine Funktionseinheit des Lebendigen. Der Beitrag „Die ökosystemare Bedeutung der Biodiversität“ (Karl Eduard Linsenmair) führt in die zentralen Fragestellungen der modernen Ökologie, in welchen die Beziehungen zwischen Vielfalt und Funktion einen besonderen Stellenwert einnehmen, und es wird der Frage nachgegangen, weshalb es in der Evolution der Biosphäre den unverkennbaren Trend zu wachsender Biodiversität gegeben hat.

In den folgenden 5 Beiträgen wird der Wert der biologischen Vielfalt behandelt. Im ersten Beitrag „Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt“ (Stefan Baumgärtner) wird begründet, weshalb die biologi-

sche Vielfalt ein ökonomisches Gut darstellt und worin ihr Wert besteht. Auf dieser Grundlage werden die Konsequenzen für ihren Schutz abgehandelt und es wird gezeigt, welcher Beitrag von der Ökonomie für dieses Ziel geleistet werden kann.

Im Beitrag „Bionik – Was ist das?“ (Werner Nachtigall) wird dargestellt, wie in dieser verhältnismäßig jungen Wissenschaft nach dem Motto: „Natur als Vorbild“ mit der Arbeit begonnen und wie diese mit der Herstellung von Produkten beendet wird, die aber keine Nachahmung des jeweiligen Vorbildes sind, sondern durch zweckgebundene Anpassungen für den menschlichen Bedarf darüber hinausgehen.

Im Vortrag „Chemische, biologische und bionische Prospektion: Neue Wege zum Schutz biologischer Vielfalt“ (Werner Nader) wird, wie der Titel andeutet, nicht nur der Nutzen aus der biologischen Vielfalt, der anhand zahlreicher Beispiele belegt wird, sondern auch das Problem des Schutzes der Biodiversität in den Entwicklungsländern behandelt. Es ist in der Tat ein Riesenproblem, dass das größte Angebot für die chemische und biologische Prospektion in den Regenwäldern der Entwicklungsländer liegt, von diesen aber im Gegensatz zu den reichen Industrieländern nicht genutzt und sein Wertpotential nicht einmal geahnt wird mit der Folge, dass diese Wälder einem gigantischen Zerstörungsprozess ausgesetzt sind.

Im Beitrag „Ohne die Erhaltung der Biodiversität keine erneuerbaren Ressourcen!“ (Clas Naumann) wird gezeigt, dass dem Menschen nach dem Verbrauch der nicht erneuerbaren (fossilen) Ressourcen nur dann eine Chance zum Überleben bleibt, wenn es ihm gelungen ist, die Biodiversität mit ihren unzähligen Nutzungsmöglichkeiten aus erneuerbaren Ressourcen zu erhalten.

Im Beitrag „Warum soll Biodiversität geschützt werden? Das Problem der Bewertung der Biodiversität aus umweltethischer Sicht“ (Kurt Jax) wird klar gestellt, dass sich alle unsere Bewertungen, wie z.B. gut oder schlecht, wünschenswert oder nicht wünschenswert keineswegs unmittelbar aus der Naturwissenschaft ergeben, sondern aus unserer Grundstimmung. Die Ethik wird als Theorie der Moral definiert. Sie prüft unsere Bewertungen auf Kohärenz und Widerspruchsfreiheit und versucht sie unter Anwendung bestimmter methodischer Regeln zu begründen. Die Schlussfolgerung, dass der Begriff „Biodiversität“ in seiner heutigen Verwendung oft aus Fakten und Werten besteht, zeigt, dass der Ethik in den grundlegenden gesellschaftspolitischen Diskussionen ein unverzichtbarer Stellenwert zukommt.

Die folgenden 4 Beiträge befassen sich mit Beispielen aus dem Bereich Forschung und Umsetzung. Im Beitrag „Biodiversität braucht Platz“ (Stefan Halle) werden die Arten – Areal -Beziehung und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen für die Konzepte der minimalen Populations- und Schutzge-

bietsgrößen behandelt, die im Landschaftsmanagement von besonderer Bedeutung sind.

Im Beitrag „Landnutzung und Biodiversität – Beispiele aus Mitteleuropa“ (Jörg Pfadenhauer) wird zunächst der Unterschied zwischen der vorindustriellen und der industriellen Landwirtschaft und ihrer Folgen herausgestellt. Anschließend wird die Aufgabenstellung präzisiert: Produktivität auf hohem Niveau zur Sicherung des Einkommens der landwirtschaftlichen Betriebe unter Beibehaltung der noch vorhandenen Vielfalt oder deren Förderung durch Renaturierung. Anhand von zwei Beispielen werden vielversprechende Lösungswege aufgezeigt.

Im Beitrag „Was will der Naturschutz und was sind Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege“ (Wolfgang Schumacher) werden 3 Ziele des Umweltmanagements in den Vordergrund gestellt, durch welche das Berufsfeld der Landwirte eine zukunftsfähige Erweiterung erfahren hat und in Zukunft noch mehr als bisher erfahren wird: der biotische, der abiotische und der ästhetische Ressourcenschutz.

Im Beitrag „Auf dem Weg zu einem Biotopverbund, Untersuchungen, Fakten, Probleme, Empfehlungen“ (Otto Siebeck) wird am Beispiel des zu entwickelnden Biotopverbundes zwischen den Naturschutzgebieten Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte und Seeoner Seen dargestellt, wie auf der Grundlage der Arten- und Biotopschutzkartierung des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz und den von der Unteren Naturschutzbehörde der Landratsämter Rosenheim und Traunstein betreuten Umsetzungsmaßnahmen durch „wissenschaftliche Begleituntersuchungen“ Zielvorstellungen entstanden sind, die mit den in der Agenda 21 formulierten Aufgabenstellungen im Einklang stehen.

## Literatur

BARTHLOTT, W. (1996):

Natur hilft Technik – der Lotuseffekt. Informationsblatt des Botanischen Instituts der Universität Bonn.

BARTHLOTT, W.; G. KIER & J. MUTKE (1999):

Globale Artenvielfalt und ihre ungleiche Verteilung. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 215: 7-22.

BARTHLOTT, W. & M. GUTMANN (Hrsg.) (2000):

Biodiversitätsforschung in Deutschland, Potentiale und Perspektiven. Graue Reihe. Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen. Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH, 73 S.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ – LfU (Hrsg.) (1997):

Biotopkartierung in Bayern. Rother Druck GmbH München, 18 S.

BEGON M.; J.L. HARPER & C.R. TOWNSEND (1991):

Ökologie – Individuen-Populationen-Lebensgemeinschaften. Verlag Birkhäuser Basel-Boston-Berlin, 1024 S.

BRANDL, R. & R. PFEIFER (1993):

Rebhuhn und Brachvogel – vom Kulturfolger zum Kulturflüchter. In: *Rundgespräche der Kommission für Ökologie*,

Bd. 6, Dynamik von Flora und Fauna – Artenvielfalt und ihre Erhaltung. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 115-125.

BRUNDTLAND-REPORT (1987):

Our Common Future. World Commission on Environment and Development. Oxford/New York (Oxford University Press. 89 S.

BUND NATURSCHUTZ IN BAYERN e.V. (2001 ):

Position. Zukunft für die Landwirtschaft. Agrarpolitische Forderungen des Bundes Naturschutz. BN Service GmbH, 28 S.

BUSCH, K-F.; D. UHLMANN & G. WEISE (1989):

Ingenieurökologie, VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 488 S.

CLOUD, P. (1990):

Die Biosphäre. In: *Atmosphäre, Klima, Umwelt*, Spektrum der Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 230 S.

CZIHAK G.; H. LANGER & H. ZIEGLER (1976):

Biologie – Ein Lehrbuch für Studenten der Biologie. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York. 837 S.

DFG DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (1992):

Beurteilung von Pflanzenschutzmitteln in aquatischen Ökosystemen. Rundgespräche und Kolloquien. Hrsg.: R. Heitefuss. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 173 S.

EHRlich, P. & A. EHRlich (1983):

Extinction. The Causes of the disappearance of Species. New York (Random House), 305 S.

EHRlich, P.R. (1992):

Der Verlust der Vielfalt. In: *Ende der Biologischen Vielfalt?* Hrsg.: E.O. Wilson. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, New York, 39-45.

EUROPÄISCHE COMMISSION (1998):

Understanding Biodiversity. A research agenda prepared by the European Working Group on Research and Biodiversity (EWGRB). Hrsg.: M. Catizzone, T-B. Larsson & L. Svensson. Ecosystems Research Report 25, ISBN 92-828-4279-7, 118 S.

FABIAN, P. (1992):

Atmosphäre und Umwelt. 4. Auflage Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 144 S.

GALERT Th. (1989):

Biodiversität als Problem der Naturethik. Literaturreview und Bibliographie. Graue Reihe 12. Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen, Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH, 118 S.

GILBERT, J.J. & R. S. STEMBERGER (1984):

Asplanchna – induced polymorphism in the rotifer *Keratella slacki*. *Limnol. Oceanogr.* 29: 1309-1316.

GIEICH, M.; D. MAXEINER, M. MIERSCH & F. NICOLAY (2000):

Life Counts – Eine globale Bilanz des Lebens. Berlin Verlag, 287 S.

HABER, W. (1990):

Einführung in das Rundgespräch „Welche Natur wollen wir schützen?“ In: *Rundgespräche der Kommission für Ökologie „Welche Natur wollen wir schützen?“* Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 11-14.

———— (1992):

Naturschutz und Landschaftspflege – Ursprünge, Gegenwartsprobleme und Zukunftsperspektiven aus naturwissenschaftlicher Sicht. In: *Umwelt- und Technikrecht 20*, Hrsg.: R. Breuer, M. Kloepfer, P. Marburger u. M. Schröder, R.v. Decker's Verlag G. Schenck, 5.27.

- HABER, W. & J. SALZWEDEL (1992):  
Umweltprobleme der Landwirtschaft – Sachbuch Ökologie. Hrsg.: Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung u. Carl Ernst Poeschel Verlag GmbH, Stuttgart, 176 S.
- HANK, K. & H. TRENKEL (1994):  
Zukünftige Erscheinungsformen landwirtschaftlicher Betriebe – Eine Prognose mit Hilfe der Delphi-Technik. Ber. über Landwirtschaft, 72: 123-145.
- HAVEL, J.E. & S.I. DODSON (1984):  
Chaoborus predation on typical and spined morphs of *Daphnia pulex*: Behavioral observations. Limn. Oceanogr. 29: 487-494.
- HILL, B. & W. NADER (2000):  
Biologische Systeme, eine unerschöpfliche Innovationsquelle. In: Biologie in unserer Zeit, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 30, 2: 88-96.
- KAULE, G. (1986):  
Arten- und Biotopschutz. UTB Große Reihe. Verlag Ulmer Stuttgart, 461 S.
- KLEINE SENCKENBERG-REIHE 22 (1996):  
Agenda Systematik 2000, Erschließung der Biosphäre – Eine weltumspannende Initiative zur Entdeckung, Beschreibung und Klassifizierung aller Arten der Erde. Hrsg.: F. Steininger, Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt a. Main, 55 S.
- KNAPP, H.D. (2000):  
Geschichte des Naturschutzes. In: Naturschutz in Entwicklungsländern. Neue Ansätze für den Erhalt der biologischen Vielfalt. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Bundesamt für Naturschutz (BfN) & Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm. Max Kasperek Verlag Heidelberg, 27-46.
- KOCH, W. (1993):  
SO<sub>2</sub> einst und jetzt – im Zusammenhang mit Waldschäden. Rundgespräche der Kommission für Ökologie. In: Probleme der Umweltforschung in historischer Sicht. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München. 7: 95-106.
- LAMPERT, W.; R. TOLLRIAN & H. STIBOR (1994):  
Chemische Induktion von Verteidigungsmechanismen bei Süßwassertieren. Naturwissenschaften 81: 375-382.
- LAMPERT, W. (1992):  
Der Stand der aquatischen Ökotoxikologie – aus der Sicht eines Ökologen. In: Beurteilung von Pflanzenschutzmitteln in aquatischen Ökosystemen. Hrsg: DFG Rundgespräche und Kolloquien. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 147-161.
- LINSENMAIR, K. E. (1995):  
Biologische Vielfalt und ökologische Stabilität. In: Wissenschaft in der globalen Herausforderung, Hrsg.: H. Markl, Edition Universitas, S. Hirzel, Wissenschaftl. Verlagsges. Stuttgart, 267-295.
- LOVELOCK, J.E. & J.P. LODGE (1972):  
Oxygen in the contemporary atmosphere. Atmospheric environment, 6: 575-578.
- MARKL, H. (1986):  
Natur als Kulturaufgabe – Über die Beziehungen des Menschen zur lebendigen Natur, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 391 S.
- MAYR, E. (1979)  
Evolution und die Vielfalt des Lebens. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 275 S.
- MILLER, T.G. (1995):  
Environmental Science. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, A Division of Wadsworth, Inc., 539 S.
- MOHR, H. (1995):  
Qualitatives Wachstum – Lösung für die Zukunft. Weinbrecht Verlag In: K. Thienmanns Verlag, Stuttgart u. Wien, 240 S.
- MYERS, N. (1992):  
Tropische Wälder und ihre Arten: Dem Ende entgegen? In: Ende der biologischen Vielfalt? Hrsg.: E.O. Wilson, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, 46-52.
- NACHTIGALL, W. & K.G. BLÜCHEL (2001):  
Das große Buch der Bionik 2. Aufl. Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart-München, 399 S.
- NADER, W. & B. HILL (1999):  
Der Schatz im Tropenwald, Biodiversität als Inspirations- und Innovationsquelle. Shaker Verlag, 54 S.
- NISBET, E.G. (1991):  
Leaving Eden. To protect and manage the Earth. Cambridge University Press, 440 S.
- (1994):  
Globale Umweltveränderungen: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten, Klima, Energie, Politik. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford, 445 S.
- NORTON, B.G. (1986):  
Hrsg. The Preservation of Species: The Value of Biological Diversity, Princeton/NY. Princeton Univ. Press.
- OTT, K. (1999):  
Ethik und Naturschutz. In: Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege. Hrsg: W. Konold, Böcker, R. & Hampe, U., ecocom Landsberg, II-7: 1-17.
- PATZIG, G. (1995):  
Kann die Natur Quelle moralischer Normen sein? In: Gut und Böse in der Evolution, Hrsg.: S. M. Daecke & C. Bresch, Edition Universitas, S. Hirzel, Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft Stuttgart, 85-98.
- RIPL, W. (1995):  
Nachhaltige Bewirtschaftung von Ökosystemen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. In: Nachhaltigkeit aus naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive, Hrsg.: P. Fritz, J. Huber & H.W. Levi, Edition UNIVERSITAS, S. Hirzel, Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft Stuttgart, 69-80.
- RÖCK, H. (1998):  
Eiswissen und Lernkurve. Natur, Menschheit, Technik. Verlag A. Erdl OHG, Trostberg, 186 S.
- SENCKENBERGISCHE NATURFORSCHENDE GESELLSCHAFT (1997):  
Biodiversitätsforschung – Ihre Bedeutung für Wissenschaft, Anwendung und Ausbildung, Fakten, Argumente und Perspektiven. Hrsg.: Prof. Dr. Fritz Steininger, 68 S.
- STUMM, W. (1978):  
Die Beeinträchtigung aquatischer Ökosysteme durch die Zivilisation.- In: Verhandl. der Gesell. Deutsch. Naturf. u. Ärzte, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 25-33.
- TOLLRIAN, R. & S.I. DODSON (1999):  
Predator induced defenses in cladocerans. In Tollrian, R. & C.D. Harvell (Eds.), Ecology and Evolution of Inducible Defenses. Princeton University Press, Princeton, NY, 177-202.
- TOLLRIAN, R. & C.D. HARVELL (Eds.) (1999):  
The Ecology and Evolution of Inducible Defenses. Princeton University Press, Princeton, NY. 383 S.
- TREPL, L. (1986):  
Geschichte der Ökologie. Vom 17. Jahrhundert bis zur Gegenwart. Athenäum, Frankfurt a. Main (Athenäum Taschenbücher), 280 S.

- WEHNER, R. & W. GERING (1990):  
Zoologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 816 S.
- WEIZSÄCKER VON, E.U. (1989):  
Erddpolitik, Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum  
Jahrhundert der Umwelt. Wissensch. Buchgesellschaft,  
Darmstadt, 295 S.
- WIESER, W. (1993):  
Wandlungen ökologischer Konzepte. In: Rundgespräche  
der Kommission für Ökologie. Hrsg. Bayer. Akad. d. Wis-  
sensch.: Probleme der Umweltforschung in historischer  
Sicht. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 15-19.
- WILSON, E. O. (1992):  
Der Wert der Vielfalt. Die Bedrohung des Artenreichtums  
und das Überleben des Menschen. Piper Verlag GmbH,  
München, 512 S.
- (Hrsg.) (1992):  
Ende der biologischen Vielfalt? Spektrum Akademischer  
Verlag, Heidelberg, Berlin, New York, 557 S.
- WBGU (= Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung)  
(1994):  
Welt im Wandel – Die Gefährdung der Böden, Economica  
Verlag, Bonn, 287 S.
- (1999):  
Welt im Wandel – Erhaltung und nachhaltige Nutzung der  
Biosphäre, Metropolis Verlag GmbH, Marburg, 149 S.
- WISSEL, Ch. (1995):  
Nachhaltigkeit aus der Sicht der ökologischen Modellie-  
rung In: Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und so-  
zialwissenschaftlicher Perspektive. Edition UNIVERSI-  
TAS, Hrsg.: P. Fritz, J. Huber, J. & H.W. Levi, Wissen-  
schaftl. Verlagsgesellsch. Stuttgart, 127-131.
- YASUNO, M.; T. HANAZATO, T. IWAKUMA, K. TAKA-  
MURA, R. UENO & N. TAKAMURA (1988):  
Effects of permethrin on phytoplankton and zooplankton in  
an enclosure ecosystem in a pond. *Hydrobiologia* 159: 247  
258.

**Anschrift des Verfassers:**

Univ.Prof. Dr. Hans Otto Siebeck  
ARGE Biotopverbund  
Am Mühlberg 23a  
D-83093 Bad Endorf

# Die Evolution der Vielfalt

Volker STORCH

## Gliederung

### 1. Ediacara-Fauna: präkambrische Vielzeller

### 2. Paläozoikum (Erdaltertum)

- 2.1 Kambrium
- 2.2 Ordovizium
- 2.3 Silur
- 2.4 Devon
- 2.5 Karbon
- 2.6 Perm

### 3. Mesozoikum (Erdmittelalter)

- 3.1 Trias
- 3.2 Jura
- 3.3 Kreide

### 4. Känozoikum (Erdneuzeit)

- 4.1 Tertiär
- 4.2 Quartär

### Zusammenfassung/Summary

### Literatur

Die Erde hat nach heute vorherrschender Ansicht ein Alter von etwa 4,6 Milliarden Jahren. Die Entstehung des Lebens auf der Erde erfolgte vor knapp 4 Milliarden Jahren, sichere Lebensspuren sind etwa 3,5 Milliarden alt.

Vergleicht man die Geschichte der Erde mit einem Kalenderjahr, dann war es Mitte November, als das Phanerozoikum begann, jene Zeit, in der sich die vielzelligen Organismen auf der Erde entfaltet haben. Das Phanerozoikum begann mit dem Kambrium, in dem zum ersten Mal in der Erdgeschichte uns vertraute Tierstämme in größerer Zahl auftraten. Die genannten Zahlen machen deutlich, welchen Schwierigkeiten wir gegenüberstehen, wenn wir die Evolution der Vielfalt in der Erdgeschichte darstellen wollen (NIELSEN 1995). Dazu kommen noch riesige, geradezu unvollstellbare Artenzahlen: Nach verbreiteter Ansicht sind bis heute etwa 1,5 Millionen rezente Tier- und 500 000 Pflanzenarten beschrieben worden, und sie stellen weniger als 10%, vielleicht sogar weniger als 1% der Arten dar, die jemals auf der Erde gelebt haben. Es hat also bis zur Gegenwart vielleicht Milliarden von Tier- und Pflanzenarten gegeben, zuzüglich einer unbekanntem Zahl von Prokaryoten. Wenn man dann bedenkt, dass bisher „nur“ einige hunderttausend Fossilien-Arten beschrieben wurden, wird deutlich, wie schwierig die Beurteilung der Evolution der Vielfalt ist. In Abb. 1 wird der Versuch unternommen, die wichtigsten Schlüsselereignisse in der Evolution zusammenzustellen.

## 1. Ediacara-Fauna: präkambrische Vielzeller

Die Präkambrium-Kambrium-Grenze war nicht so scharf, wie man früher glaubte. Schon vor etwa 700 Millionen Jahren gab es eine offenbar weit verbreitete, spätpräkambrische, marine, vorwiegend bodenbewohnende vielzellige Fauna, die nach dem ersten Fundort, den Ediacara Hills in Südastralien, Ediacara-Fauna genannt wird. Sie ist auch aus dem südlichen Afrika, aus China, Russland und Großbritannien bekannt.

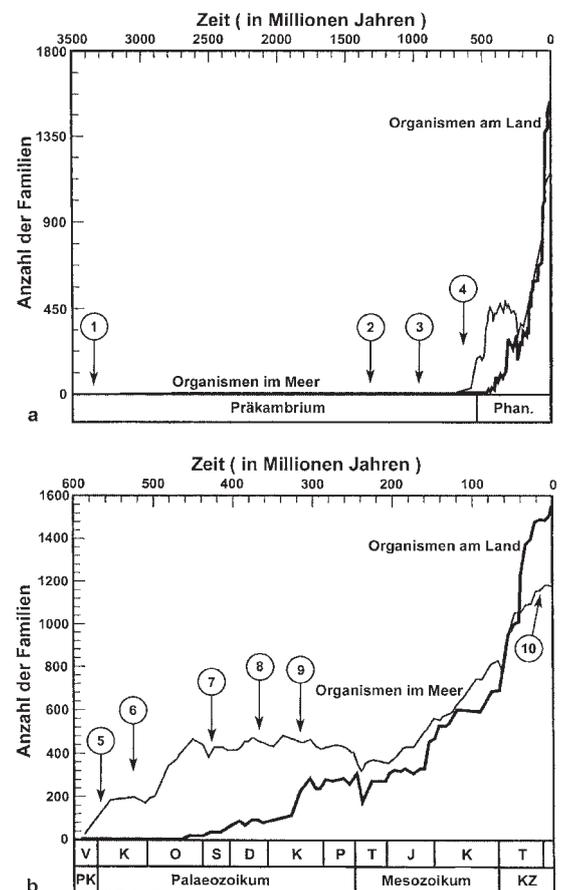


Abbildung 1

Entfaltung des Lebens mit der Kennzeichnung von zehn Zeitpunkten, zu denen jeweils eine besonders wichtige Neuerung nachweisbar ist.

a: Darstellung der 3,6 Mrd. Jahre, in denen es Leben auf der Erde gibt,

b: Darstellung des Phanerozoikums.

1 Ursprung des Lebens auf der Erde, 2 Eukaryoten, 3 Vielzelligkeit, 4 Hartstrukturen, 5 Räuber, 6 Riffe, 7 Besiedlung des Landes, 8 Bäume/Wald, 9 Flug, 10 Bewusstsein. Nach BENTON & HARPER (1997).

Abb. 2 vermittelt einen Eindruck der Ediacara-Fauna. Allem Anschein nach sind mit ihrem Entstehen die Stromatolithen stark zurückgegangen: Einzeller wurden durch Vielzeller verdrängt. Über die Hälfte der Fossilien der Ediacara-Fauna ähneln Cnidariern, meist Medusen oder Seefedern; ein Viertel erinnert in starkem Maße an Anneliden, eine kleine Minderheit wird zu den Arthropoden gestellt. Dieser verbreiteten und eigentlich gut begründeten Sichtweise (GLAESSNER 1984) wird auch widersprochen (SEILACHER 1989). Es wird argumentiert, dass die Elemente der Ediacara-Fauna mit dem Ende des Präkambriums (im Vendium) zum großen Teil ausgestorben sind, und dass ihre Baupläne etwas ganz Besonderes waren. Autoren, die diese Sichtweise eines frühen Seitenzweiges der Evolution akzeptieren, bezeichnen diese Organismen als Vendozoa. In der frühen Phase der Metazoen-Entfaltung gibt es in der Tat erhebliche Interpretationsschwierigkeiten. Das abgeflachte *Tribrachidium* (Abb. 2a) mit seiner Dreiersymmetrie ähnelt keinem rezenten Organismus, bei der ebenfalls abgeflachten *Parvancorina* (Abb. 2b) handelt es sich eventuell um eine frühe Trilobitenlarve. Leichter ist die Einordnung der „medusoiden Formen“ wie *Ediacaria*, *Cyclomedusa*, *Medusinites* und *Beltanella*, die in der Tat heute lebenden Medusen ähnlich sind; auch ist die Zuordnung der „pteridinoiden Formen“ (z.B. *Pteridinium*, *Glaessnerina*, *Charnia* (Abb. 2c) und *Rangia*) in das Umfeld der Seefedern nachvollziehbar. Bei den „sprigginoiden Formen“, z.B. *Spriggina* (Abb. 2d), gibt es jedoch schon wieder erheblichen Interpretationsspielraum: Sind es wirklich Anneliden, die keine Borsten hatten?

Auffällig ist, dass alle Ediacara-Formen eine im Verhältnis zum Körpervolumen sehr große Oberfläche besaßen und manche abgeplattet waren und wohl dem Substrat auflagen, z.B. die bis 1 m lange, aber nur 3 mm dicke *Dickinsonia* (Abb. 2e). Dieser Lebensformtyp lässt auch an eine Ernährung über Symbionten denken, die vielleicht photosynthetisch tätig waren. In der Tat war das flache, lichtdurchflutete Wasser der Hauptlebensraum der Ediacara-Fauna. Bemerkenswert ist weiterhin, dass Skeletteile selten sind und dass die Weichteilerhaltung vorzüglich ist. Die geringe Ausbildung von Skelettelementen wird mit dem Mangel an Räubern, die gute Erhaltung der Weichteile mit dem Fehlen von Aasfressern erklärt. Die Ediacara-Fauna verschwand weitgehend im Kambrium. Insgesamt hatte sie über 100 Millionen Jahre am Boden der Meere vorgeherrscht.

## 2. Paläozoikum (Erdaltertum)

Im Paläozoikum waren bald die meisten der auch heute noch existierenden Tierstämme vorhanden. In Kambrium und Ordovizium existierte tierisches Leben nur im Meer, pflanzliches Leben war im Kambrium fast nur durch Algen vertreten. Im Silur breiteten sich die ersten Gefäßpflanzen auf dem Festland aus, und Arthropoden wie Skorpione und Tausendfüßer folgten. Ende Silur kam die für Europa und Nordamerika wichtige Kaledonische Gebirgsbildung zum Abschluss. Der im Devon bei der Kollision von Laurentia und Baltica entstandene Old-Red-Kontinent war durch Pflanzen schon relativ dicht besiedelt; hier gingen die Wirbeltiere an Land. Im Karbon erreichte die variscische Gebirgsbildung ihren Höhe-

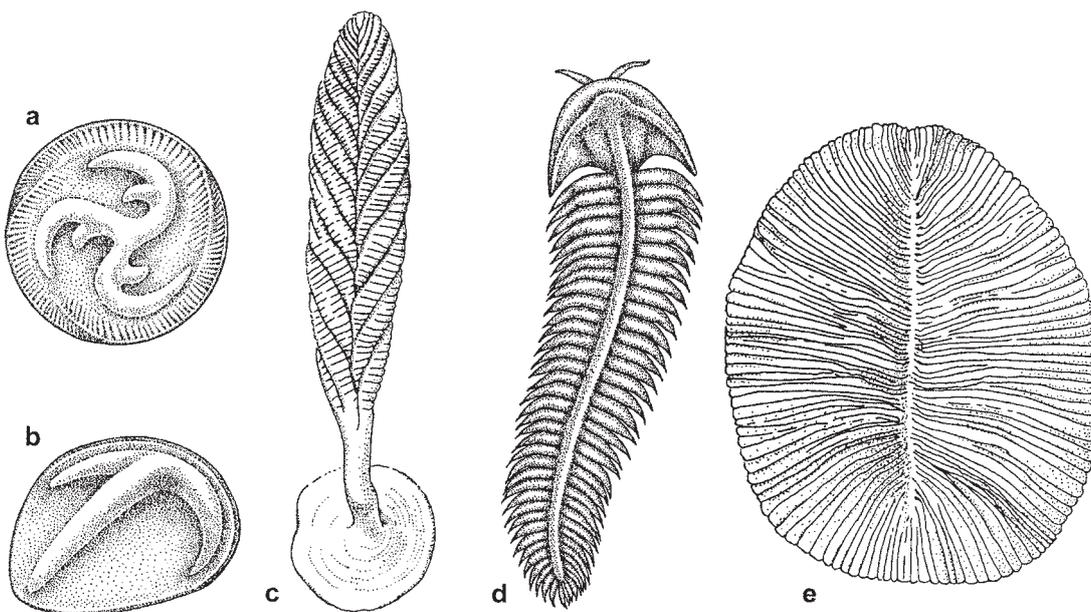


Abbildung 2

Ediacara-Fauna. a: *Tribrachidium*, b: *Parvancorina*, c: *Charnia*, d: *Spriggina*, e: *Dickinsonia*.

punkt. Im Vorland des dabei entstandenen Gebirges und auf dessen Rumpf entwickelten sich Sümpfe mit baumhohen Bärlappgewächsen (Siegel- und Schuppenbäumen), Schachtelhalmen und Farnen, es erwuchs die Grundlage vieler Steinkohlevorkommen. Auf dem Südkontinent herrschte über Teile von Karbon und Perm eine intensive Eiszeit, in Mitteleuropa wurden im Perm unter aridem Klima riesige Salzlagertstätten gebildet.

## 2.1 Kambrium

Die erste Periode des Paläozoikums, das Kambrium markiert den Beginn der Überlieferung von Fossilien in großer Zahl und an vielen Fundorten auf der Erde. In dieser Zeit kam es allem Anschein nach zu einer so raschen Entstehung verschiedener Konstruktionstypen von Tieren, dass man auch von der „kambrischen Explosion“ spricht. Jedoch ist auch diese Entwicklung in geologischen Zeitmaßstäben zu sehen; sie ist in Millionen von Jahren erfolgt. Noch kann man diese rasche Entwicklung nicht mit Sicherheit erklären. Lag es an der vermehrten Verfügbarkeit von molekularem Sauerstoff? Machte die Entstehung eines Ozongürtels eine Kontinuität der DNA möglich, die jetzt weniger mutagener Strahlung ausgesetzt war? Waren auf DNA-Ebene so viele Funktionsmodule (z.B. Bauplan-Gene) entwickelt, dass durch deren verschiedene Kombination viele neue Formen entstehen konnten? Sind Transgressionen zu Beginn des Kambriums nach der jungpräkambrischen Vereisung wesentlich an der Diversifizierung beteiligt, da durch sie große Flachmeerbereiche mit photosynthetisierenden Organismen entstanden? Festzuhalten bleibt, dass alle oder fast alle damals existierenden Organismen auf das Meer beschränkt waren. Der Meeresspiegel war im Kambrium sehr hoch und blieb es auch über den größten Teil des Ordoviziums. Für ein Leben im Süßwasser gibt es keine unumstrittenen fossilen Belege, der terrestrische Bereich war noch kaum besiedelt. Wenn bisher fast nur von Tieren die Rede war, bedeutet das lediglich, dass sie als Fossilbelege vorliegen. Der freie Sauerstoff, den sie für die Atmung brauchten, stammt zu über 99% aus der Photosynthese. Im frühen Paläozoikum, so schätzt man, betrug die Sauerstoff-Konzentration der Atmosphäre etwa 10% des heutigen Wertes.

Eine Besonderheit der Organismen, die sich im frühen Kambrium (in den ersten 20 Mio. Jahren, dem Tommotium) in verschiedenartiger Weise entfalten, sind deren Hartteile. Zum größten Teil können wir diese keiner bestimmten Tiergruppe zuordnen, einige sind uns jedoch durchaus vertraut, da wir sie in ähnlicher Form von heute lebenden Schwämmen und Weichtieren kennen. Tommotium-Elemente sind im Unterkambrium Sibiriens besonders intensiv untersucht worden, aber auch z.B. aus China und Grönland bekannt. Ihr Name geht auf die Stadt Tommot (südlich Jakutsk) zurück. Die Hartteile bestehen aus Carbonat, Phosphat oder können auch organisch sein. Da sie etwa 10 Millionen Jahre vor den Trilobi-

ten auftraten und es kaum Vergleichbares in der späteren Fauna gibt, divergieren die Interpretationen verschiedener Paläontologen erheblich.

Auf die vergleichsweise kurze Zeitspanne des Tommotiums folgte ein Zeitraum, in dem eine große Zahl mariner Organismen entstand, die ebenfalls Hartteile ausbildeten: Dies wird als wesentlicher Fortschritt in der Evolution angesehen und als Wehrhaftigkeit gegenüber Fressfeinden interpretiert. Solche Hartteile dürften vielfach auch eine Stütz- oder Skelettfunktion besessen haben.

Oft bestanden sie aus Carbonatmaterialien, z.B. Calciumcarbonat, und parallel zu den Skelettstrukturen in Organismen entstehen in der Erdgeschichte auch Kalksteinschichten. Das hat schon Linné im 18. Jahrhundert prägnant formuliert: „Aller Kalk kommt vom Lebendigen“. Wichtigster Ort der Carbonatbildung sind die Meere. Die Verhältnisse liegen ähnlich wie beim schon erwähnten freien Sauerstoff: Die Organismen haben einen wesentlichen Teil der Welt, in der sie leben, selbst hervorgebracht (STORCH, WELSCH & WINK 2001).

Einen besonders guten Einblick in eine spezielle kambrische Tierwelt liefern die Fossilien der Rocky Mountains in Kanada. Diese marine Fossilagerstätte liegt heute am Burgess-Pass in fast 3.000 m Höhe und ist eine der berühmtesten Fundstätten der Erde. Die hier 1909 von dem amerikanischen Paläontologen Charles D. Walcott entdeckten mittelkambrischen Formen waren weit verbreitet und enthalten eine Fülle von Arthropoden, aber auch weichhäutige Tiere, wahrscheinlich bis hin zu den ersten bekannten Chordaten. Zu ihrer Fossilisation kam es unter sehr günstigen Umständen: Das Milieu im bodennahen Wasser muss praktisch sauerstofffrei gewesen sein, Aasfresser und auch zersetzende Bakterien gab es nicht oder kaum, weiche Tierkörper zeichnen sich als Abdrücke oft bis in Einzelheiten ab. Walcott barg bis 1917 über 60 000 Fundstücke und unterschied im Burgess-Schiefer 70 Gattungen und 130 Arten, die er rezenten Taxa zuordnete. Heute ist man der Ansicht, dass die Fossilien des Burgess Shale aus einer gigantischen Radiation, insbesondere der Arthropoden, stammen. Die meisten sind noch im Kambrium wieder ausgestorben.

So stellte Walcott *Opabinia*, eine segmentierte Form mit fünf großen Komplexaugen und einem langen Rüssel zu den Krebsen. Heute steht diese Gattung für einen der vielen „Versuche“ in der Evolution, der wieder „aufgegeben“ wurde. Diese neue Sichtweise geht insbesondere auf Harry B. WHITTINGTON (1985) zurück, der seit den 1970er Jahren aufgrund vieler neuer Fundstücke zu der Annahme kam, dass der Fossilinhalt des Burgess Shale ein Experimentierfeld der Evolution widerspiegelt. Allein innerhalb der Arthropoden unterscheidet man jetzt zwischen 10 und 20 Konstruktionstypen, die sich rezenten Gruppen nicht zuordnen lassen (CONWAY MORRIS 1998).

Unter den weichhäutigen Tieren dominieren die Priapuliden, eine heute nur noch mit etwa 20 Arten existierende Reliktgruppe mariner Benthosbewohner. Die fossile Gattung *Ottoia* (Abb. 3a) weist eine große Ähnlichkeit mit der noch etwas älteren *Maotianshania* aus der Chengjiang-Formation im Süden Chinas (s. unten) und dem rezenten *Halicryptus* auf (Abb. 3b) auf. Eine solche Konstanz der äußeren Gestalt – über eine halbe Milliarde Jahre konserviert – ist ein Extrem im Tierreich.

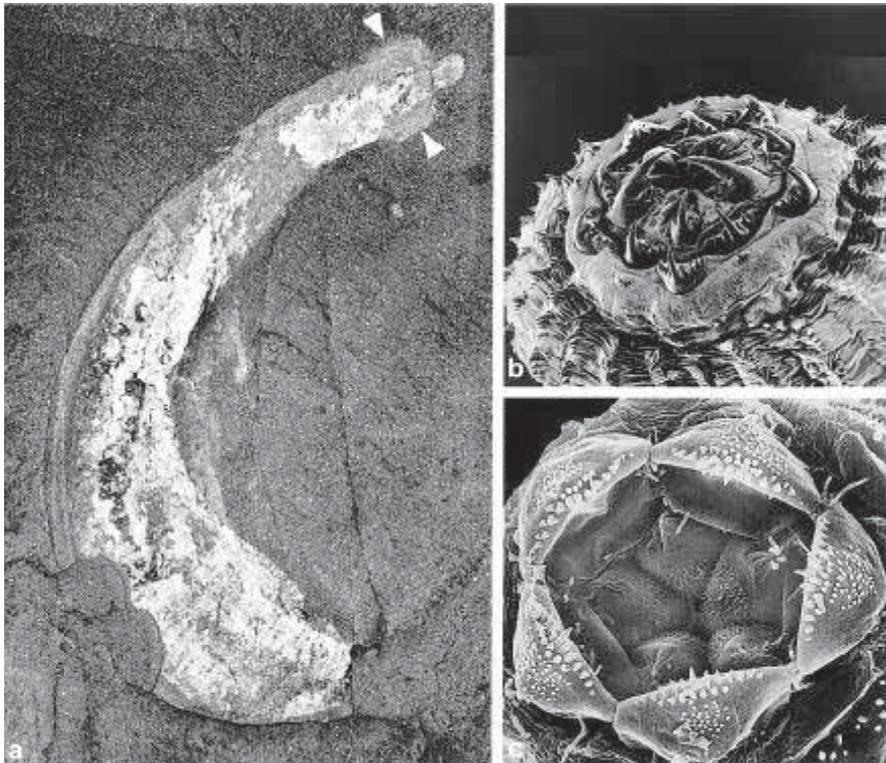
Andere Gruppen weisen dagegen kaum Ähnlichkeiten mit heutigen Organismen auf, z.B. *Wiwaxia*, die von manchen Autoren zu den Mollusca gestellt wird. Insbesondere die Fülle der Arthropoden der Burgess-Fauna, die derzeit in etwa 30 Gattungen gegliedert werden, zeigt, dass hier in der Evolution „experimentiert“ wurde: Zahlreiche Konstruktionstypen entstanden, die meisten verschwanden wieder. *Anomalocaris* (Abb. 4a) war mit 60 cm Länge der größte Arthropode des Burgess Shale, allein seine vorderen Extremitäten erreichten 18 cm Länge; sein Mund war von harten Zähnen gesäumt. Allem Anschein handelte es sich um einen Räuber. *Sanctacaris* (Abb. 4b) wird in die Reihe der Chelicerata eingeordnet, *Kottixerxes* (Abb. 4c) war durch Doppelsegmente gekennzeichnet. Der häufigste Arthropode war *Marrella* (Abb. 4d), von dem viele tausend Stücke gefunden wurden; er lässt sich nicht mit Sicherheit in das Sy-

stem einordnen. All diese Formen lebten in flachem Wasser auf Schlamm- oder Sandbänken.

Die auf Schwämmen gefundene *Aysheaia* stellen die meisten Autoren zu den Onychophoren. Auch Polychaeta sind aus dem Burgess Shale bekannt, z.B. *Canadia* und *Burgessochaeta*. *Hallucigenia* weist ebenfalls metamere Strukturen auf. Ihre besonders langen Fortsätze wurden erst als Laufbeine, jetzt als Rückenanhänge interpretiert (CONWAY MORRIS 1998).

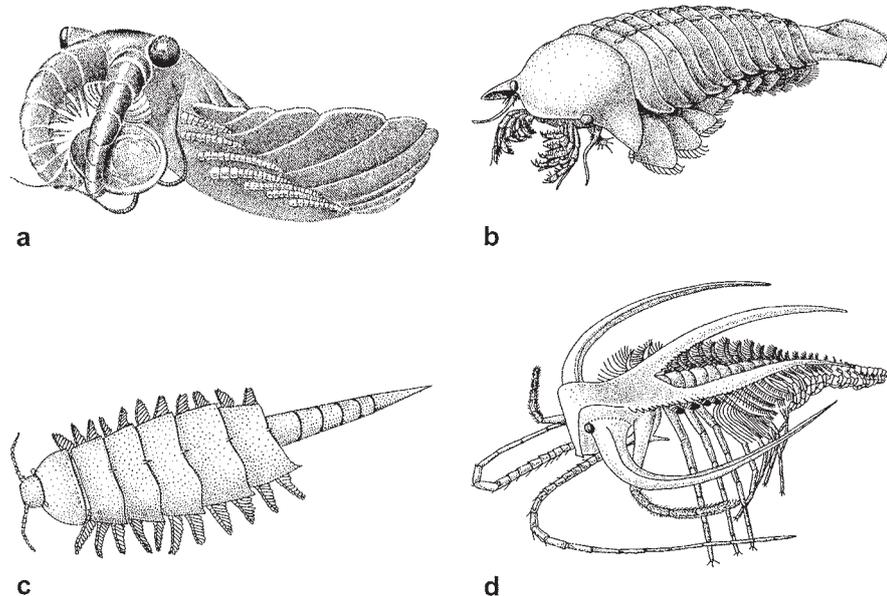
Im Jahre 1984 entdeckte man die Chengjiang-Fauna in Yunnan (China), die etwa 30 Mio. Jahre älter ist als die vom Burgess-Pass. Sie steht dem Beginn des Kambriums sehr nahe, und ihre Weichteilerhaltung ist vorzüglich. Bisher kennt man ca. 80 Arten, die zum Teil eine große Ähnlichkeit mit der Burgess-Fauna haben. Weitere Entdeckungen, z.B. in Grönland, führten zu der Ansicht, dass die Burgess-Fauna globale Verbreitung hatte, wenn auch „nur“ im Kambrium.

Die „kambrische Explosion“, auch „Big Bang“ in der Evolution der Tiere genannt, wird als die rascheste und am stärksten differenzierende Radiation in der gesamten Geschichte der Tiere angesehen. Diese hohe Geschwindigkeit erklärt man teilweise mit der Entwicklung von Räubern, die allem Anschein nach in der Ediacara-Fauna noch fehlten. Durch sie ist offenbar ein starker Selektionsdruck auf andere Organismen entstanden. Außerdem waren die Meere noch



**Abbildung 3**

**Priapulida. a: *Ottoia prolifica*; diese häufige Art aus dem Burgess Shale erreichte 20 cm Länge. Die Pfeile zeigen auf das ausgestülpte Introvert, mit dem sich die Tiere im Substrat verankerten. b: Introvert der verwandten rezenten Gattung *Halicryptus*. c: Introvert einer rezenten Priapuliden-Larve.**



**Abbildung 4**

**Arthropoden des Burgess Shale: a: *Anomalocaris*, b: *Sanctacaris*, c: *Kottixerxes*, d: *Marrella*.**

„leer“. Fast alles, so sieht man es heute, konnte sich entwickeln, denn die Konkurrenz war gering. Später, in einer dichter besetzten Welt – im Wasser wie am Land – war dieses „Experiment“ nicht wiederholbar. Die dominierenden Fossilien dieser Zeit sind nicht die spektakulären Formen des Burgess Shale, sondern Trilobita, die über die Hälfte der bekannten Fossilien des Kambrium darstellen, die Brachiopoda (30%) und die Archaeoajathida (5%).

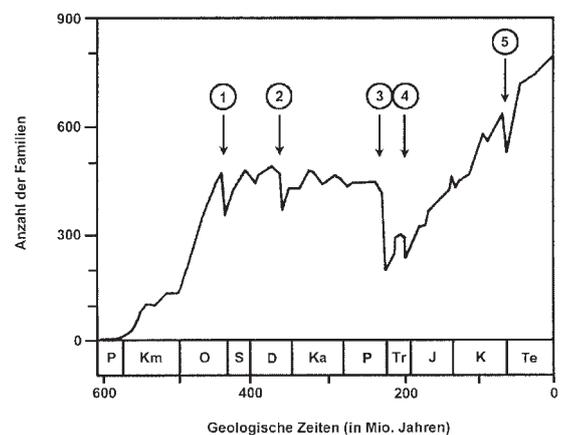
### 2.2 Ordovizium

Das Ordovizium ist vor allem durch das Vorkommen von Graptolithen, aber auch durch die adaptive Radiation anderer Tiergruppen, insbesondere der Weichtiere, gekennzeichnet. Die paläogeographischen Verhältnisse sind ähnlich wie im Kambrium: Gondwana lag auf der Südhalbkugel; Baltica, Laurentia und Sibiria bewegten sich aufeinander zu.

Im späten Ordovizium erfolgte das erste von mindestens fünf Massenaussterben im Phanerozoikum (Abb. 5). Weitere reduzierten die biologische Vielfalt im Devon, Ende des Perm, Ende der Trias und an der Kreide-Tertiär-Grenze. Das sechste Massenaussterben, durch den modernen Menschen bedingt, erfolgt vor unseren Augen. Die fünf Massenaussterben vor unserer Zeit sind durch große Verluste an Organismen gekennzeichnet; anschließend erfolgten jeweils umfangreiche Radiationen. Über die Ursachen der Massenaussterben besteht keine absolute Klarheit (STORCH, WELSCH & WINK 2001)

### 2.3. Silur

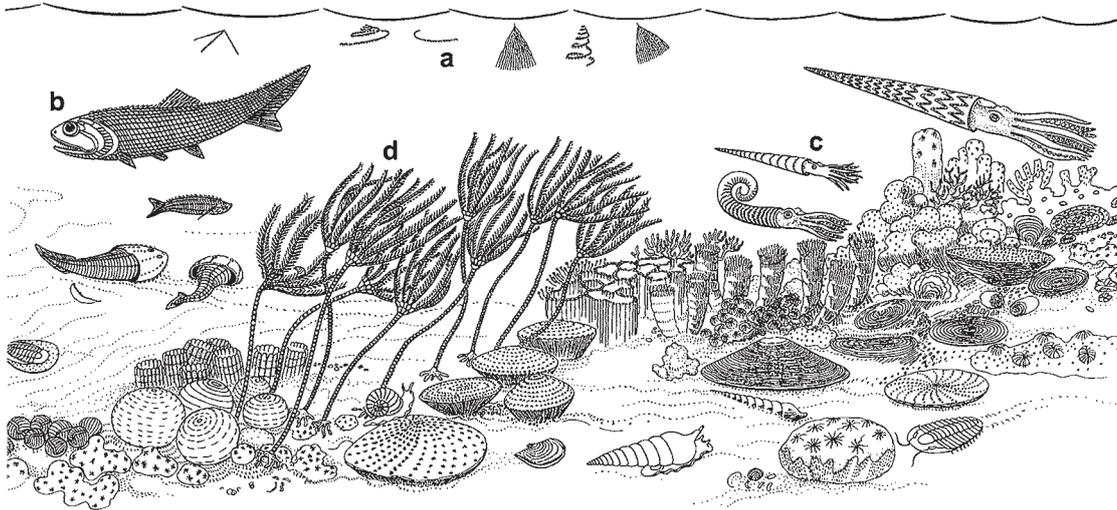
Das Silur ist die kürzeste Periode des Paläozoikums. Aus dieser Zeit kennen wir besonders viele Organismen aus Gesteinen im südlichen Schweden. Südschweden, aber auch Südgrönland und das Gebiet



**Abbildung 5**

**Aussterberaten mariner Organismen, die aufgrund ihres Skelets leicht fossilieren.** Die Pfeile 1-5 zeigen die Massenaussterben (nach SEPKOSKI 1982).

der Hudson Bay waren damals besonders warme Gebiete. Zu jener Zeit entstanden in Nordamerika und Sibirien durch Verdunstung von Meerwasser umfangreiche Salzlager. Die Mannigfaltigkeit der Organismen übertraf offenbar die des Ordoviziums. Die häufigsten Gesteine sind Graptolithen-Schiefer, Brachiopoden-Mergel und Korallen- sowie Stromatoporen-Kalke. Mehrere marine Gruppen, die sich im Ordovizium entfaltet hatten und an dessen Ende fast ausstarben, entfalteteten sich im Silur abermals. Auffallend waren Riffkomplexe mit stark differenziertem, tierischem Leben: sie waren reicher entwickelt und größer als im Ordovizium (Abb. 6). Haupttrifflbildner waren Anthozoa, insbesondere *Rugosa* und *Tabulata*, sowie Stromatoporen. Tabulaten-Stromato-



**Abbildung 6**

**Das Meer im Silur.** Im freien Wasser lebten **a:** Graptolithen, **b:** diverse Panzerfische und **c:** Cephalopoden. Am Boden lebten Seelilien (z.B. **d:** *Laubeocrinus*), verschiedene koloniale Korallen (z.B. *Halysites* und *Favosites*) und Einzelkorallen (z.B. *Entelophyllum*) (nach SCHÄFER, Senckenberg-Museum 2000).

poren-Riffe erhoben sich stellenweise etwa 10 m über den umgebenden Meeresgrund und konnten mehrere Kilometer Länge erreichen. Dazu kamen z.B. verschiedene Brachiopoden-Gruppen und auch Muscheln (die Brachiopoden ersetzten) und Schnecken sowie Moostierchen und Seelilien. Das nördliche Europa lag im Bereich des Äquators; daran erinnert zum Beispiel die schwedische Insel Gotland, die aus Riffkomplexen besteht (SCOTese & McKERROW 1990). Die auffälligste Radiation betrifft die Graptolithen. Da die einzelnen Arten meist nur eine kurze Lebensdauer besaßen und weit verbreitet waren, eignen sie sich, wie schon im Ordovizium, sehr gut als Leitfossilien. Die Trilobiten jedoch gehen weiter zurück.

Nach der ordovizischen Eiszeit, die eine globale Regression bewirkt hatte, war der Beginn des Silur durch eine Transgression markiert. In Silur und Devon war der Meeresspiegel weltweit überwiegend hoch. Es kam zu großräumiger Sedimentation unter häufig sehr geringer Wasserbedeckung, doch finden sich beispielsweise im Devon des Rheinischen Schiefergebirges auch ausgesprochene Tiefwassersedimente. Eine einschneidende Neuerung im Silur sowie im anschließenden Devon war die Eroberung des freien Wasserkörpers, des Pelagials, durch mehrere Tiergruppen.

Das Leben außerhalb des Wassers war im Silur noch spärlich entwickelt. Es erschienen die ersten Gefäßpflanzen auf dem Land, die Psilophytatae. Sie waren zunächst auf Sumpfbereiche beschränkt und überzogen das Festland mit einer immer größer werdenden Vielfalt. Ihre Sprosse besaßen noch keine Blätter, echte Wurzeln fehlten ihnen auch noch. Ihre Sporangien befanden sich in endständiger Position (BELL & HEMSLEY 2000, CHRISTNER & KÜHNER 1989).

Das Landleben der Pflanzen brachte erhebliche evolutionäre Neuerungen mit sich: Epidermis mit Spaltöffnungen (Stomata) zum Gasaustausch und mit Cuticula (als Verdunstungsschutz), Wurzeln bzw. Rhizoiden zur Verankerung und zum Transport, Leitgewebe mit Xylem aus Tracheiden zum Wasser- und Ionentransport sowie Phloem zum Transport organischer Stoffe, verschiedene Mechanismen zur Stabilisierung des Pflanzenkörpers (Lignin, Sklerenchym), Umhüllung der Gametangien (Archegonien und Antheridien) und der Meiosporangien mit einem Mantel steriler Zellen. Entwicklung der Zygote zu einem Embryo im Schutze der Mutterpflanze, Meiosporen mit Sporopollenin-Innenwand, Reduktion der haploiden Gametophyten, heteromorpher Generationswechsel, diploide Sporophytengeneration mit Kormusbauplan (Achse, Wurzel, Blatt).

Am Ende des Silur erschienen bärlappähnliche Gefäßsporenpflanzen, und mit der terrestrischen Vegetation entstand Lebensraum und Nahrungsquelle für viele Tiere, z.B. Skorpione, Spinnen und Tausendfüßer, alles Formen mit Chitincuticula. Wie Pflanzen hatten auch Tiere das Problem des Verdunstungsschutzes zu lösen. Im Gegensatz zu Pflanzen machen die genannten Tiere regelmäßige Häutungen (Ecdysis) durch; Volumen- und Längenwachstum erfolgen also in Schüben (Ecdysozoa). Der Gasaustausch erfolgt bei vielen durch sehr zarte Einstülpungen der Körperoberfläche (Buchlungen, Tracheen).

#### 2.4. Devon

Das Devon war das Zeitalter des großen Nordkontinentes (Old-Red-Kontinent, Abb. 7), an dessen Südrand bis 5.000 m mächtige Sedimentschichten entstanden. Aus dieser Zeit stammt der Hunsrückschiefer, der in einer Meeresbucht mit sauerstoffarmem Tiefenwasser entstand. Umfangreiche Riffe, z. B. im

## Devon

390 Mio. Jahre vor heute

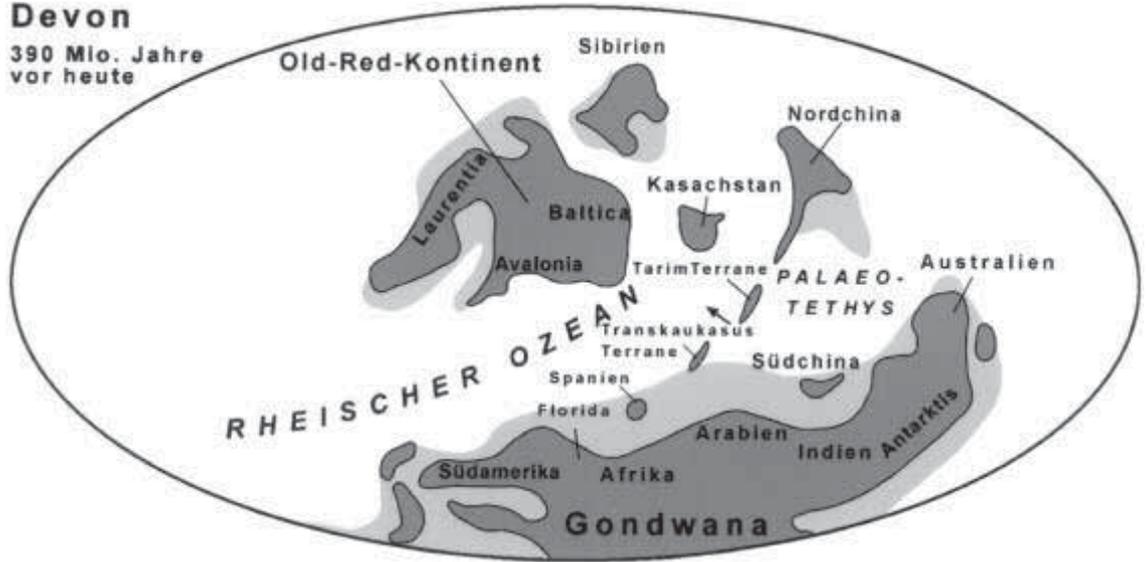


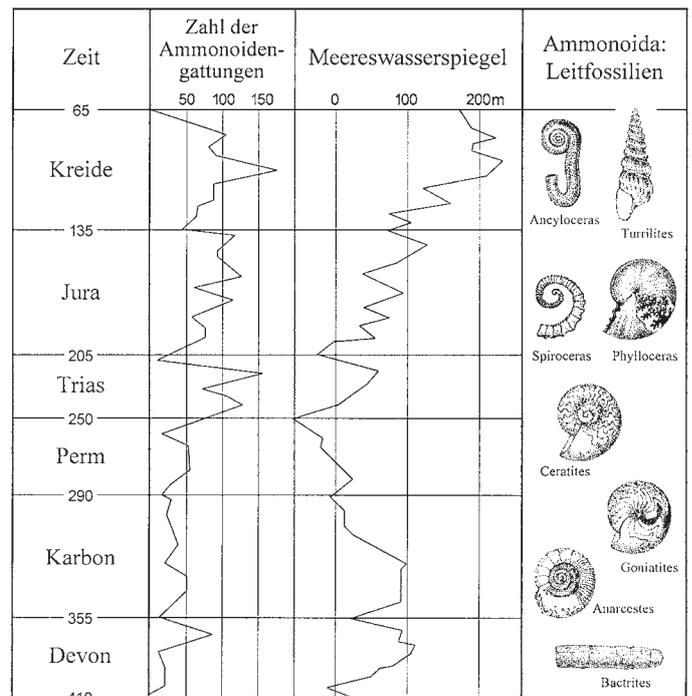
Abbildung 7

**Die paläogeographische Situation im Devon:** Avalonia – von Gondwana stammend – hat sich an Laurentia-Baltica angeschlossen (Akkretion). Es ist der Old-Red-Kontinent entstanden. Außer ihm liegen Sibirien, Kasachstan und Nordchina auf der Nordhalbkugel. Der Rheische Ozean trennt die Nordkontinente von Gondwana (nach SCOTSE & WERTEL 2000).

Abbildung 8

### Verteilung der Ammonoidea in der Zeit.

Die Anzahl der Gattungen ist mit dem Meeresspiegel korrelierbar: War dieser hoch, gab es auch viele Gattungen. In Zeiten extremer Transgression gab es Heteromorphie. Beachte die grossen Aussterbeereignisse Ende des Devon, Ende des Karbon, im Perm, Ende der Trias und Ende des Jura, die jeweils mit sinkendem Meeresspiegel zusammenfallen (aus STORCH, WELSCH, WINK 2001).



Rheinischen Schiefergebirge, sind ein Hinweis auf relativ hohe Temperaturen. Viele Formen wärmeliebender mariner Flachwasserorganismen hatten eine besonders weite Verbreitung (von KOENIGSWALD & MEYER 1994).

Seit dem Devon haben sich die Ammonoidea zu einer umfangreichen Gruppe entwickelt, die mit etwa 10.000 bekannten Arten die Meere bis zur Kreide-Tertiär-Grenze besiedelte. Über 350 Millionen Jahre spielten sie in marinen Lebensräumen eine wichtige

Rolle. Ihre wechselhafte Geschichte ist gut mit dem Spiegel der Weltmeere korrelierbar und auf Abb. 8 wiedergegeben.

Im Devon entfalteten sich die Gnathostomata geradezu explosiv. Sie besitzen einen Kieferapparat, der sich aus dem vorderen Kiemenbogensystem der Kieferlosen, der Agnatha, entwickelt hat. Dieser Neuerwerb erwies sich rasch als erfolgsbringendes Instrumentarium, das den Gnathostomata eine dominierende Stellung in den devonischen Meeren verlieh, und

das ein bemerkenswertes evolutives Potential zur Weiter- und Höherentwicklung in sich barg. Die Agnatha verschwanden weitgehend und sind heute nur noch mit wenigen Formen, den Myxinoidea (Schleimaalen) und Petromyzonta (Neunaugen) vertreten.

In das Devon fällt der Landgang der Wirbeltiere. Im Oberdevon gingen aus den Crossopterygii die ältesten labyrinthodonten Amphibien hervor: die Ichthyostegida (Dachschädler), die 1931 in Lagerstätten Grönlands entdeckt wurden. Grönland lag damals äquatornah, und *Ichthyostega* ist ein Organismus, der wasserlebende Fische und landlebende Tetrapoden verbindet, also ein „connecting link“: mit Fischschwanz und pentadactylen Laufextremitäten. Die Crossopterygii oder Quastenflosser benutzten ihre reich mit Muskeln versorgten Flossen auch dazu, sich abzustützen und sogar am Land fortzubewegen. Auf diese Weise konnten sie austrocknende Gewässer verlassen und fürs Überleben günstige Wasseransammlungen aufsuchen. Die sogenannte „Eroberung des Landes“ war bei ihnen also eigentlich eine aus Not geborene Verhaltensweise, die das Überleben ermöglichte. Nahrung gab es am Land noch nicht genug; es musste das nächste Gewässer gefunden werden.

Der endgültige Milieuwechsel vom Wasser zum Land war mit erheblichen Umgestaltungen des Gesamtorganismus verbunden. Besonders betroffen waren Bewegungsapparat, Harnorgane und Atmungssystem. Die Crossopterygii waren Doppelatmer: Kiemen und Lungen-Schwimmbblasen-Organ dienten dem Gasaustausch. Letzteres entstand vielleicht schon am Beginn der Gnathostomata und wird bei den Tetrapoden das zentrale Atmungsorgan.

Auch die großflächige Eroberung des Landes durch Pflanzen mit Stützgewebe, Wurzeln, Leitungssystemen, Verdunstungsschutz sowie Spaltöffnungen fällt in das Devon. Die Psilophytatae, „Nacktpflanzen“ Nackt- oder Urfarne genannt, besiedelten Küstensäume und feuchte Niederungen. Die bekannteste Form war *Rhynia* aus dem Psilophyten-Moor von Rhynie bei Aberdeen in Schottland. Es handelt sich um eine bis 30 cm hohe, blattlose Pflanze, deren gegabelte aufrechte Stengel aus kriechendem Spross entspringen und am Ende Sporangien tragen. Verkieselte Pflanzen blieben so gut erhalten, dass wir außer ihrer Gestalt auch den Aufbau ihrer Gewebe kennen.

Die Psilophytatae waren im Unterdevon teilweise noch submers; nur ihre Sporangien ragten über die Wasseroberfläche hinaus. Spaltöffnungen und Cuticula waren nur im oberen Bereich der Pflanzen entwickelt. Bekannte Gattungen dieser ursprünglichen Gruppe waren *Taeniocrada* und *Zosterophyllum*. Erstere umfasste Wasser- und Landpflanzen, letztere bildete in Verlandungszonen ausgedehnte Bestände. *Taeniocrada* ist eine der häufigsten Pflanzen im Unterdevon des Rheinlandes und kann hier verhältnis-

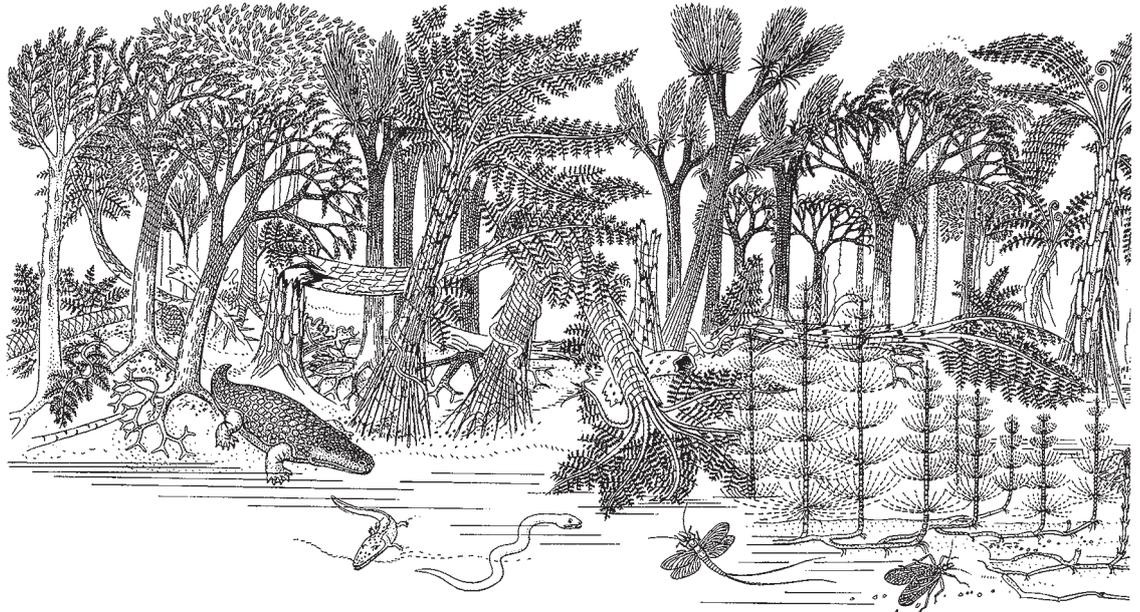
mäßig leicht als Fossil gefunden werden. Sie bildete sogar kleine Kohleflöze. Die Gattung *Sawdonia* spielt eine besondere Rolle für die Ableitung der Bärlappe; sie ist aus der Eifel bekannt. Schon im Oberdevon starben die Psilophytatae aus. Ihnen folgten Lycopodiatae, Filicatae, Equisetatae und den Nacktsamern nahestehende Formen („Progymnospermae“).

## 2.5 Karbon

Das Karbon ist die Zeit der tropischen Steinkohlewälder. Seine untere Grenze ist durch eine rasche Veränderung der Pflanzenwelt gekennzeichnet. Das Klima war auf der Nordhemisphäre tropisch-feucht, und Mitteleuropa und Nordamerika lagen in der Nähe des Äquators. Zum ersten Mal in der Erdgeschichte kam es zu wirklich umfangreichem Pflanzenwachstum (Abb. 9) und anschließend zu riesigen Ablagerungen von organischem Material, aus denen die mächtigsten Steinkohlelager der Erde entstanden. Auf der Südhalbkugel war es dagegen überwiegend kühl-gemäßigt. Antarktis, Australien, Afrika, Arabien, Südamerika und Indien bildeten den großen Südkontinent Gondwana, auf dem auch der von einem dicken Eispanzer bedeckte Südpol lag. In der Tat fällt in das Karbon auch eine Eiszeit, die der im Pleistozän nicht nachstand. Die Flora Gondwanas wird zu dieser Zeit nach einer häufigen Pflanze *Glossopteris*-Flora genannt. *Glossopteris* war ein Farnsamer (Pteridospermae). Er hatte einfache, zungenförmige Blätter. Die große Diversität der Gruppe offenbart sich in ihren vielgestaltigen Fruktifikationen.

Tektonogenetisch ist das Karbon durch die in mehreren Impulsmaxima verlaufende Variscische Gebirgsbildung gekennzeichnet. Das variscische Gebirge erstreckte sich von Amerika über Nordafrika, Spanien und das französische Zentralmassiv bis zu den Sudeiten und dem polnischen Mittelgebirge. Zu ihm gehören unter anderem das Rheinische Schiefergebirge, Harz, Spessart, Schwarzwald sowie Erzgebirge. Die variscische Gebirgsbildung endete im Perm und war in der Schlussphase von starkem Vulkanismus begleitet. Einhergehend mit der Orogenese entstanden vor und auf dem Gebirge Senkungsräume mit riesigen Sümpfen, den größten, die es im Erdaltertum in Europa gab. Insgesamt waren die Veränderungen, die sich auf dem Festland ereigneten, weitaus tiefgreifender als im Meer. Weite Gebiete lagen etwa in der Höhe des Meeresspiegels, der jedoch schwankte, so dass riesige Waldgebiete wiederholt überschwemmt wurden und abstarben, aber später wieder nachwachsen. Die Meeresspiegelschwankungen gehen auf Vereisungsphasen zurück.

Die karbonische Meeresfauna entsprach einer verarmten devonischen. Die Korallen (Tabulata und Rugosa) zeigten einen deutlichen Rückgang. Seit dem Niedergang der Tabulaten-Stromatoporen-Riffe im Devon blieben Riffe im jüngeren Paläozoikum von untergeordneter Bedeutung und spielten keine größere ökologische Rolle mehr. Die Trilobiten waren dem



**Abbildung 9**

**Karbonwald mit Baumfarnen (*Psaronius*), Schuppenbäumen (*Lepidodendron*), Siegelbäumen (*Sigillaria*), Schachtelhalmen (*Calamitina*) und einigen Tieren im Vordergrund (Panzerlurch *Eryops*, schlangenähnlichem Amphib (*Aistopoda*) und den Insekten (*Homoioptera* und *Heterologopsis*) (nach SCHÄFER, Senckenberg-Museum 2000).**

Aussterben nahe, Graptoliten und Placodermen verschwanden vollständig. Foraminiferen und Ammonoiten (Goniatiten!) dagegen zeigten eine deutliche Entfaltung. Innerhalb der Cephalopoden entstand eine neue und erfolgreiche Gruppe: die Belemnoidea. Ihre nach innen verlagerte Schale war relativ groß. Nach Einzelfunden zu urteilen, waren seitliche Flossen und 10 Arme mit Haken ausgebildet. Belemnoidea sind insbesondere als „Donnerkeile“ überliefert.

Die stark gepanzerten gnathostomen Fische wurden durch beweglichere Formen ersetzt. Im Benthos entwickelten sich die Crinoiden zu großer Mannigfaltigkeit. In vielen Meeren bildeten sie geradezu Rasen. Auf sie, Foraminiferen und Bryozoen gehen viele unterkarbonische Kalksteine (Kohlekalk) zurück. Fusulinen, bis 10 cm lange, spindelförmige Foraminiferen, machten in Ober-Karbon und Perm eine adaptive Radiation durch: Aus permischen Gesteinen wurden etwa 5000 Arten beschrieben. Für Ober-Karbon und Perm stellen sie wichtige Leitfossilien dar. Bryozoen bildeten Riffe, so die netzförmige Fensterella und die schraubige Gattung *Archimedes*. Brachiopoden stellten einige Leitfossilien und gelegentlich Riesenformen (*Gigantoproductus*). Unter den Muscheln ist *Posidonia becheri* eine bekannte Leitform, die man im Rheinischen Schiefergebirge finden kann.

Auf dem Festland entwickelten sich zahlreiche Insekten und Spinnentiere in einer reichhaltigen Vegetation. Damit verbunden entstanden die ersten Landschnecken, die von Pflanzensubstanz leben. Die In-

sekten, die seit dem Devon bekannt sind, nahmen wichtige ökologische Rollen ein und eroberten den Luftraum. Bereits seit dem Oberdevon gab es die Urflügler (Palaeodictyoptera) mit seitlich abstehenden, starren Flügeln. Im Karbon lebten die vermutlich größten Insekten aller Zeiten, Libellen der Gattung *Meganeura* aus Frankreich mit einer Flügelspannweite von 75 cm. Auch Ephemeroptera, Orthoptera und Blattodea sind im Karbon nachgewiesen, so dass man von einer reichen Insektenfauna ausgehen darf, allerdings fehlten holometabole Insekten noch. Unter den Tausendfüßern erreichte *Arthropleura* eine Länge von über 2 m. Vermutlich lebte diese Form von abgestorbener Pflanzensubstanz; sie ist z.B. aus dem Saarland, aus Nordrhein-Westfalen und Sachsen bekannt. Auch Spinnentiere erreichten im Karbon ungewöhnliche Ausmaße: *Megarachne* aus Argentinien maß 34 cm Körperlänge, die Spannweite ihrer Laufbeine lag bei 50 cm.

Unter den Wirbeltieren dominierten in terrestrischen Habitaten zunächst die Amphibien, später die Reptilien. Die starke Entwicklung der Amphibien dürfte eng mit der reichen Vegetation zusammenhängen, die in ausgedehnten Senken und um Seen umfangreiche Wälder bildete. Karbon, Perm und Trias markieren die Blütezeit der Amphibien. In Steinkohlensümpfen lebten u.a. die Ichthyostegalia. Sie wurden bis 5 m lang. Aus dem Karbon kennen wir auch die ältesten Reptilien. Ihre Unterschiede zu den Amphibien sind noch gering und betreffen z.B. verschiedene Schädelmerkmale wie Gaumendach und Innenohr. In dieser Zeit muss auch die besondere Embryonalentwicklung der Amnioten entstanden sein, also die

Entwicklung des Embryos in der flüssigkeitsgefüllten Amnionhöhle („ancestraler Teich“), die wiederum in einer wenig durchlässigen Embryonalhülle entsteht. Zu den Amnioten zählen alle Wirbeltiere oberhalb der Amphibien, also Reptilien, Vögel und Säugetiere, in deren ontogenetischer Entwicklung ein wasserlebendes Larvenstadium, das ja für die Amphibien typisch ist, fehlt. Hinsichtlich ihrer Lebensweise werden sie vom Wasser relativ unabhängig, was ihnen neue terrestrische Entfaltungsräume erschließt.

## 2.6 Perm

Das Perm gliedert sich in die fast ausnahmslos festländischen Ablagerungen des Rotliegenden (Unterperm) und die überwiegend marinen des Zechsteins (Oberperm).

Das Rotliegende besteht vor allem aus roten Sanden und Konglomeraten, den Abtragungsprodukten des im Karbon entstandenen variscischen Gebirges. Die darüber folgenden Sedimente des Zechsteins entstanden im Meer, welches über die eingeebneten Gebirge hin weite Teile im Norden und Nordosten Mitteleuropas überschwemmte. Im damals vorherrschenden Wüstenklima kam es im Nordeuropäischen Becken zur wiederholten Eindampfung in größtem Ausmaß, und es entstanden mächtige Gips-, Stein- und Kalisalzlager. Das Nordeuropäische Becken reichte im Westen bis England, im Osten bis Weißrussland, im Süden bis Heidelberg und im Norden bis weit in die Nordsee hinein. In seinem Inneren (Niedersachsen, Mecklenburg) sind die zyklisch entstandenen Salzlager bis 7000 m mächtig. Man schätzt, dass sie im Verlauf von etwa 20 000 Jahren entstanden sind, also 1 m Salz in 20 Jahren hinzukam. Diesen Ereignissen ist zu verdanken, dass Deutschland heute eines der Länder mit den größten Salzvorkommen ist. Gegen Ende des Perms zog sich das Meer zurück, die Festländer wurden ausgedehnter denn je. Im Süden der Erde (auf Gondwana) lagen weite Landstriche unter einer dicken Eisschicht.

## 3. Mesozoikum (Erdmittelalter)

Zu Beginn des Mesozoikums waren alle größeren Landmassen noch in dem Superkontinent Pangaea vereint, der das warme Klima dieser Zeit prägte. Man ist der Ansicht, dass global ein ausgeprägtes Monsunklima herrschte, etwa wie heute in Südasien. Es war durch den starken Gegensatz zwischen extrem trockener und extrem niederschlagsreicher Jahreszeit gekennzeichnet („Megamonsun“), was auch durch Sedimente und Fossilien belegt wird. Pangaea grenzte an den Groß-Ozean Panthalassa und hatte eine solche Ausdehnung, dass sein Großteil weit entfernt vom Meer lag und niederschlagsarm war. Im Laufe der Zeit wurde dieser Superkontinent durch eine eindringende „Meeresbucht“, die Paläo-Tethys bzw. das spätere Tethys-Meer in einen Nord- und einen Südkontinent geteilt. Im Jura war dieser Vorgang abge-

schlossen, und aus Pangaea waren Laurasia und Gondwana geworden. Im weiteren Verlauf des Mesozoikums kam es zum Zerfall der Kontinente, und durch tektonische Vorgänge entstanden seit der Kreide große Gebirgsketten, z.B. am Westrand Nord- und Südamerikas.

Nach dem letzten Massenaussterben im Perm waren marine und terrestrische Lebensräume erheblich verarmt. Viele Tiergruppen erholten sich von dieser Katastrophe nur langsam; in der Trias jedoch breiteten sich beispielsweise die Mollusken erneut aus (insbesondere die Ammoniten, Abb. 8) und entwickelten eine viel größere Vielfalt als im Paläozoikum. Der Erfolg der Mollusken dauert bis heute an, und nach den Arthropoden sind die Weichtiere mit über 100.000 Arten die zweitgrößte Gruppe der rezenten Fauna. Der Schwerpunkt ihrer Entfaltung liegt nach wie vor im Meer, am artenreichsten sind die Schnecken.

Im terrestrischen Bereich machten die Reptilien eine einzigartige Entwicklung durch. Insbesondere die Formenvielfalt der Dinosaurier, Pterosaurier und mariner Reptiliengruppen sowie die Größe vieler Formen fasziniert heute viele Menschen. Im Gegensatz zu den Reptilien blieben die Säugetiere des Mesozoikums unauffällig. In das Erdmittelalter fällt auch die Entstehung der Angiospermen, die Gymnospermen dominierten allerdings noch.

Die Dinosaurier umfassen terrestrische Reptilien, die mit über 350 bisher bekannten Arten etwa 165 Millionen Jahre auf dem Lande eine bedeutende Rolle spielten. Sie waren weltweit verbreitet und waren auch in unserem Raum nicht selten (PROBST 1999). *Plateosaurus* war im Keuper in Mitteleuropa eines der häufigsten großen Landtiere. Die Dinosaurier umfassen die größten terrestrischen Tiere aller Zeiten. Der Luftraum wurde in der späten Trias bis zur Kreide von Pterosauria beherrscht. Sie waren vor allem Bewohner im Bereich der offenen Meeresküsten. Ichthyosauria und Plesiosauria waren verbreitete marine Reptilien. Von allen genannten Gruppen gibt es auch aus Mitteleuropa vorzüglich erhaltene Fossilien.

### 3.1 Trias

In der Trias herrschte ein warmes Klima; weite Teile Europas befanden sich in warmen Klimazonen. Nord- und Südpol lagen im Meer. Ein Teil der Tethys-Sedimente wurde später als riesige Gebirgskette von den Pyrenäen über die Alpen, die Karpaten, den Kaukasus bis zum Himalaya aufgefaltet, deshalb sind diese Hochgebirge fossilienreich.

In Mitteleuropa begann die Trias mit der Ablagerung des vor allem aus rötlichen Sandsteinen und Tonen bestehenden Buntsandsteins; ihm folgte der marine Muschelkalk mit grauen Kalken und Tonen, dann der Keuper, dessen Gesteine meist tonig, aber auch sandig sind. Buntsandstein und Keuper sind meist arm an Fossilien, sie sind überwiegend festländisch beeinflusste Bildungen. Beim Muschelkalk handelt es

sich um Meeresablagerungen. Einen guten Einblick in seine Organismenwelt kann man sich an verschiedenen Stellen in Mitteleuropa verschaffen. Der Muschelkalk findet schon lange als Werkstein Verwendung und prägt Kulturlandschaften und bekannte Gebäude, z.B. Orte in Franken, Stauferburgen an Neckar, Jagst und Kocher, den Dom zu Naumburg, den Stuttgarter Hauptbahnhof und das Berliner Olympiastadion. 25.000 km<sup>2</sup> werden in Deutschland von den grauen Kalksteinen des Muschelkalkes geprägt, d.h. hier tritt er unmittelbar zutage.

Am Land scheint das Massenaussterben Ende Perm die Pflanzen wesentlich weniger in Mitleidenschaft gezogen zu haben als die Tiere. Die spätpaläozoischen Floren hatten schon lange vor Ende des Perms Veränderungen durchgemacht. Im Perm hatten sich die Gymnospermen durchgesetzt; ihre mannigfaltigsten Gruppen waren die Cycadophytina (Palmfarne), Coniferen und Ginkgogewächse. Sie dominierten auch in den Wäldern des Mesozoikums.

Die Landflora des Buntsandstein war an das damals vorherrschende Wüstenklima mit kurzzeitigen Niederschlagsperioden angepasst. Die Vegetation war arm, der Bewuchs locker. In den trockenen, bodensatzreichen Ablagerungsgebieten herrschten Coniferen vor. Auffälligste Buntsandsteinpflanze war die sukkulentenartige, bis 2 m hohe *Pleuromeia*, ein Bärlappgewächs. Ihr verdickter Stamm diente als Wasserspeicher, die Achse endete mit einem Blütenzapfen an der Stammspitze. Wie bei dem verwandten Siegelbaum war der Stamm dicht mit Narben abgefallener Blätter besetzt; Blätter standen nur im oberen Bereich. Schachtelhalme (*Equisetites*, *Schizoneura*) erreichten in der Trias 6 m Höhe. Da man ihre hohlen Stengel früher für Schilf hielt, wurde der *Equisetites arenaceus* enthaltende Sandstein Schilfsandstein genannt. Farne existierten als überwiegend an Trockenheit angepasste kleine Formen mit kurzem Stamm. Als Verdunstungsschutz trugen sie Haare, ähnlich wie rezente Trockenfarne. *Anomopteris* mit etwa 1 m langen Wedeln ist ein Leitfossil des Buntsandsteins. Die häufigsten und artenreichsten Fossilien des Buntsandsteins sind die Coniferen. Leitfossil ist *Voltzia*, die der Fichte ähnlich war. In der Pfalz und in den Vogesen erinnert der Voltziensandstein an diesen Nadelbaum.

Die Keuperflora war üppiger und abwechslungsreicher als die Flora des Buntsandsteins, das Klima insgesamt humider. Wie auch das marine Benthos zeigten die terrestrischen Landschaften mehr Ähnlichkeit mit heutigen als mit paläozoischen Verhältnissen. Das liegt im wesentlichen an den Nadelhölzern, die den Gesamtcharakter der Flora prägten. In der Ober-Trias (Keuper) kündigt sich die bis zur Unterkreide dauernde Blütezeit der Cycadeen an. Die Fossilfunde entsprechen im vegetativen Bau oft schon rezenten Cycadeen-Gattungen. Auch die Ginkgogewächse, deren Blätter schon aus dem Rotliegenden bekannt sind, spielten in der Trias eine wichtige Rolle.

Eine weitere wichtige Gymnospermen-Gruppe dieser Zeit sind die Bennettitidae. Sie existierten von der Ober-Trias bis zur Unter-Kreide. Durch ihre Blattwedel ähnelten sie äußerlich den Cycadeen. Ihr Blütenbau wich jedoch grundlegend ab: Sie besaßen als erste Pflanzen der Erdgeschichte Zwitterblüten mit Perianth und wurden vermutlich von Käfern bestäubt.

### 3.2. Jura

Im Jura rückte das Meer weltweit vor: Große Teile des Festlandes wurden überflutet, darunter auch weite Teile Mitteleuropas, und die Flachwasserablagerungen aus dieser Zeit sind sehr viel umfangreicher als aus der Trias. In Europa herrschten relativ hohe Temperaturen; der Temperaturgradient vom Äquator zu den Polen war im Jura relativ gering. Eine wärmeliebende Vegetation erstreckte sich bis ungefähr 60 Grad nördlicher und südlicher Breite. Sie enthielt nach neueren Funden aus China sogar schon Angiospermen (*Archaeofructus*); es dominierten allerdings die Gymnospermen. In den Meeren erreichten die Ammoniten den Höhepunkt ihrer Entwicklung. Im Tethys-Meer, welches größtenteils in den Tropen lag, nahmen Korallenriffe große Flächen ein. Jurazeitliche Meeresböden sind die ältesten, die man in heutigen Meeren erbohrt hat. Auf dem Festland wurden die Dinosaurier die bestimmenden Formen. Die ersten Vögel entstanden.

Die Schichtenfolge des Jura wird in Süddeutschland in drei Abteilungen untergliedert: Schwarzen, Braunen und Weißen Jura. Der Schwarze Jura (unterer Jura oder Lias) Süddeutschlands ist wegen seiner hervorragend erhaltenen Wirbeltierfossilien in dunklen Tönen berühmt geworden. Der Braune Jura (mittlerer Jura oder Dogger) bildet in der Nordsee braune, sandige Speichergesteine für Öl und Gas. Der Weiße Jura (oberer Jura oder Malm) ist besonders bekannt geworden durch die hellgefärbten Plattenkalke im süddeutschen Raum, z.B. um Solnhofen. Es handelt sich um sehr feinkörnigen Kalkstein, der zum Teil aus Hartteilen von Nannoplanktern entstanden ist. Besonders bekannt sind in diesen Kalksteinen der „Urvogel“ *Archaeopteryx* und der Pfeilschwanz *Mesolimulus*, zu den häufigsten Fossilien gehören Ammoniten und Belemniten. Jura-Gesteine sind an vielen Stellen Mittel- und Westeuropas reich an Fossilien. In Deutschland sind Schwäbische und Fränkische Alb größtenteils aus Jura-Gesteinen aufgebaut und klassisches Land der Jura-Forschung. Der durch überwiegend helle Kalke charakterisierte Gebirgszug zieht in weitem Bogen bis in die Schweiz und nach Frankreich. In Norddeutschland werden Höhenzüge des Weser- und Leineberglandes aus marinen Sedimenten des Jura gebildet.

### 3.3. Kreide

Die Kreide ist durch umwälzende Veränderungen gekennzeichnet. Der Südkontinent Gondwana zerfällt in Südamerika, Afrika und Indien; die Kontinente be-

wegen sich in Richtung auf ihre heutige Position. Im Nordkontinent Laurasia liegen Nordamerika und Eurasien zunächst noch nahe zusammen. Das Meer überschwemmt bei den ausgedehntesten Überflutungen der jüngeren Erdgeschichte selbst alte Hochflächen, u.a. auch den nordwesteuropäischen Raum, und lagerte zunächst tonige, dann stärker kalkige Schichten ab, auf die in der Oberkreide die weiße Schreibkreide folgte. Auf den Kontinenten treten die Bedecktsamer (Angiospermen) an die Seite der Nacktsamer (Gymnospermen). Viele heute noch vorhandene Wirbeltiergruppen entfalteten sich in dieser Zeit, z.B. Schlangen, Schildkröten, Eidechsen und Krokodile. Nach wie vor dominierten jedoch die Dinosaurier. Gegen Ende der Kreide sterben Ammoniten, Dinosaurier, Flugsaurier und bezahnte Vögel aus. Die Kreide-Tertiärgrenze markiert das fünfte und letzte Massenaussterben vor dem Entstehen des Menschen.

Im Plankton der Ozeane machten die Kieselalgen (Diatomeen) eine Radiation durch. Sie haben wohl mit den Dinoflagellaten einen wesentlichen Teil zur Primärproduktion und zur Bildung von Tiefseesedimenten der Ozeane beigetragen. Auch die planktischen Foraminiferen (Globigerinen) entwickelten sich stark; ihre aus Calciumcarbonat bestehenden Gehäuse haben auch heute noch wesentlichen Anteil an der Sedimentbildung warmer Meere.

Speziell während der Oberkreide spielte auch das kalkige Nannoplankton eine wichtige Rolle. Die Platten, mit denen die Zellen der nannoplanktischen Coccolithophorida gepanzert waren, sammelten sich zu mächtigen Sedimenten (Schreibkreide, Abb. 10). Solche Ablagerungen kennen wir beispielweise von

der Südostküste Englands bei Dover und den Ostseinseln Rügen und Mön. In großer Gleichförmigkeit erstreckt sich die Schreibkreide von Süd-England bis zur Krim. In manchen Gebieten sind auch Schwämme an ihrem Aufbau beteiligt (Maastrichter Kreide).

Im Benthos der Meere gehen die Brachiopoden weiter zurück (heute existieren von ihnen nur noch etwa 330 Arten – gegenüber 30.000, die fossil bekannt wurden); ähnliches gilt für die gestielten Crinoidea. Brachiopoden lebten allerdings in manchen küstennahen Gebieten in großer Dichte, so die Inarticulaten mit den kalkschaligen, festgewachsenen Gattungen *Isocrania*. Unter den Gastropoden, speziell den Neogastropoden, entstanden viele moderne Familien mit carnivoren Formen.

Die Bivalvia erreichen in Form der verbreiteten Inoceramen eine besondere Mannigfaltigkeit. Die Inoceramen sind häufige Muscheln, die bis 1 m lang wurden. Sie lebten vor allem in kühleren Meeren und stellen hier wichtige Leitfossilien dar. In flachen, warmen Meeresgebieten dominierten die bis 2 m hohen Rudisten, die zum Teil umfangreiche Riffe bildeten. Sie entstanden im Jura und besiedelten die tropischen und subtropischen Flachmeere etwa 70 Millionen Jahre, bevor sie etwa 100.000 Jahre vor der Kreide-Tertiär-Grenze ausstarben. Rudisten bevorzugten jene Schelfbereiche, in denen starke Wasserbewegung vorherrschte. Trotz ihrer robusten Schalen wurden sie oft zerstört, weswegen man heute vorwiegend Trümmerkalke findet (rudus, lat. = Schutt). An manchen Stellen entstanden bis über 1000 m dicke Schichten. Für die Ausbreitung der Rudisten wirkte sicher die Überflutung großer Bereiche der Kontinente begünstigend. Rudisten hatten zwei sehr



**Abbildung 10**

**Kreideküste, zu einem erheblichen Teil aus den Schalenplatten (Coccolithen) einzelliger Algen (Coccolithophorida, Inset) aufgebaut (aus STORCH, WELSCH, WINK 2001).**

unterschiedliche Schalen. Die eine war kegelförmig und konnte fast 2 m Höhe erreichen, die andere war deckelförmig. Flachwasserriffe der Oberkreide wurden im wesentlichen von ihnen aufgebaut. Heute findet man fossile Rudisten-Riffe in Südeuropa, Nordafrika, Arabien, Iran, Indonesien, China, USA und Mittelamerika, also entlang der alten Tethys-Küste. Auf der arabischen Halbinsel sind Rudistenkalke wichtige Speichergesteine für Erdöl. Unglaublich war die Kalkproduktion: Ein Weichkörper von 5-10 cm<sup>3</sup> (entspricht dem einer heutigen Auster) konnte in einem Jahrzehnt mehrere Kilogramm Kalk produzieren. Der relativ kleine Weichkörper bewohnte in den hohen, kegelförmigen Gehäusen nur die oberste Etage; alle darunter liegenden ehemaligen Wohnbereiche wurden durch Kalkböden verschlossen.

Unter den Cephalopoden brachten die Ammoniten Riesenformen hervor. Die größte je gefundene Form stammt aus einem Steinbruch bei Seppenrade (Münsterland, Nordrhein-Westfalen): sie erreicht einen Durchmesser von über 2 m und eine Dicke von 40 cm. Gegen Ende der Kreide erlebten die Ammoniten ihren stammesgeschichtlichen Niedergang, die Belemniten dagegen erlangten in der Kreide eine größere Bedeutung als sie im Jura hatten. Zum Teil sind sie in riesigen Mengen fossilisiert. Auch Echinodermen sind aus der Kreide reichlich überliefert. Unter den Decapoda entfalteten sich die Brachyura.

In der Fischfauna der Kreide werden die Teleostee mit ihren dachziegelartig angeordneten, dünnen und elastischen Schuppen die artenmäßig vorherrschende Gruppe.

Insgesamt zeigt die Tierwelt der Meere der Kreidezeit jedoch gegenüber der des Jura keine grundsätzlichen Unterschiede. Auch die marinen Reptilien bleiben ähnlich. Die Schildkröten entwickelten bis 2 m lange Formen, deren Panzer zu einem Rahmenwerk zurückgebildet wurde.

Gegen Ende der Kreidezeit drangen die rein kretazischen Mosasaurier (Maas-Saurier) in die Meere ein. Sie waren langgestreckte, carnivore Reptilien, die an Warane erinnern. Ihre Länge reichte von 2 m (*Cliadestes*) bis 17 m (*Mosasaurus*). Mosasaurier haben sich vergleichsweise schnell in den Weltmeeren ausgebreitet. In ihrer relativ kurzen Geschichte von 25 Millionen Jahren brachten sie ganz verschiedene Lebensformen hervor, u.a. Muschelknacker (*Globidens*) und Räuber, die von ihresgleichen, Fischen und Vögeln (*Hesperornis*) lebten (*Tylosaurus* u.a.).

Auf dem Festland entwickelten die Saurischia mit den großen Raubdinosauriern und den riesigen Pflanzenfressern neue Gattungen. Die Ornithischia brachten eine Reihe neuer Formen hervor, z.B. die bekannte Gattung *Iguanodon*. Diese bis 7 m großen Pflanzenfresser lebten auch in Europa. Besonders bekannte Formen sind auch *Triceratops* mit langen Nasenaufsätzen und *Ankylosaurus* mit seiner starken Panzerung.

Die Flugsaurier brachten in der Oberkreide die größten Formen ihrer Geschichte hervor: *Quetzalcoatlus* erreichte 15 m Spannweite und war das größte fliegende Tier, welches uns bekannt ist. *Pteranodon* wies eine Spannweite von 9 m auf. Daneben gab es eine Fülle kleinerer Formen, z.T. mit langen Schwänzen. Die Pterosaurier besaßen eine feste Verbindung des Schultergürtels mit der Brustwirbelsäule und waren wahrscheinlich wie die Säugetiere und Vögel homoiotherm.

In der Kreide liegt ein entscheidender Wendepunkt in der Florengeschichte: Mit der rapiden Ausbreitung der Angiospermen – innerhalb von etwa 10 Millionen Jahren – ab der Grenze Unter-Kreide – Ober-Kreide beginnt vor etwa 120 Millionen Jahren das von diesen dominierte Neo- oder Känozoikum. Von der mittleren Kreidezeit an überflügeln die Angiospermen die viel älteren Gymnospermen. Manche Gymnospermen verschwanden ganz, so die Bennetitatae, die im Mesozoikum ein wichtiges Florelement waren. Angiospermen sind „Bedecktsamer“, d.h. ihre Samenanlagen werden von einem Fruchtknoten umhüllt und liegen nicht mehr frei wie bei dem Gymnospermen („Nacktsamern“). Ihre Blüten sind bunt und locken Bestäuber an, die an ihrem Vermehrungsprozess beteiligt sind. Es erfolgt eine enge Coevolution mit Insekten, insbesondere Schmetterlingen und Hautflüglern. Ginkgogewächse sterben in der Kreide bis auf geringe Reste aus; auch die in der Unterkreide noch stark vertretenen Voltziales gehen zurück. Die Pinales machen etwa parallel zu den Angiospermen eine rasche Evolution durch, werden aber dann im Tertiär endgültig von den Angiospermen in Randgebiete gedrängt.

Mit dem Ende der Kreidezeit setzte ein weltweiter Rückzug der Meere aus den vorher überfluteten Flachmeergebieten ein, der dem am Ende des Perm vergleichbar ist und vom Aussterben vieler Organismen-Gruppen begleitet ist. In der Tat war dieser Rückzug des Meeres stärker denn je, und im Großen und Ganzen waren in dieser Zeit die jetzigen Umrisslinien der Kontinente erreicht. Mit dem Ende der Kreide verschwinden mehrere Organismengruppen oder werden doch drastisch reduziert.

#### 4. Känozoikum (Erdneuzeit)

Das Känozoikum ist das kürzeste Erdzeitalter. An seinem Beginn steht das Aufblühen zahlreicher Organismengruppen, welche die Lebensräume einnahmen, die nach dem großen Einschnitt an der Kreide-Tertiär-Grenze (K-T-Grenze) ausgestorben waren. Das Känozoikum wird in Tertiär und Quartär gegliedert. Das Känozoikum ist durch bedeutende geologische Ereignisse gekennzeichnet, die letztlich die heutigen Bedingungen geschaffen haben. Das Öffnen der Drake-Passage zwischen Südamerika und der Antarktis führte zur Bildung der zirkumantarktischen Strömung. Damit erfolgte eine thermische Isolation

der südpolaren Region. Später veränderte ausserdem die Ausbildung der mittellamerikanischen Brücke das ozeanische Strömungsmuster. Der Golfstrom entstand.

Europa war relativ lange (bis zum Eozän, s.u.) über Spitzbergen und Grönland mit Nordamerika durch eine Landbrücke verbunden, und durch den Anschluss Europas an Asien und Afrika erfolgte ein weiterer Austausch von Organismen.

#### 4.1 Tertiär

Im Tertiär erfolgten immer wieder Meereseinbrüche, die in Europa zu fossilreichen Ablagerungen in „Tertiär-Becken“ führten, dem Pariser, Londoner, Nordwestdeutschen und Wiener Becken sowie dem Rhein-Graben mit dem Mainzer Becken. Die tiefgreifendsten Veränderungen erfolgten jedoch im Raum der Pyrenäen, Alpen und Karpaten, wo hoch aufragende Gebirge und die heutigen Flusssysteme entstanden. Es handelt sich um die bedeutendste Gebirgsbildung der Erdneuzeit (Alpidische Gebirgsbildung).

In weiten, absinkenden Gebieten dagegen entstanden umfangreiche Braunkohlenlager, z.B. am Niederrhein (im Raum Aachen, Neuß), bei Helmstedt und bei Halle. Die klimatische Situation war damals dort ähnlich wie im Karbon: die Temperaturen waren relativ hoch, die Vegetation reich entwickelt, das Land sank langsam ab. Große Mengen absterbender Pflanzensubstanz sammelten sich, verrotften und wurden schließlich zu Kohle.

In der Braunkohlenzeit dominierten die Bedecktsamer (Angiospermen). Außerdem gab es Nadelhölzer in großer Artenfülle. Im Alttertiär standen entsprechend dem warm-feuchten Klima, wärme- und feuchtigkeitsliebende Gehölze mit immergrünen Blättern (Lorbeer-Mischwald-Gesellschaften) im Vordergrund. Im Zuge der Abkühlung im Jungtertiär wurde diese Vegetation von einer aus dem Norden einwandernden Flora verdrängt, die im Herbst ihre Blätter abwarf. Damit entstanden in Mitteleuropa zum ersten Mal Wälder, wie wir sie heute kennen.

Die Fauna der tertiären Meere ähnelte der der heutigen schon sehr. Die früher so hervortretenden Brachiopoden waren stark zurückgegangen, Muscheln statt dessen verbreitet. Der Oberrheingraben war ein Flachmeer, in dem z. B. Haie lebten. Schnecken entfalteten sich zu großer Artenfülle, im Pariser Becken findet man z.B. hervorragend erhaltene Schalen. Unter den Foraminiferen erschienen abermals Riesenformen: die scheibenförmigen Nummuliten erreichten Durchmesser von mehr als 10 cm. Stellenweise sind sie gesteinsbildend. Am bekanntesten sind wohl die großen Pyramiden von Gisa in der Nähe von Kairo, die aus Nummulitengestein aus nahegelegenen Steinbrüchen im Alten Reich aufgebaut wurden.

Die Tertiärschichten werden weitgehend nach dem prozentualen Anteil der heute noch lebenden Mollusken-Gattungen differenziert und das Tertiär ge-

gliedert in Alttertiär oder Paläozän (Paleozän, Eozän und Oligozän) sowie Jungtertiär oder Neogen (Miozän und Pliozän). Man schätzt, dass es im Eozän weniger als 5% der heute existierenden Mollusken-Gattungen gab, im Miozän waren es 20%, im Pliozän über 50%.

Nachdem im Mesozoikum die Reptilien als Raubtiere in den Meeren eine bedeutende Rolle gespielt hatten, folgten jetzt die Säuger. Schon im Alttertiär eroberten die Wale das Meer, sie stammen von den Paarhufern nahestehenden Ur-Huftieren ab. Im frühen Jungtertiär folgten die Robben, die sich von bärenartigen Raubtieren ableiten lassen.

Auch auf dem Festland machten die Säugetiere eine rasche Entfaltung durch. Huftiere, Raubtiere, Nagetiere und Primaten waren schon im Paleozän vorhanden, Fledermäuse sind seit dem Eozän bekannt. Es gab im Tertiär nicht nur das rasche Entstehen neuer Säugerordnungen, manche starben auch bald wieder aus.

Einen ganz besonders detaillierten Eindruck von der alttertiären Organismenwelt vermittelt uns die Grube Messel, die wegen ihrer kontroversen Einschätzung durch Wissenschaft und Politik in die Schlagzeilen kam.

Die Entfaltung der Blütenpflanzen, die etwa 100 Millionen Jahre vor heute begann, setzte sich im Tertiär fort. Mit ihr entstand vermutlich in einer engen Coevolution die große Vielfalt der Insekten.

Dem Verlust an Biodiversität an der Kreide-Tertiär-Grenze folgte eine rasche Evolution und Diversifikation der Säugetiere, weswegen das Känozoikum auch als das Zeitalter der Säugetiere bezeichnet wird. In den Meeren entwickelten sich Wale, Robben und Seekühe. Auf dem Land breiten sich viele Ordnungen aus, die zum Teil auch heute noch leben.

Verschiedentlich entstanden Riesenformen, so auch das größte Landsäugetier aller Zeiten, das über 6 m Schulterhöhe messende und 9 m lange *Baluchitherium*, das vom Oligozän bis zum Miozän bekannt ist. Es wurde nach Baluchistan (Pakistan) benannt. Diese gigantische Form hatte einen 1,5 m langen Schädel, welcher an einem 2,5 m langen Hals sass. Die Körpermasse schätzt man auf 30 Tonnen. *Baluchitherium* war Pflanzenfresser. In Europa gab es zeitgleich eine ähnliche Form: *Indricotherium*.

Sehr genau ist die Geschichte der Pferde bekannt, und in der Tat ist der Pferdestammbaum das „Paradeppferd“ der Evolutionsbiologie. Ausgangspunkt sind kleine, etwa 1 m lange Formen wie *Hyracotherium* (*Eohippus*).

Unter den Paarhufern existierten die Kamele schon im Alttertiär mit vielen Formen, insbesondere in Nordamerika. Die übrigen Paarhufer erreichten den Höhepunkt ihrer Entwicklung erst im Jungtertiär, die Rinderartigen sogar erst im Pleistozän.

Ebenfalls im Jungtertiär spielten die Elefanten eine große Rolle. Im Alttertiär waren sie auf Afrika beschränkt gewesen, ab Miozän waren sie praktisch auf der ganzen Erde verbreitet.

Mit zunehmender Kenntnis der Plattentektonik und des Genoms entstehen interessante neue Vorstellungen über die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den einzelnen Säugetierordnungen. So wurde z.B. kürzlich die Einrichtung einer Überordnung Afrotheria gefordert, der die Ordnungen Proboscidea (Elefanten), Sirenia (Seekühe), Hyracoidea (Klippschliefer), Tubulidentata (Erdferkel), Macroscelidea (Elefantenspitzmäuse) und Afrosoricida (Goldmulle und Tenrecs) angehören. Alle diese Tiergruppen sind in Afrika entstanden und zwar zu einer Zeit, als Afrika noch von den anderen Kontinenten isoliert war (Ende der Kreide, Beginn des Tertiärs). DNA- und Proteinsequenzdaten stimmen in erheblichem Ausmass bei diesen Säugetiergruppen überein, so dass eine nähere Verwandtschaft durchaus wahrscheinlich ist (STORCH, WELSCH, WINK 2001).

Die Vögel brachten nahe der Kreide-Tertiär-Grenze zahlreiche sehr große, flugunfähige Formen hervor, z.B. den Riesenvogel *Diatryma*.

#### 4.2 Quartär

Die Erdperiode, die dem Pliozän folgte und in der wir heute leben, ist das Quartär. Dieses wird unterteilt in das Pleistozän (das eigentliche Eiszeitalter) und das Holozän, die Zeit nach der letzten Vereisung, die Jetztzeit. Die Abtrennung des Holozäns vom Pleistozän ist ganz willkürlich und historisch bedingt. Es handelt sich um die Warmzeit nach der Würm- (Alpenvorland) bzw. Weichseleiszeit (Norddeutschland). Das Holozän begann vor ca. 11.500 Jahren und dauert bis heute an. Auch im Holozän gab es Temperaturszillationen; interessant sind die Gletschervorstöße vom 16. bis 19. Jahrhundert nach Christus („Kleine Eiszeit“), die auf Flora und Fauna sowie die Geschichte Europas eingewirkt hat.

Die Datierung quartärer kontinentaler Ablagerungen ist mit vielen Problemen behaftet, weil diese Ablagerungen große zeitliche und räumliche Lücken aufweisen. Tiefseesedimente, die langsam und kontinuierlich abgelagert werden, sind i.a. weniger problematisch. In diesen Meeresablagerungen sind es insbesondere die Sauerstoffisotopen-Signatur und die paläomagnetische Polarität, die in stratigraphischer Hinsicht gut verwertbar sind (Sauerstoffisotopen-Stratigraphie und Magneto-Stratigraphie). Diese stratigraphischen Methoden liefern jedoch noch keine zahlenmäßigen Altersangaben in Jahren. Hierfür lassen sich physikalische Methoden einsetzen, die vor allem auf der Bestimmung der natürlichen Radioaktivität beruhen. Weiterhin sind recht genaue astronomische Datierungen nützlich, die auf den bekannten periodisch erfolgenden Veränderungen der Erdbahnelemente beruhen, die Anlass für globale Klimaveränderungen gewesen sind. Die Klimaverän-

derungen spiegeln sich auch in Änderungen des Pollenspektrums wider.

Im Pleistozän griff der moderne Mensch in das Geschehen der Natur ein. In einer – geologisch gesehen – kurzen Zeit hat sich *Homo sapiens* ausgebreitet und vermehrt. Um 1830 lebte zum ersten Mal eine Milliarde Erdenbürger gleichzeitig, 1930 waren es zwei Milliarden, 1960 drei, 1974 vier, 1987 fünf und 1999 sechs Milliarden. Mit dieser Vermehrung kam es zur Umgestaltung von Lebensräumen. Agrarlandschaft, Industrie und Fischerei kennzeichnen die moderne Gesellschaft. Zum ersten Mal hat eine Art, eben *Homo sapiens*, die Grenzen der Belastbarkeit des Globus erreicht und wirkt als alleinige Ursache eines Massenaussterbens.

#### Zusammenfassung

Seit wenigstens 3,5 Milliarden Jahren gibt es Leben auf der Erde, seit etwa 700 Millionen Jahren existieren vielzellige Organismen (Ediacara-Fauna). Schon im frühen Paläozoikum gab es die meisten Baupläne auch heute lebender Tiere. Die weitere Evolution ist eine Entfaltung von organischer Vielfalt, die jedoch im Verlaufe von fünf Massenaussterben stark reduziert wurde. Die Entfaltung geht mit einer Gestaltung der Umwelt durch Organismen einher.

#### Summary

Life on earth originated about 3.5 billion years ago. The oldest multicellular organisms date back about 700 million years (Ediacara fauna of soft-bodied organisms in the late Proterozoic). The small shelly fauna was the first skeletonized assemblage. Important reef builders (and thus carbon carbonate producers) came into existence in the Cambrian. Generally, the fossil record gives accurate information about diversification and extinction. Five mass extinctions occurred in the Phanerozoic. The history of life on earth is marked by a number of major expansions that followed the acquisition of new characters, and the mastery of new environment.

#### Literatur

- BELL, P.B. & A.R. HEMSLEY (2000): Green Plants – their origin and diversity. University, Cambridge .
- CHRISTNER, J. & G. KÜHNER (1989): 400 Millionen Jahre Landpflanzen. Führer zur Ausstellung von Pflanzenfossilien im Geologischen Institut der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Attempto, Tübingen.
- CONWAY MORRIS, S. (1998): The Crucible of Creation. The Burgess Shale and the Rise of Animals. Oxford Univ Press, Oxford.
- GLAESSNER, M.F. (1984): The dawn of animal life. A biohistorical study. Cambridge University Press. Cambridge.
- HAUSCHKE, N. & V. WILDE (Hrsg.) (1999): Trias. Pfeil, München.

KOENIGSWALD, W. von & W. MEYER (1994):  
Erdgeschichte im Rheinland. Pfeil, München.

NIELSEN, C. (1995):  
Animal evolution. Oxford University Press, Oxford.

PROBST, E. (1999):  
Deutschland in der Urzeit. Orbis, München.

SCOTese, C.R. & W.S. McKERROW (1990):  
Revised world maps. Geol Soc London Mem 51: 1-21.

SEILACHER, A. (1989):  
Vendozoa: organismic construction in the Proterozoic biosphere. Lethaia 22: 229-239.

STORCH, V.; WELSCH, U. & M. WINK (2001):  
Evolutionssystematik. Springer, Heidelberg (im Druck).

WHITTINGTON, H.B. (1985):  
The Burgess Shale. Yale University Press, New Haven.

**Anschrift des Verfassers:**

Professor Dr. Volker Storch  
Zoologisches Institut  
Im Neuenheimer Feld 230  
D-69120 Heidelberg

# Die ökosystemare Bedeutung der Biodiversität

Karl Eduard LINSENMAIR

## Gliederung

1. Einleitung
2. Unsere existentielle Abhängigkeit von ökosystemaren Leistungen
3. Die Dimensionen der Vielfalt – noch weitgehend unbekannt
4. Die ökosystemare Bedeutung der Diversität
5. Redundanz in Gilden: ökosystemar überflüssig und daher verzichtbar?
6. Der dauernde Wandel der ökologischen Verhältnisse verlangt ein hohes Anpassungspotential
7. Diversität und Persistenz von Ökosystemen: die alte Diskussion um die Beziehung zwischen Diversität und Stabilität
8. Wie lässt sich der stete evolutive Trend zu hoher Diversität erklären?
9. Die Bedeutung schwacher Wechselwirkungen
10. Integrierte Ökosystemleistungen als Beiträge zu den Biosphärenleistungen
11. Welche Folgerungen sind zu ziehen?
12. Wie kann ein Höchstmaß an Diversität bewahrt werden?

Zusammenfassung/Summary  
Literatur

## 1. Einleitung

Nach unserem heutigen Wissen ist die Erde der einzige Planet unseres Sonnensystems, der Leben beherbergt und der schon aus dem Weltall erkennbar durch seine Biosphäre tiefgreifend geprägt wird. Wesentlichste, auch für uns Menschen unabdingbar lebensnotwendige Eigenschaften verdankt unsere Erde allein ihren Lebewesen und deren Leistungen. Dazu zählen z.B. das (lokale bis globale) Klima, die heutige Zusammensetzung der Atmosphäre und ihre Regelung incl. des von uns in jüngster Zeit ramponierten lebenswichtigen troposphärischen Strahlungsschild des Ozons. Weiterhin werden alle großen und kleinen geochemischen Kreisläufe, u.a. die des Wassers, des Kohlenstoffs, des Stickstoffs, des Sauerstoffs und des Phosphors entscheidend biologisch beeinflusst. Auch Bodenbildung und Bodenfruchtbarkeit und vieles mehr würde ohne die integrierten Leistungen der Lebewesen entweder überhaupt nicht existieren bzw. funktionieren oder in der Form und der Dynamik fundamental verschieden und für die ganz große Mehrzahl aller heutigen Organismen gänzlich lebensfeindlich sein (s. dazu als eine sehr gute zusammenfassende Darstellung: WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung: Jahresbericht 1999).

Das Leben hat nicht nur das Angesicht des größten Teils der Erde geprägt, ist fast überall landschaftsbe-

stimmend und fehlt – wie wir größtenteils erst in jüngster Zeit gelernt haben – auch unter vielen uns äußerst lebensfeindlich erscheinenden Bedingungen nicht. (Die große Gruppe der Archaeobakterien kommt fast nur in Extremhabitaten vor (BROCK et al. 1996)). Es hat vielmehr noch darüber hinaus den Gesamtzustand der Erde und ihrer Dynamik weit weg von den beiden alternativen thermo-dynamischen Gleichgewichtszuständen getrieben, die bei einem leblosen Gestirn bei sonst gleichen planetaren Randbedingungen zu erwarten wären (GORSHKOV & MAKARIEVA 2000). Es ist ihm dabei – auf der Basis vielfach noch nicht bzw. nur unvollständig verstandener Regelprozesse – gelungen, diesen Zustand eines „exotischen“ dynamischen Fließgleichgewichts über Hunderte von Millionen Jahren trotz zahlreicher höchst massiver Störeinflüsse, erstaunlich gut beizubehalten und Abweichungen immer wieder zu korrigieren und auf einem für das Leben günstigen Niveau zu stabilisieren.

## 2. Unsere existentielle Abhängigkeit von ökosystemaren Leistungen

Eine hier besonders interessante, in ihren Mechanismen unverstandene Regelung der Biosphäre ist z.B. die Einstellung und langfristige Beibehaltung der biogen erzeugten 21% Volumenprozent Sauerstoff in unserer Atmosphäre. Bei 15% wäre z.B. trockenes Holz nicht mehr entzündbar, bei 25% aber würden auch die dauerfeuchten Regenwälder abbrennen (NISBET 1994). Jede stärkere Abweichung vom eingestellten Wert der 21% würde also die Welt insgesamt grundlegend verändern. Solche Phänomene scheinen Lovelocks Gaia-Hypothese zu stützen (LOVELOCK 1991, 1994), die sich allerdings in der von ihm vertretenen Form, in der die Erde als Superorganismus mit speziell selektierten homöostatischen Regelkreisen gesehen wird, nicht mit dem in Einklang bringen lässt, was wir von der Evolution von Vielartensystemen zu wissen glauben. Die beschriebenen Phänomene lassen sich aber nicht wegdiskutieren, sie lassen sich aber anders interpretieren und dann auch mit unseren heutigen Evolutionsvorstellungen harmonisieren.

Wir können hier einleitend schon festhalten: Ökosystemare Leistungen, die stets der abgestimmten Interaktionen vieler sich funktional unterscheidenden Organismen bedürfen, schufen erst die Voraussetzung für die Entstehung des Lebens in seiner heuti-

gen Ausprägung; sie waren Vorbedingung für unsere eigene Stammesgeschichte und sie werden unersetzbare Voraussetzung für unsere künftige Existenz sein. Jede drastische Änderung dieser existentiellen Voraussetzungen wird zwar sicher nicht das Leben und seine evolutive Potenz auslöschen, sie wird aber mit einiger Wahrscheinlichkeit dem längerfristigen Weiterleben unserer Art ein Ende setzen.

Völlige Achtlosigkeit gegenüber den natürlichen, biologischen Grundlagen unseres Daseins einerseits und maßlose Überschätzung unserer technisch-wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit auf der anderen Seite sind dafür verantwortlich, dass diese Botschaft bei der großen Mehrzahl der Menschen noch nicht wirklich angekommen ist, obwohl sie schon oft gesendet wurde. Wäre es anders, dann könnten wir nicht so rücksichtslos mit unseren unverzichtbaren natürlichen Lebensgrundlagen umgehen, könnten nicht pro Jahr weltweit 2.500 Milliarden, also 2,5 Billionen DM allein für ökosystem- und biodiversitätsschädigende Subventionen (MYERS 1997, WBGU 2000) und noch viel höhere Beträge für Rüstung und andere eher lebensvernichtende als lebenserhaltende Maßnahmen aufwenden, aber nicht z.B. die etwa 40 Milliarden aufbringen, die nötig wären, um ein weltweites Schutzgebietssystem zu finanzieren, das etwa 15% der Landfläche umfassen würde (WBGU 2000). Im Konzert mit anderen, für unser längerfristiges Überleben unumgänglich notwendigen Maßnahmen zur Etablierung nachhaltiger, unsere natürlichen Lebensgrundlagen schonender Bewirtschaftungsformen naturgegebener Ressourcen, wäre ein solches Schutzgebietssystem voraussichtlich in der Lage, die längerfristige Erhaltung von etwa 50% der Biodiversität, die es vor wenigen Jahrzehnten noch auf unsere Erde gab, über das 21. Jahrhundert hinweg zu retten.

Trotz z. T. sehr schwieriger Bedingungen konnte sich das Leben – nach einer noch weitgehend unbekanntem Etablierungsphase – als kontinuierlicher Prozess halten und immer weiter entfalten. Jedes der Trilli- oder Quadrillionen momentan existierenden Lebewesen verdankt seine Existenz einem in keinem einzigen Fall vor der Reproduktion unterbrochenen Verfahrenskontinuum über den für uns unvorstellbar langen Zeitraum von etwa 3,5 bis 4 Milliarden Jahren. Angesichts der massiven externen Störungen durch 1) die geologische Dynamik der Erde selbst (Stichworte Plattentektonik mit ihren tiefgreifenden Folgen für die terrestrischen und marinen Biome – s z.B. (WHITMORE & PRANCE 1987), 2) die Dynamik des Planetensystems (Stichwort Milankowitch-Zyklen) und Änderungen im Strahlungshaushalt der Sonne und 3) stellare Ereignisse, wie der Einschlag von Großmeteoriten, erscheint dieses Lebenskontinuum als ein Wunder. Ein solches Kontinuum kann wohl kaum allein auf einer ununterbrochenen Serie immer neuer glücklicher Zufälle beruhen, vielmehr dürften hier systemerhaltende Effekte der von den

Lebensgemeinschaften gebildeten Biosphäre eine zentrale Rolle gespielt haben.

Heutiges Leben hängt unlösbar von anderem Leben ab (Abb. 1a, b). Nicht nur, weil heute neues Leben nur in der Generationenfolge von Elter(n) und Nachkommen entsteht, sondern weil der einzelne Organismus, die Population, Art und die aus vielen Arten bestehenden Funktionseinheiten, wie Gilden, Biozöosen, Ökosysteme, Biome als Abhängige in das vielschichtige, dynamische Netz der weltumspannenden Biosphäre eingebunden sind. Zumindest auf der Ebene der Eukarya – also vom Niveau der Einzeller aufwärts – können wohl alle rezenten Formen nicht mehr autark existieren, sondern stellen Systemteile dar, die mit anderen aktiv und passiv, direkt – wie im Fall der Nahrungsabhängigkeit – und indirekt – wie z.B. bei den großen Stoffkreisläufen – lebensnotwendig verflochten sind.

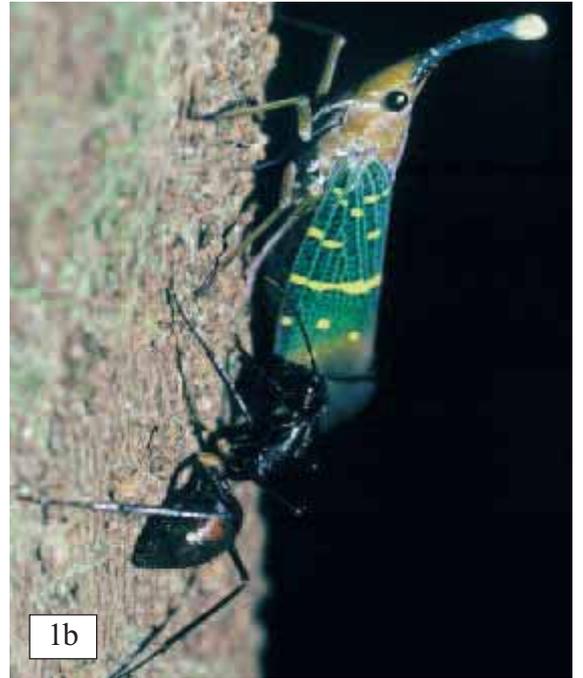
Basal bestehen die Knoten dieses Lebensnetzes aus allen im Moment gerade vorhandenen Organismenindividuen. Diese bilden mit con- und heterospezifischen Organismen und ihrer abiotischen Umwelt zusammen überindividuelle Funktionsstrukturen auf höheren Integregationsebenen aus. Diese weisen niveauspezifische Eigenschaften auf (bringen z.B. viele für uns überlebenswichtige ökosystemare Leistungen hervor). Diese Leistungen sind grundsätzlich mehr als die Summe dessen, was die einzelnen Einheiten des darunter liegenden Niveaus zeigen. Sie kommen durch eine Unzahl vielschichtiger Interaktionen zustande, die oft nicht-linearen Funktionen folgend, negativ und positiv rückgekoppelt, in ihren zeitlichen Dimensionen um viele Größenordnungen (von Sekunden bis zu Hunderten von Millionen Jahren) variieren und bei denen Organismen direkt und indirekt aufeinander und auf ihre abiotische Umwelt einwirken.

### **3. Die Dimensionen der Vielfalt – noch weitgehend unbekannt**

Auf allen Ebenen der Lebensmanifestation stoßen wir dabei auf eine sehr hohe Variabilität, auf eine große Vielfalt aller strukturellen und funktionellen Lebensmanifestationen. Recht leicht für jedermann zumindest prinzipiell erkennbar, allgegenwärtig und auch vergleichsweise gut erfassbar ist diese Lebensvielfalt auf dem Niveau der Arten (Abb. 2a, b). Dabei kennen wir aber die Zahl heute lebender Organismenarten nicht einmal der Größenordnung nach (die Schätzungen reichen von ca. 4-6 bis über 100 Millionen ARTEN (GROOMBRIDGE 1992, MAY 1992, HEYWOOD & WATSON 1995, KÖNIG & LINSENMAIR 1996 u.a.m.). Auch von weit mehr als 90% der wissenschaftlich erfassten, etwa 1,5-max. 1,8 Millionen Arten (auch hier verfügen wir über keine genauen Zahlen!) wissen wir über ihre Biologie und ihre ökologische Rolle fast oder gar nichts. Diese massiven Wissensdefizite (s. u. a. dazu



1a



1b



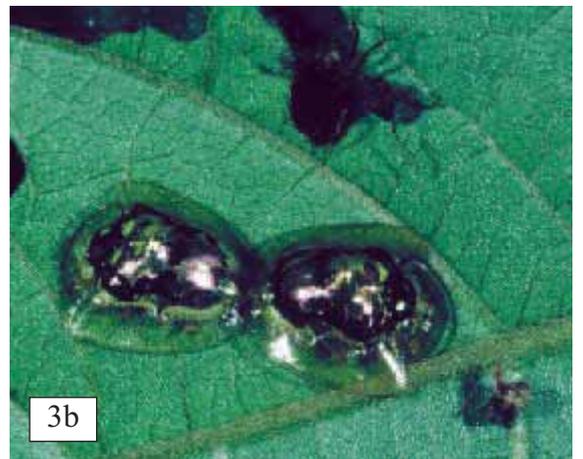
2a



2b



3a



3b



4a



4b

die Serie von „insight articles“ in Nature 405, vom 11. Mai 2000) stellen sich nun angesichts drängendsten Bedarfs an handlungsrelevantem Wissen als sehr kritisches Problem heraus, denn auch bei sehr großen Anstrengungen werden diese Lücken nicht schnell zu schließen sein, und es steht zu befürchten, dass hier auch in der näheren Zukunft weiterhin viele politische und ökonomische Entscheidungen getroffen werden, die nicht dem weisen Vorsichtsprinzip entsprechen, das angesichts unserer großen Wissenslücken geboten wäre, sondern den kurzfristigen Gewinninteressen solcher Lobbys entgegen kommen, die massiven politischen Druck ausüben können.

Als kleiner Exkurs scheint es mir hier angebracht, kurz darauf einzugehen, warum die Erforschung dieser Lebensvielfalt, der Biodiversität, in vieler Beziehung noch in den Kinderschuhen steckt. (Ich zitiere hier z.T. wörtlich aus LINSENMAIR (2000): Die Diversität des Lebens hat die Biologen schon immer fasziniert. Sie zu erfassen und zu ordnen, wurde lange Zeit als eine ganz zentrale Aufgabe der Biologie gesehen. Mit der Entfaltung der molekularen Biologie und dem steilen Aufschwung apparativer und experimenteller Forschung in vielen weiteren Teilgebieten biologischer Forschung gerieten die mit der Diversität traditionell befassten Arbeitsfelder: Taxonomie, Systematik, Faunistik, Biogeographie für Jahrzehnte ins Abseits des Ansehens und der Förderung und damit unter anderem in eine Nachwuchskrise, die sich bei der bisher nur zaghaft begonnenen besseren Förderung dieser Disziplinen nicht schnell beheben lassen wird, zumal die Chance zur Kontinuität in der Weitergabe des Wissens in vielen Fällen durch den Tod des/der weltweit letzten Experten für zahlreiche Taxa schon verspielt worden ist oder gerade verspielt wird, wobei auch Felder von unmittelbarer Anwendungsrelevanz, z.B. der Landwirtschaft (MILLER & ROSSMAN 1995) betroffen sind mit entsprechend negativen ökonomischen Konsequenzen. Dazu kommt noch: Ziel der klassischen Taxonomie und Systematik war es, Ordnung in eine als gegeben betrachtete Vielfalt zu bringen. Die Vielfalt selbst war dabei weder in ihrer Genese noch in ihren aktuellen Funktionen ein direkter Forschungsgegenstand dieser Fachdisziplinen, sondern dies wurde als ein Problem der Ökologie gesehen.

Die Ökologen haben sich aber bis vor kurzem vor allem für Prozesse interessiert. Mit der großen Vielfalt von Lebensformen und Interaktionen in komplexen Systemen konfrontiert, bestand ihre Problembewältigung fast immer darin, die Vielfalt der Mitspieler und ihrer oft nicht im Detail bekannten unterschiedlichen Beziehungen zu einander auf einige wenige funktionale Gruppen und auf möglichst basale Funktionen zu kondensieren. Dabei verfahren sie sehr großzügig. Den einzelnen Arten – von „key-stone species“, Schlüsselarten gelegentlich abgesehen – schenken sie bei Prozessanalysen meist keine nähere Aufmerksamkeit („... biodiversity, which ten

years ago was considered unimportant by most ecosystem ecologists ..“ (TILMAN 2000).

Es bedurfte erst der Wahrnehmung der massiven Bedrohung der biologischen Diversität durch den anthropogenen „global change“, den von Menschen gemachten globalen Wandel, vor allem durch eine Reihe von Büchern, die von einem breiteren Publikum rezipiert wurden (RAVEN 1980, MYERS 1984, WILSON & PETER 1988, DEUTSCHER BUNDESTAG 1990, WILSON 1992), um ein verstärktes Interesse an der Vielfalt des Lebens wiederzuerwecken und dabei dann zu erkennen, wie extrem weit wir von einer Erfassung und einem wahren biologischen Verständnis der Vielfalt des Lebens auf der Erde entfernt sind – und zu erahnen, wie gefährlich diese Wissenslücke werden kann (s. dazu u.a. noch: SOULE 1986, EHRLICH & EHRLICH 1981, EHRLICH & WILSON 1991, PIMM 1991, LOVEJOY 1994).

Die dabei aus der Synthese von vor allem Ökologie, Naturschutzforschung, Evolutionsbiologie, Taxonomie, Systematik, Faunistik, Vegetationskunde, zunehmend auch einer ökologisch ausgerichteten Mikrobiologie und Biogeographie im letzten Jahrzehnt neu entstandene Biodiversitätsforschung (s. u. a. GROOMBRIDGE & JENKINS 2000, HUSTON 1994, KÖNIG & LINSENMAIR 1996, ROSENZWEIG 1995) hat die Vielfalt der Lebenserscheinungen zu ihrem expliziten Forschungsgegenstand gemacht und damit begonnen, ein eigenständiges wissenschaftliches Arbeitsfeld zu eröffnen – und nicht nur alte Inhalte in neue, respektablere, eher Forschungsgelder anziehende Kleider zu stecken, wie von Kritikern immer mal wieder behauptet wird (GHILAROV 1996), (was aber nicht heißen soll, dass der Begriff nicht vielfach grob missbraucht und auch Etikettenschwindel mit ihm getrieben wird).

#### 4. Die ökosystemare Bedeutung der Diversität

Die zentrale Frage hier nun, auf die erste Antworten gegeben werden sollen, ist die nach der Bedeutung der organismischen Vielfalt für die ökosystemaren Leistungen, vor allem für diejenigen, die unsere unverzichtbare Lebensbasis darstellen: wie die Regelung des Klimas und der Atmosphärenzusammensetzung, die Erhaltung der Energieflüsse und der Stoffkreisläufe, die Erhaltung der Produktivität der Ökosysteme, die Reinigung von Luft und Wasser, die Erhaltung des kurzfristigen Anpassungs- und des langfristigen Evolutionspotentials der Biosphäre und ihrer Kompartimente, um nur einige der wichtigsten kostenlosen Dienste und lebenserhaltenden Potentiale der Biosphäre anzuführen (neue zusammenfassende Darstellung in WBGU 2000).

Ist nun die organismische Vielfalt in ihrem gesamten Umfang eine Voraussetzung für diese ökosystemaren Leistungen, auf denen jedes höhere Leben beruht, oder aber ist die Vielfalt – unter diesen funktionalen

Aspekten betrachtet – eher eine Form des Luxuriens der Natur, nach dem Motto: „Natura ludet“ – die Natur spielt? Bei einer entsprechenden Umfrage würden die meisten Mitbürger wohl Letzterem zustimmen und in der Vielfalt vor allem Spielerei sehen.

Einen Teil der Variabilität können wir bei etwas näherem Hinsehen ganz leicht verstehen und als unbedingt notwendig erkennen – z.B. den Zwang zu einer gewissen evolutiven Spezialisierung, da der Generalist in vielen Fällen einem Spezialisten unterlegen sein wird, was zu seiner selektionsbedingten Verdrängung führen wird. Die Folge ist, dass keine Organismenart existiert, die nicht mehr oder weniger stark spezialisiert und damit zwangsläufig für viele potentielle Lebensbereiche untauglich ist. Wir verstehen hier dann leicht z.B. funktionale Variabilität bei den Ressourcenansprüchen und vielen Leistungen, geographisch-klimatische und sonstige auf ökologische Gradienten, auf unterschiedliche Habitate bezogene Verschiedenartigkeit und auch die geschichtlich-biogeographischen Unterschiede – und damit in manchen Gruppen – so z.B. bei höheren Pflanzen und Wirbeltieren – sicher schon wenigstens ein Viertel der Gesamtvariabilität (Angaben dazu u. a. in HEYWOOD & WATSON 1995, GROOMBRIDGE & JENKINS 2000). Bei den anderen Gruppen fehlen uns die Kenntnisse, um hier irgendwelche, auch nur annähernd richtige Schätzungen abgeben zu können.

Wieso aber finden wir syntop und synchron – d.h. gleichzeitig im gleichen Lebensraum – in vielen Biozönosen eine Vielzahl funktional sehr ähnlich erscheinender Arten. Auf einem einzigen ha eines Waldes in manchen Teilen Borneos (Abb. 3a, b) können bis zu über 500 Holzpflanzenarten stehen (im Lamir Hills National Park wurden 1175 Baumarten (ohne Lianen und Büsche) über 1 cm DBH auf 52 ha nachgewiesen (CONDIT et al. 2000); es finden sich dort unter den Insekten allein Abertausende von Käfern, die an diesen Pflanzen fressen, Abertausende von Pilzen, die ihre tote Biomasse abbauen, usw.. Die früher üblichen Annahmen, alle diese Arten könnten jeweils ihre eigene, gut abgegrenzte ökologische Nische mit jeweils eigenen limitierenden Ressourcen bilden und deshalb eng gepackt nebeneinander existieren, hat sich als unhaltbar erwiesen. Die hier notwendige Zahl so vieler limitierender Ressourcen gibt es nicht – und der Spezialisierungsgrad scheint in der Regel in diesen besonders diversen Systemen nicht viel höher zu sein als z.B. in unseren – durch die Wirkung der Eiszeiten sehr stark verarmten – Ökosystemen. In einigen Fällen wurden schon gute Befunde erarbeitet, die eher auf einen niedrigeren Spezialisierungsgrad hinweisen (BASSET 1992, FIEDLER 1995, 1998). Dies ist aber ein Thema, das noch von sehr vielen Unklarheiten belastet wird, denn bisher liegen nur recht willkürliche Definitionen dazu vor, was ein Spezialist und was ein Generalist ist und darüber hinaus wissen wir bei vielen Gruppen so wenig, dass wir auch auf der Basis der bisherigen Defi-

nitionen keine quantitativen Angaben machen können.

## **5. Redundanz in Gilden: ökosystemar überflüssig und daher verzichtbar?**

Stellt demnach die Mehrzahl der Organismenarten nur Spielformen einiger weniger Funktionstypen dar, nur Variationen weniger essentieller funktionaler Themen? Diese Variationen hätten dann zwar alle noch einen moralisch-ethisch begründbaren Existenz- oder Eigenwert (NORTON 1987, BARBIER et al. 1994, GROOMBRIDGE & JENKINS 2000), ggf. auch einen ästhetischen oder kulturellen Symbolwert als Mitgeschöpfe, manche auch Gebrauchswert, wenn wir sie aktuell im weitesten Sinn nutzen. Alle könnten künftigen, d.h. optionalen Wert haben, später sich vielleicht als nutzbar erweisen – und auf jeden Fall haben sie wissenschaftlichen Wert, da in der Biologie die Variabilität ein expliziter Forschungsgegenstand ist. Alle haben sie auch einen potentiellen evolutiven Wert, denn es ist prinzipiell unvorhersehbar, wo Evolution in der Zukunft weitergehen wird und mit jeder ausgerotteten Art verliert die Biosphäre zweifelsfrei an Evolutionspotential und erleidet damit einen Verlust (s. a. LINSENMAYER 1998, 2000 und dort angegebene Literatur).

Für die Erhaltung der derzeitigen Leistungsfähigkeit der Ökosysteme wären bei Zutreffen dieser Redundanzhypothese (z. B. WALKER 1992) viele Arten verzichtbar (LAWTON & BROWN 1994). Entscheidend wäre es dann unter diesem Aspekt nur, die Weiterexistenz der verschiedenen Funktionstypen in jeweils zumindest einer habitatangepassten Form sicherzustellen. Viele Variationen dieser Funktionstypen wären untereinander austauschbar. In dem heute mehrheitlich in allen bestimmenden Gesellschaften üblichen, ausgeprägt anthropozentrischen Weltbild, wären diese Arten dann opferbar, wenn ihre Erhaltung mit sozio-ökonomisch erwünschten Entwicklungszielen einer Mehrheit im Widerspruch steht und ein kompensierender Nutzen aktuell nicht gegeben ist und sich auch nicht direkt absehen lässt.

Wegen der heute üblichen ökonomischen Diskontierung künftigen Nutzens, die für die Bewertung unseres natürlichen Existenzpotentials sicher nicht nur ein untaugliches, sondern ein sehr gefährliches Instrument ist, werden künftige optionale Gebrauchswerte und Evolutionswerte von der großen Mehrheit der politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträger gering geschätzt, sie werden oft sogar schon fast etwas lächerlich gemacht (KASPAREK 2000) und als eine Argumentationsweise hingestellt, die von – überzogen – biozentrisch orientierten Naturschützern nur benutzt wird, um letztlich ausschließlich ethisch begründbare, mithin in einer materialistisch-individualistischen Gesellschaft unverbindliche Ziele zu bemänteln und ihnen damit mehr Gewicht zu verleihen. Was die Vorsorge für die kom-

menden Generationen angeht und das Gebot, ihnen keine Optionen zu nehmen, sieht es auch nicht besser aus: Die objektive Beobachtung des derzeitigen üblichen Handelns in Politik und Wirtschaft spricht doch sehr dafür, dass es sich hier im Konfliktfall um reinste Lippenbekenntnisse handelt und nicht um verbindliche Verhaltensimperative, die eigentlich selbstverständlich sein müssten.

Was lässt sich nun definitiv – also an wissenschaftlich Konsensfähigem – zur Frage der aktuellen ökosystemaren Bedeutung der Diversität sagen und zwar der Form der Diversität, die wir innerhalb des gleichen Funktionstyps, also definitionsgemäß innerhalb der selben Gilde bei potentiell redundanten Arten finden? Zunächst einmal lässt sich schon auf der Basis der heutigen begrenzten Erkenntnisse feststellen, dass sich beide Extrempositionen nicht halten lassen. Keinesfalls lässt sich die vorhandene Vielfalt schadlos auf jeweils einen einzelnen funktionalen Grundtypus pro Gilde reduzieren. Es ist aber auch nicht so, dass alle – z.B. Arten und sonstige – Variationen der Biodiversität für die basale Funktionsfähigkeit von Ökosystemen unverzichtbar wären, da hätte sich die Menschheit schon in der Steinzeit selbst eliminiert. Es ist hier aber nur von der *basalen Funktionsfähigkeit und von sehr begrenzten Zeiträumen* die Rede, denn angesichts der Zeitspannen, in denen sich Ökosysteme unter natürlichen Bedingungen reaktiv verändern können, verfügt die Wissenschaft nur über ganz kurzfristige Momentaufnahmen. Weiter ist noch Folgendes zu beachten: Da Ausrottungen von Arten und Zerstörungen ganzer Systeme absolut irreversible Eingriffe darstellen, haben wir keine Möglichkeit festzustellen, wie Systeme aussähen, wenn die eliminierten Arten – z.B. die vielen Großsäuger und vielen flugunfähigen Vögel, die der Homo sapiens in den letzten 10.000 Jahren, noch vor Beginn der Neuzeit weltweit ausgerottet hat – noch existierten und wie wir aus dieser Sicht dann den heutigen Zustand vieler Ökosysteme beurteilen würden. Schädigungen können oft erst mit erheblicher zeitlicher Verzögerung wirklich evident werden, weil sie viele schleichende Prozesse in Gang setzen. Ein Waldfragment in den Tropen, dessen Pflanzen zu mehr als 90% auf Tierbestäubung angewiesen sind, kann sich auch dann noch, wenn es seiner entscheidenden Pollinatoren beraubt wurde, über Jahrzehnte bis Jahrhunderte so erhalten, dass der unkundige Betrachter nicht erkennen wird, dass er hier nur eine Versammlung lebender Toter vor sich hat.

Die paläontologisch belegte Geschichte des Lebens sollte uns hier zu großer Vorsicht mahnen: Auf die auslösenden, z.T. wohl nur sehr kurzfristigen massiven Störungen, die zu einigen der früheren großen Aussterbeereignisse geführt haben, folgten lange, Hunderttausende von Jahren umfassende Zeiträume, in denen immer weitere Arten – vermutlich über sogenannte linked extinctions- und Dominoeffekte – ausgestorben sind, bevor dann die Kurve wieder um-

schwenkte und Artneubildungen die Oberhand über die Extinktionen gewonnen haben (HSU 1982, JABLONSKI 1986, RAUP 1986).

Aus den Momentbetrachtungen der ökologischen Forschung lässt sich auf jeden Fall ableiten, dass z.B. das Aussterben sehr seltener Arten, die weder direkt noch indirekt eine Schlüsselfunktion steuern, ohne große momentane Effekte bleiben sollte – aber nur so lange sich die ökologischen Verhältnisse nicht ändern. Wir kennen zahlreiche Fälle, in denen sonst sehr seltene Organismen unter speziellen, z.B. anthropogen erzeugten Verhältnissen Schlüsselfunktionen übernehmen können, vor allem im mikrobiellen Bereich, aber auch sonst auf allen Ebenen. Vermutlich gibt es welche, die immer sehr selten und wenig bedeutend bleiben werden, da wir aber bei den meisten dieser Arten derzeit nichts wissen, z.B. bei den bizarren Käfern der Gattung *Duliticola*, deren Weibchen in der (Abb. 4a, b) wiedergegeben sind, wissen wir trotz ihrer Auffälligkeit und des dadurch bedingten besonderen Interesses sehr vieler Käfersammler, das schon zu großen Expeditionen eigens zu ihrem Studium geführt hat, immer noch nichts Sicheres über ihre Nahrung (KOVAC 1999).

Die Geschichte lehrt uns ebenfalls, dass auch das Aussterben hochabundanter Arten von Ökosystemen verkraftet werden kann, wenn zur grundsätzlichen Kompensation fähige Arten vorhanden sind. So hat das Ulmensterben bei uns und die ebenfalls durch einen Pilzparasiten bedingte Ausrottung eines der quantitativ wichtigsten Bäume im Nordosten der USA, von *Castanea dentata*, zu keinen katastrophalen Störungen geführt (s. z.B. SMOCK & MACGREGOR 1989, AGRAWAL & STEPHENSON 1995). Was dies aber angesichts der menschengemachten rapiden globalen Veränderungen der ökologischen Randbedingungen für die Stabilitätseigenschaften der vom Artenverlust betroffenen Ökosysteme auch nur für die nächsten 100 Jahre bedeutet – für z.B. die Konstanz ihrer Produktivität, ihre Resistenz und Elastizität gegenüber Störungen, werden wir nie wissen, weil diese Art bis auf wenige Einzelexemplare ausgestorben ist.

Viele Effekte werden wir auch erst noch erkennen, wenn wir die komplizierten Wechselwirkungen besser durchschauen. Die Ausrottung der Wandertaube in den USA im letzten Jahrhundert, des Vogels, der wohl die höchste Abundanz unter allen Vogelarten der Welt aufwies, galt bisher als ein ökologisch weitgehend folgenloses Beispiel. Nun wird aber diskutiert, dass hierin die Ursache für die starke Ausbreitung der Lyme-Borreliose in Teilen der USA zu suchen ist, bei der Mäuse das Hauptreservoir für die als Überträger auf den Menschen fungierenden Zecken sind. Sie wurden früher – so die Annahme – über Nahrungskonkurrenz durch die Tauben kurzgehalten (CHAPIN et al. 2000). Ohne diese Konkurrenz war es ihnen möglich, viel höhere Abundanzen und eine wesentlich weitere Verbreitung zu erreichen.

## 6. Der dauernde Wandel der ökologischen Verhältnisse verlangt ein hohes Anpassungspotential

Was wir definitiv wissen, ist, dass sich die ökologischen Verhältnisse trotz der dämpfenden Regelkreise in der Biosphäre dauernd in allen zeitlichen Dimensionen wandeln, zum einen durch äußere, abiotische Einflüsse, die oben schon z. T. kurz erwähnt wurden, zum anderen aus systemimmanenten Gründen – nämlich durch das Wirken der Evolutionsfaktoren selbst: Einzelne Arten, ja einzelne Mutationsschritte können die Bedingungen essentiell verändern – können zum Ausgangspunkt von Radiationen werden. Auf dem Niveau einer einzelnen Art sind wir selbst das beste Beispiel: Einmal mehr, aber erstmals durch das Wirken nur einer einzigen Art, nämlich der des *Homo sapiens* ändert sich die Welt in der Folge einer evolutiven Entwicklung.

Ein entscheidender Wesenszug all dieser Änderungen ist ihre prinzipielle Unvorhersehbarkeit. Da Organismen aber keine Möglichkeit haben, auf neu auftretende Probleme durch gezielte Veränderung ihres Erbguts zu reagieren, können sie auf neue Herausforderungen nur reagieren, wenn es in der vorhandenen Variabilität schon Präadaptationen gibt. Diese müssen – wenn nicht schon gleich die passende Antwort – doch Ansatzpunkte für eine entsprechende Selektion bieten. Diese verschafft den Trägern dieser Merkmale relative Vorteile bei der Konkurrenz um den Fortpflanzungsbeitrag zur nächsten Generation.

Damit wird aber klar, dass die seltene, für das momentane Funktionieren eines Ökosystems unbedeutende Art bzw. die seltene Mutante innerhalb der Population einer Art, unter veränderten Bedingungen u. U. schlagartig eine ökosystemare Schlüsselrolle übernehmen kann. Hierfür ließen sich Tausende von Beispielen allein im Bereich der als Schädlinge klassifizierten Konkurrenten, Parasiten und Krankheitserreger des Menschen und seiner pflanzlichen und tierischen Schützlinge anführen – und natürlich auch eine sehr große Zahl von Beispielen auf der Seite der Arten, die wir positiv beurteilen. Viele der Kulturfolger des Menschen im weitesten Sinn, viele von ihm gezielt oder unbeabsichtigt verschleppte Arten, hatten in ihren Originalsystemen keinerlei Schlüsselrolle inne, sind aber unter veränderten Randbedingungen zu Arten von extremer, z. T. sehr zweischneidiger (Abb. 5 a) und auch eindeutig, zumindest in manchen Regionen, zu katastrophaler Bedeutung geworden, wie z. B. die Wasserhyazinthe *Eichhornia* in vielen afrikanischen Seen (Abb. 5 b). Dabei haben und hätten in aller Regel unsere Kenntnisse nicht ausgereicht zu prognostizieren, bei wem eine katastrophale Entwicklung zu erwarten gewesen wäre (s. dazu u. a. ELTON 1958, DRAKE et al. 1989, SOLBRIG et al. 1994, CHAPIN et al. 2000).

Ist damit die Mehrheit der zu einer Gilde gehörenden Arten in erster Linie Versicherungsgut für künftige

Änderungen? Das ist insofern nicht vorstellbar, als Evolution völlig blind gegen künftige Entwicklungen ist und sie nur solche Arten nicht eliminiert, die sich auch unter den momentan gegebenen Bedingungen halten können. Damit müssen alle Arten aktuell eine Rolle spielen und sich der Trend zur hohen Diversität, den wir in allen alten Lebensgemeinschaften sehen und dem wir in der Geschichte des Lebens immer und immer wieder begegnen, unmittelbar und nicht immer erst beim Durchschreiten von ökologischen Flaschenhälsen zeigen. Diese aktuelle Rolle der Arten und ihr ökosystemarer Wert kann nicht nur in ihrer vollen funktionalen Redundanz bestehen. Denn funktional voll redundante Arten müssen, sobald die Kapazität einer ersten limitierenden Ressource erreicht ist, in Konkurrenz geraten, wobei stets zu erwarten wäre, dass eine Art sich als konkurrenzüberlegen erweisen und nach dem Konkurrenzausschlussprinzip die unterlegene Art eliminieren wird. Wie sich aber auch in der Simulation zeigen lässt, können viele Arten mit sehr ähnlichen ökologischen Nischen nebeneinander existieren, wenn sie in ihren Ansprüchen an und ihren Reaktionen auf mindestens drei essentielle Nischendimensionen variieren, selbst wenn die Außenbedingungen konstant bleiben sollten (HUISMAN & WEISSING 1999), was aber nicht einmal über mehrere Jahre oder Jahrzehnte der Fall ist.

Eine volle ökologische Äquivalenz kann hinsichtlich bestimmter wichtiger Eigenschaften – wie der Nutzung gleicher, prinzipiell limitierter Ressourcen – nur dann langfristig gegeben sein, wenn die limitierende Ressource de facto nie, zumindest nie längerfristig erschöpft wird. Räuber und Parasiten und stochastische Störungen verschiedener Natur (s. stochastische Fluktuationsmodelle: LINSÉNMAIR (1990), KÖNIG & LINSÉNMAIR (1996) könnten hier z. B. die Gesamtheit aller Nutzer so regulieren, dass diese nie die Kapazität erreichen, wie dies bei vielen der besonders artenreichen tropischen pflanzliche Ressourcen nutzenden Insekten, wie z. B. Wanzen (Abb. 6 a) oder Herbivoren (Abb. 6 b) und auch bei vielen anderen tropischen Gilden der Fall zu sein scheint. In solchen Fällen liegt aber selbst bei noch so weitgehender Äquivalenz, keine funktionale Redundanz vor, da sich die Abundanzen dieser Arten gegenseitig nicht beeinflussen und damit keine Konkurrenzverhältnisse vorliegen, bei denen dann gegenseitiger Ersatz möglich wäre. Das gesamte System aber profitiert hier in seiner Effizienz, weil sich die parallel ablaufenden Leistungen addieren – genau wie die von Artgenossen unter der Kapazitätsgrenze.

Mit der hier getroffenen Feststellung, dass es als Regelfall keine wirklich voll redundanten Arten gibt, sondern sich eine solche Feststellung nur auf einen engen Leistungsbereich und raum-zeitlich begrenzten Ausschnitt beziehen kann, verstehen wir noch nicht den schon erwähnten, ganz universellen Trend zur hohen Variabilität auf der Ebene der Arten in Lebensgemeinschaften.

## 7. Diversität und Persistenz von Ökosystemen: die alte Diskussion um die Beziehung zwischen Diversität und Stabilität

Lebensgemeinschaften sind keine koevoluierten Superorganismen, die das gemeinsame Interesse an einem maximalen Reproduktionserfolg an einem Strick ziehen lassen würde, wie das im Großen und Ganzen bei den vielen spezialisierten, verschiedene Leistungen erbringenden Zellen eines Vielzellerorganismus oder bei den Kasten eines Insektenstaates oder den zu einem wirklichen Superorganismus verschmolzenen und zu Organanaloga reduzierten Individuen einer Staatsqualle der Fall ist. Wir können uns daher keine direkte Selektion homöostatischer Mechanismen in Ökosystemen vorstellen, bei denen z.B. bestimmte Arten auf maximale Ressourcenausnutzung und maximalen Reproduktionserfolg verzichten würden, um das Ökosystem als Ganzes zu stabilisieren. Solche Effekte müssen indirekt entstehen und selektiv durch die längere Persistenz belohnt werden.

Wie nun kann der Artenreichtum von Gilden zur Homöostase von Lebensgemeinschaften beitragen? Wieso finden wir nicht generell in allen Biozöosen die typische Dominanz weniger Arten mit hoher ökologischer Potenz, die gestörte und von ihren abiotischen Bedingungen her extreme, nur relativ kurzfristig existierende Lebensgemeinschaften charakterisieren? Warum führt die langfristige, von besonders massiven Störungen freie Entwicklung stets zu einer höheren Evenness, d.h. zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Biomasse auf verschiedene Arten, zur Seltenheit der bei weitem meisten Arten (gemessen an den Maßstäben unserer nacheiszeitlichen Lebensgemeinschaften in Mitteleuropa) und zur hohen Zahl von Mitgliedern in den Gilden dieser Gemeinschaften?

Wir sind hier nun nach einem längeren Weg bei der alten Frage nach der Beziehung der Diversität von Gemeinschaften und ihren Stabilitätseigenschaften gelandet (s. dazu u.a. JOHNSON et al. 1996, LINSÉNMAIR 1995, LINSÉNMAIR 2000,) und dort jeweils aufgeführte Literatur).

Die Annahme der positiven Korrelation zwischen der Diversität von Lebensgemeinschaften und solchen Stabilitätseigenschaften war bis zum Beginn der 70er Jahre ein weit verbreitetes intuitives Konzept (ELTON 1958, MACARTHUR 1955). Dann wies MAY (1972) im mathematischen Modell nach, dass im Lotka-Volterra Konkurrenz-System höhere Diversität lokal geringere Stabilität verursacht. Allerdings bezog sich diese Aussage auf die Abundanzen der interagierenden Populationen und nicht auf die Zönose als Ganzes und beruhte außerdem auf gänzlich unökologischen Annahmen, bei der reine Zufallskombinationen von Arten untersucht wurden (s. dazu MAY 1974). Lebensgemeinschaften bestehen aber nie aus reinen Zufallskombinationen, es sei denn wir betrachten einen gänzlich neu geschaffenen Lebensraum ganz am Beginn einer Sukzession, noch bevor

es zu wirklichen Interaktionen der Neankömmlinge untereinander gekommen ist. Diese sehr essentiellen Einschränkungen der Aussagekraft der theoretischen Analyse von MAY fanden aber keine weitere Beachtung – und die ganze Diversitäts-/Stabilitätsdiskussion erstarb für mehr als ein Jahrzehnt weitgehend. Diversität als ein ökologisches Problem war in der Ökologie sehr plötzlich kein Thema mehr. Erst das durch die Biodiversitätskrise neu erwachte Interesse an Diversitätsfragen belebte diese Diskussion wieder. Die Mehrzahl der in jüngster Zeit publizierten theoretischen und empirischen Studien sprechen nun deutlich für eine positive Korrelation von Diversität mit verschiedenen Stabilitätseigenschaften (s. Artikelserie in *Nature*, Mai 2000). Diese Studien sind vorerst aber in ihrer Aussagekraft noch recht beschränkt, da sie fast alle kleinräumig, kurzfristig und an vergleichsweise artenarmen Systemen durchgeführt wurden (MCNAUGHTON 1993).

Relativ längerfristige Untersuchungen haben Tilman mit Mitarbeitern (s. TILMAN 1999 und dort aufgeführte Publikationen aus seiner Arbeitsgruppe) durchgeführt. Sie haben über 11 Jahre auf mehr als 200 Experimental- und Kontrollflächen eines Graslands in Minnesota die Diversität der Primärproduzenten manipuliert und die Produktivität, die stehende Biomasse, die Resistenz gegen Einwanderung von Arten und die Folgen einer starken Dürre untersucht. Sie fanden, dass zunehmende Diversität die Produktivität und stehende Biomasse stabilisierte, dass die diverseren Flächen resistenter gegen Dürre waren. Dies gilt aber nur für die Gemeinschaft insgesamt, die Abundanzschwankungen der einzelnen Arten nahmen gemäß den Modellrechnungen von MAY (1974) bei steigender Diversität zu. Die Resistenz gegen die Einwanderung zusätzlicher Arten stieg in allen Versuchsflächen mit zunehmender Diversität signifikant an, was ja auch in unmanipulierten Systemen immer wieder belegt wurde (s. z.B. HUSTON 1994) und schon lange bekannt ist (ELTON 1958).

Welcher Mechanismus ist hier für die mit zunehmender Diversität zunehmende Stabilisierung des Gesamtsystems verantwortlich? Nimmt man an, dass die miteinander koexistierenden Arten sich so unterscheiden, dass sie als Antwort auf veränderte Randbedingungen in ihren Abundanzen zufallsverteilt und unabhängig voneinander reagieren, dann sollte mit zunehmender Zahl der Arten die Varianz der Gesamtabundanzen abnehmen, weil sich positive und negative Veränderungen im statistischen Mittel bei größeren Zahlen die Waage halten. Dies wird in Anlehnung an das entsprechende Prinzip ökonomischer Risikoabsicherung durch Diversifikation (z.B. in einem Aktienfond) als „Portfolio effect“ bezeichnet (TILMAN et al. 1998). An dem Verhältnis der abhängigen, der sogenannten Kovarianzen und der Gesamtvarianz lässt sich klar erkennen, dass wir hier kein hauptsächlich konkurrenzgetriebenes System vor uns haben, sondern dass es die unterschiedliche Einni-



5a



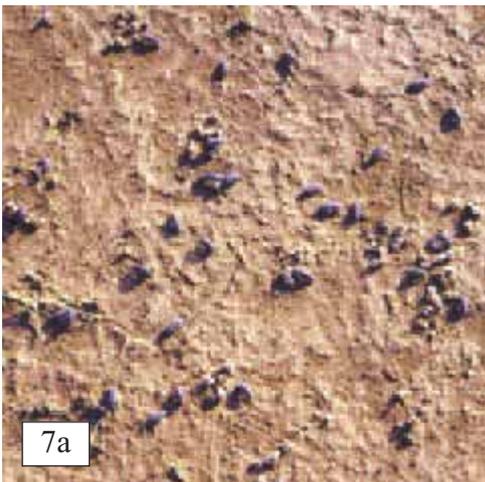
5b



6a



6b



7a



7b



8a



8b

schung der koexistierenden Arten ist, ihre sich je nach ökologischer Situation ändernde Leistungsfähigkeit, die in erster Linie zu ihrem jeweiligen momentanen Erfolg oder Misserfolg beiträgt (TILMAN 1999). Damit ist gezeigt, dass tatsächlich der Portfolio-Effekt für die verbesserten ökosystemaren Leistungen des artenreicheren Systems verantwortlich ist. Es ist die Komplementarität der Gildenmitglieder und nicht ihre redundante Übereinstimmung, die die Ökosystemleistungen auf einem hohen Niveau stabilisiert.

In natürlichen Savannenhabitaten wurde nachgewiesen, dass nach Störungen zwar mit zunehmender Diversität die Varianz der Abundanzen der einzelnen Arten zunimmt und trotzdem – vielleicht zunächst einmal kontraintuitiv – der Arten turnover (d.h. die Veränderungen in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in der Zeit) aber abnimmt. Das heißt aber, dass hohe Diversität ihre eigene Erhaltung fördert.

Eine lebhafte und kontroverse Diskussion wird nach wie vor noch zur Interpretation dieser und weiterer gleichartiger Ergebnisse geführt, so z.B. zur Frage, ob es reine Diversitätseffekte gibt, oder ob diese nie von Portfolio-Effekten zu trennen sind (s. dazu TILMAN 1999 und dort angegebene Literatur). Reine Diversitätseffekte könnte es dort geben, wo Ressourcen von einzelnen Arten nicht erschöpft werden (s. o.) und sich die Effekte mehrerer Nutzerarten addieren. Aber auch in solchen Fällen werden sich bei genauerer Analyse wohl immer Differenzen zwischen diesen verschiedenen Arten zeigen, die eher Portfolio-Effekten zuzuordnen sind und die ein solches Mehrartensystem von einem Ein-Arten-System, das infolge von Abundanzschwankungen eine Ressource unterschiedlich stark nutzt, unterscheiden. Syntop lebende unterschiedliche Arten werden sich in aller Regel stärker voneinander unterscheiden als die Mitglieder einer einzelnen Population. Sie werden verschieden auf Veränderungen der Umwelt reagieren, verschiedene Feind- und Parasitenspektren aufweisen, etwas verschiedene Phänologien, Generationszeiten etc. haben – und daher oft auf gleiche Einflussfaktoren eher divergierend als gleichgerichtet reagieren und so leistungsstabilisierend wirken als es einer Art allein gelingen wird, da deren Angehörige in der Folge ihrer höheren genetischen Ähnlichkeit eher gleichgerichtet antworten werden.

In den hier zuvor erwähnten Arbeiten, die mehrheitlich mit Primärproduzenten durchgeführt wurden, näherten sich die erfassten Leistungen schon bei recht niedrigen Artenzahlen (zwischen ca. 10-30) ihren höchsten Werten. Wurden den Gilden weitere Arten zugefügt, änderte sich im Rahmen der Messparameter und der Versuchszeiten nichts mehr. Zeigt dies, dass doch viele Arten voll redundant sind? Das wäre sicher ein voreiliger Schluss, denn solche sehr kleinräumigen und kurzzeitigen wissenschaftlichen Momentaufnahmen, dazu oft noch unter sehr künstli-

chen experimentellen Bedingungen, lassen natürlich nur ansatzweise Aussagen dazu zu, welche Diversitätswerte in einer Gilde unter natürlichen, stets auch gelegentliche extreme Verhältnisse einschließenden Bedingungen optimal sind (s. dazu auch TRAVIS & FUTUYMA 1993, ORIANI & DIRZO 1996, JANZEN 1997).

## **8. Wie lässt sich der stete evolutive Trend zu hoher Diversität erklären?**

Wie und was gewinnen Gemeinschaften, indem sie diverser werden – und wie wird diese Diversität gefördert? Welche Gegebenheiten fördern die Persistenz von Arten und sorgen für deren Akkumulation, solange sich die Randbedingungen nicht zu stark ändern? Wie greifen Ökosystemleistungen hier ein? Finden wir positive Rückkopplungen dergestalt, dass bestimmte Leistungen Diversität fördern und diese dann ihrerseits wieder die Ökosystemleistungen verbessern?

Wie aus den Ausführungen zum Kinderschuhzustand der Biodiversitätsforschung, die ich eingangs gemacht habe, jedem klar geworden sein sollte, können zu den gerade gestellten Fragen natürlich noch keine wissenschaftlich zufriedenstellenden Antworten gegeben werden. Die Richtungen, in denen wir suchen müssen, werden aber zunehmend klarer, und erste Antworten deuten sich an.

Wenn wir artenarme Systeme, seien es junge oder solcher extremer Standorte (die meist dann zusätzlich auch noch jung sind) betrachten, dann finden wir, dass sie häufig recht starke Fluktuationen ihrer z.B. stehenden Biomasse oder Produktivität zeigen. Bei den Primärproduzenten finden wir ausgeprägte Sukzessionen, die zu Klimaxzuständen führen, die im Regelfall irgendwann zusammenbrechen.

Bei den Konsumenten auf den verschiedenen trophischen Ebenen dieser Systeme stoßen wir auf starke Abundanzschwankungen mit Massenvermehrungen und Übernutzungen von Ressourcen (s. dazu Abb. 7a, b). Wir finden in solchen Gemeinschaften im Regelfall sehr einfache, kurze Nahrungsketten, die zu sehr starken Wechselwirkungen zwischen Vertretern der verschiedenen trophischen Niveaus führen und sehr einseitige Ressourcennutzungen bedingen. Hier fehlen offensichtlich gute Dämpfungseigenschaften, weshalb es zu den starken Schwankungen bei den wenigen Arten kommt, die fast die ganze Biomasse auf sich vereinen und die die Stoff- und Energieflüsse bestimmen – und oft dann letztlich von abiotischen Faktoren besonders stark beeinflusst werden.

Betrachten wir auf der anderen Seite besonders artenreiche Systeme, wie wir sie am ausgeprägtesten in Tieflandregenwäldern und Korallenriffen finden, dann suchen wir in aller Regel vergeblich nach einigen wenigen dominanten Arten, die den größten Teil der Biomasse auf sich vereinen, sondern wir finden

vielmehr ungemein viel egalitärere Verhältnisse: Von Sonderfällen abgesehen, sind in diesen Biozöosen alle Arten selten –und der für unsere Betrachtung hier wesentlichste Punkt scheint der zu sein, dass diese Systeme in erster Linie durch schwache Wechselwirkungen und vielfältig verwobene Nahrungsnetze geprägt sind. Zwischen den einzelnen, in einem Netz verwobenen Arten fließen nur geringe Energie- und Stoffmengen. Räuber-, Parasiten und Krankheitserreger aber auch Mutualisten üben sehr wichtige Kontrollfunktionen aus und sorgen dafür – inzwischen z. B. für die Keimlinge und den Jungwuchs von Bäumen nachgewiesen (GILBERT et al. 1994, WEBB & PEART 1999, GIVNISH 1999) – dass etwas häufiger gewordene Arten in ihren Abundanzen eher wieder reduziert und seltenere eher wieder häufiger werden.

Interspezifische Konkurrenz scheint dagegen in diesen sehr artenreichen Systemen – zumindest auf den höheren trophischen Ebenen (wenn man von einigen Wirbeltiertaxa absieht) nur eine begrenzte Rolle zu spielen, was dort nicht verwundert, wo z. B. Räuber und Parasiten alle Nutzer einer bestimmten Ressource immer so kontrollieren, dass sie unter der Kapazitätsgrenze festgehalten werden. Dass aber z. B. auch zwischen den bis zu mehr als 30 Ameisenarten, die die Krone eines einzigen relativ kleinen Baumes in der unteren Kronenschicht eines noch intakten Regenwalds bewohnen, fast keine Konkurrenz nachzuweisen ist, dass es uns bei Studien zur Struktur von Baumkronengemeinschaften in Borneo in keinem Fall gelungen ist, negative Assoziationen, d. h. also gegenseitigen Ausschluss von Arten zu finden, wie sie sonst gerade bei den sedentären, stark territorialen Ameisen (Abb. 8a,b) in vielen anderen Lebensräumen ubiquitär sind, war doch sehr überraschend (s. dazu: GÖTZKE & LINSENMAIR 1996, FLOREN & LINSENMAIR 1998, FLOREN & LINSENMAIR 2000). Interessanterweise verändert sich das Bild schlagartig und fundamental, wenn ein solcher Wald starkem anthropogenen Wandel unterworfen wird. In einem sich nach einem Kahlschlag regenerierenden Jungwald, der mit Primärwald oder einem noch guten Sekundärwald in direkter Verbindung stehen kann, können sich dann trotzdem auch nach 10 Jahren der Regeneration nicht mehr als knapp 10% der Arten des Primärwalds halten, obwohl hier sicher ein dauernder Einstrom von Geschlechtstieren aller Hunderte von Arten des Primärwalds stattfindet. Die wenigen Arten, die sich halten können, bilden aber ganz andere Gemeinschaftsstrukturen aus (FLOREN & LINSENMAIR 2001 a,b) als die, die im Primärwald zu finden sind.

Während im Primärwald die Zusammensetzung der Ameisengemeinschaft von Baum zu Baum völlig zufällig schwankt und absolut nicht vorhersagbar ist, finden wir ganz ausgeprägte Dominanzverhältnisse, negative und positive Assoziationen und eine sehr gute Voraussagbarkeit der Zusammensetzung der Artengemeinschaften in den gestörten Gebieten. Die

Gründe für diese Unterschiede könnten in erster Linie in der Nahrungsverteilung liegen. Sieht man von bestimmten Typen von Myrmekophyten, d. h. von mit bestimmten Ameisenarten in obligatorischer Symbiose lebenden Pflanzen ab, dann dürfte die Nahrung für die vielen Ameisen [sie stellen meist mehr als 50% aller Insektenindividuen und ihre Biomasse übertrifft die der Wirbeltiere in einem solchen Wald deutlich (FIGTTKAU & KLINGE 1973, HÖLLDOBLER & WILSON 1990)] meist sehr feinkörnig und in wichtigen Anteilen meist auch sehr zufällig verteilt sein. Unter solchen Bedingungen ist es unökonomisch, das für die sichere Versorgung eines Volkes notwendigerweise sehr große und dazu durch seine Dreidimensionalität noch sehr kompliziert gestaltete Territorium zu verteidigen. Es dürfte hier viel günstiger sein, die Energie voll in die Nahrungssuche zu stecken – und dann nur noch auf dieser Ebene indirekte Konkurrenz zu betreiben, indem man schneller ist als die interspezifischen Konkurrenten. In solchen Systemen ist es besonders wichtig, gute Ausbreitungsfähigkeit zu besitzen, denn es bieten sich immer nur zeitlich sehr eingeschränkte, punktuelle Fenster, die eine erfolgreiche Neuansiedlung erlauben. Diese und weitere Aspekte kann ich hier jetzt aber nicht weiter ausführen.

## 9. Die Bedeutung schwacher Wechselwirkungen

Wir müssen zu unseren grundsätzlichen Problemen zurückkommen. Auf die Frage, was gewinnen Ökosysteme mit zusätzlichen Arten können wir jetzt eine vorläufige Antwort geben. Da sich auch die artenreichsten Ökosysteme in ihrer Produktivität nicht – oder doch nur maximal um den Faktor 2-3 und nur in bestimmten Kompartimenten: in Tropenwäldern z. B. nur bei den Blättern, Blüten, Früchten – von produktiven Wald-Ökosystemen der gemäßigten Breiten unterscheiden, muss ihre um ein bis über 2 Zehnerpotenzen höhere Artenzahl zwingend mit der Reduktion des Biomasseanteils und damit der Reduktion auch des Umsatzes, Ressourcenverbrauchs etc. der einzelnen Art verbunden sein. Je kleiner und vielfältiger diese Portionen werden, umso mehr werden *schwache Wechselwirkungen* in einer solchen Gemeinschaft bestimmend werden. Umso vielfältiger werden die Verknüpfungen, umso besser werden alle Ressourcen genutzt werden – aber in jeder zwischenartlichen Beziehung nur in kleinen Portionen. Damit erreicht das System höchste Effizienz in der Ressourcennutzung. Da, wo noch starke Wechselwirkungen zwischen einzelnen Arten vorhanden sind, werden sie – wegen der kleinen Flüsse von Energie und Stoffen – quantitativ recht bedeutungslos bleiben, es sei denn sie betreffen Schlüsselarten, deren funktionale Bedeutung weit höher liegt, als ihrem Biomasseanteil entspricht. Insgesamt wird das System durch diese schwachen Wechselwirkungen stabilisiert. Es dürfte an Konstanz gegenüber intrinsischen und gegenüber externen Störungen gewinnen, solange die-

se nicht bestimmte Grenzwerte überschreiten. Und auch da, wo solche Grenzen überschritten werden, müssen wir erwarten, dass sich der Artenreichtum durch Portfolio-Effekte und partielle funktionale Redundanz auszahlt: Je mehr Arten vorhanden sind, umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch starke Veränderungen von noch relativ vielen überstanden werden und damit das System noch zur Selbsterhaltung fähig bleibt, und es auf der Grundlage eines noch relativ guten, durch den Flaschenhals geretteten evolutiven Potentials wieder einigermaßen rasch Diversität durch neue Speziationen nachproduzieren kann.

Auch die reichsten heute existierenden Biozönosen dürften immer noch weiteren Arten, die noch nicht (voll) genutzte Ressourcen verwerten können, Lebensmöglichkeiten bieten. Sektorale Sättigungen scheint es sehr wohl zu geben, aber für eine prinzipielle Sättigung ganzer Biozönosen haben wir keine guten Hinweise. Die Evolution neuer Arten dürfte dabei gerade in den besonders diversen Systemen durch mehrere Faktoren gefördert werden. Zu diesen gehören u. a. neben der Kleinheit der Populationen und der extremen Mosaikförmigkeit der Ressourcenverteilung höchstwahrscheinlich auch lokal relativ konstante Bedingungen für evolutiv signifikante Zeiträume. Je konstanter Bedingungen sind, umso eher werden sie sehr spezielle Adaptationen fördern und damit als Nebeneffekt die ökologische Potenz der Populationen reduzieren, wogegen unter lokal stark schwankenden Bedingungen immer gegen eine solche Spezialisierung selektiert werden wird. Je konstanter, umso eher werden damit dann aber Unterschiede in den lokalen Bedingungen zu lokalen Anpassungen führen und diese dann Artbildungen fördern. In diesem Zusammenhang sind jüngste Ergebnisse aus tropischen Ökotonlebensräumen sehr interessant, die zeigen, dass Selektion auch gegen starken Genfluss sehr erfolgreich sein kann (SMITH et al. 1997), wir also hier für eine Artbildung entlang von klimatischen Gradienten, etwa nach der Höhe oder sich ändernder Wasserverfügbarkeit, nicht immer die volle, langfristige Unterbrechung des Genflusses voraussetzen müssen.

Im schon eng geflochtenen Netz dürften den neuen Arten aber wohl in aller Regel auch immer nur kleine Ressourcen-Portionen zufallen und der Vielfalt der Kontrolleure werden sie sich auch nicht entziehen können. Damit sollten solche alten, artenreichen Biozönosen, solange sie einigermaßen ungestört sind, gegen katastrophale Auswirkungen von Neozoen und Neophyten gut geschützt sein, soweit diese nicht Funktionstypen repräsentieren, mit denen die betrachteten Gemeinschaften in langen evolutiven Zeiträumen nie etwas zu tun hatten. Dies hat sich auch vielfach so bestätigt, wie schon weiter oben ausgeführt wurde.

## 10. Integrierte Ökosystemleistungen als Beiträge zu den Biosphärenleistungen

Die bis jetzt vorgestellte Form der Förderung von Ökosystemkonstanz durch Artenakkumulation mit der Folge schwacher Wechselwirkungen und positiver Rückkopplungen zur weiteren Artenbildung und Artenakkumulation ist nicht der einzige Weg, wie eine zunehmende Konstanz erreicht wird.

Weitere sehr wichtige Beiträge liefern Schlüsselerfindungen bestimmter Taxa und summierte, auf der Landschaftsebene erbrachte Leistungen der Ökosysteme. Ein für uns besonders wichtiger Aspekt ist der der Klimakontrolle. Schlüsselerfindungen sind dabei neben dem Prozess der Photosynthese und dem aeroben Stoffwechsel u. a. von Organismen hergestellte Moleküle (verschiedene Aerosole von Algen und auch von vielen Tropenbäumen, analoge Produkte von Bakterien), die Wolkenbildung induzieren und als Kondensationskeime das Abregnen unter Temperaturbedingungen fördern, unter denen ohne sie die Temperaturen noch nicht niedrig genug wären, um die Bildung von Eiskristallkeimen zu erlauben (SCHNELL & VALI 1976, VALI et al. 1976, MAKI & WILLOUGHBY 1978, SANDS et al. 1982). Die Wolkenbildung verstärkt in hohem Maß die Albedo und verhindert so ein sehr starkes Aufheizen der bodennahen Schicht bzw. der Wasseroberfläche. Der Regen selbst wirkt in die gleiche Richtung – es resultiert eine Dämpfung von Temperaturextremen und von Trockenphasen. Notwendig dazu ist natürlich, dass genügend Wasserdampf vorhanden ist – und der wird auf dem Land in erster Linie über die Vegetation geliefert. Im Zusammenspiel von Evapotranspiration der Vegetation und Abgabe von Ärosolen entstehen viele der lokalen Regen, die vor allem im Inneren größerer Landflächen von hoher Bedeutung sind. Sie zeichnen z.T. scharf die Verteilung der Vegetation nach, schon Flüsse oder stärker gestörte Flächen werden oft ausgespart.

Je reicher die Vegetation, umso höher und gleichmäßiger ist die Verdunstung, solange das Wasser nicht limitiert ist. Ein artenreicher tropischer Regenwald ist ein hervorragender Wasserdampfproduzent.

Effektiv kann das System nur sein, wenn große Flächen zur Verfügung stehen – und es steht zu befürchten, dass bei deren Reduktion nicht einfach nur stets direkt korreliert die Generierung von lokalem Regen reduziert wird. Vielmehr ist hier, wie auch bei vielen anderen Prozessen zu erwarten, dass Schwellenphänomene vorliegen, die bei Erreichen einer kritischen Grenze dann zu einem plötzlichen Umschlag führen. Wir kennen solche Phänomene am besten von Seen mit hoher Pufferkapazität. Sie können die Einleitung von Säuren lange voll kompensieren, bis dann bei Erreichen des Grenzwerts der ganz plötzliche Umschlag kommt. Solche nicht-linearen Prozessverläufe sind unserem intuitiven Denken leider weit-

gehend fremd, was uns immer wieder zu massiven Fehlurteilen verleitet.

Im marinen Bereich spielt hier das DMS, das Dimethylsulfid, das von einer Reihe von marinen Algen in die Atmosphäre abgegeben wird, eine sehr wichtige Rolle als Aerosol (NISBET 1994, HAMILTON & LENTON 1998). Wie konnten solche Substanzen, die vielen anderen Arten, letztlich dem ganzen Ökosystem durch homöostatische Klima-Regelung nützen, primär selektiert werden? Da sollte man stets einen direkten Nutzen für die Erzeuger annehmen? Was nun den oder die ersten Schritte angeht, wissen wir nicht, was das war. Wir kennen aber seit jüngstem (HAMILTON & LENTON 1998) einen direkten Nutzen – und der besteht darin, dass durch die Wolkenbildung ein Sog entsteht, in dem solche Algen (es handelt sich dabei um sehr kleine Formen) in die Atmosphäre hochgezogen werden und sich dann mit den ziehenden Wolken großräumig verbreiten lassen können, was natürlich eine hervorragende Erfindung ist – wie jede Form des Fliegens. Ich habe schon gleich eingangs als ein weiteres Beispiel die Konstanzhaltung der Sauerstoffkonzentration bei 21 % erwähnt. Was für den Sauerstoff gilt, gilt in mehr oder weniger ähnlicher Weise für alle anderen Gase der Atmosphäre (von den Edelgasen abgesehen). So wird z. B. auch die Stickstoffkonzentration sehr genau bei 78 % eingeregelt, d. h. heißt aber, dass Stickstoff-fixierende biotische und abiotische oxidative, nitrifizierende Prozesse und bakterielle Reduktions- (= Denitrifikations)prozesse zu  $N_2$  sehr genau austariert sein müssen, andernfalls müsste der Stickstoffgehalt der Atmosphäre bereits im Lauf von nur einigen Millionen Jahren schon deutlich abnehmen.

Auf wesentlich längeren Zeitskalen finden hier – aber wohl wieder nur innerhalb bestimmter Grenzen – auch solche Regelungen zwischen  $CO_2$ , Sauerstoff und Phosphor (als Silikat-Karbonat-Kreislauf: BERNER et al. 1983) statt, die rein von biologischen Systemen, d. h. letztlich immer von interagierenden Organismen gesteuert werden: Über  $CO_2$ -Zunahme – etwa in der Folge weiträumiger Waldbrände, entstehen zum einen Treibhauseffekte mit verändertem Klima und weiter sich erhöhendem  $CO_2$ -Angebot, zum anderen kommt es durch Ausschwemmen der Brandflächen zu einem erhöhten Phosphorangebot und damit zur vorübergehend verstärkten marinen Biomasseproduktion und erhöhter mariner Sedimentation von Biomasse, und damit wieder zum Phosphor- und Kohlenstoffentzug mit der Folge, dass längerfristig die vorherige  $CO_2$ -Konzentration wieder eingestellt wird, wobei die großen Waldsysteme eine ganz zentrale regulierende Rolle über ihr Wachsen und ihr Schrumpfen spielen.

### 11. Welche Folgerungen sind zu ziehen?

Was ist nun als Quintessenz aus dem zu ziehen, was wir zur ökosystemaren Rolle der Diversität schon

wissen oder mit einigermaßen gutem Grund vermuten? Was ergibt sich als notwendige Konsequenz für unseren Umgang mit unserem natürlichen Biodiversitätserbe?

Wir sind für unsere Existenz auf die kostenlosen – und daher in ihrem Wert von der Mehrheit der Menschheit grob unterschätzten – Leistungen von Ökosystemen lebensnotwendig angewiesen. Diese Leistungen entstehen aus der Interaktion von vielen verschiedenen Organismen untereinander und mit ihrer abiotischen Umwelt in lokal angepassten, stark geschichtlich geprägten Lebensgemeinschaften, deren einzelne Mitglieder sich zweifellos in ihrem jeweiligen momentanen Funktionswert unterscheiden. Die meisten Leistungen sind – zumindest in den artenreicheren Systemen – mehrfach abgesichert, aber nicht durch echte, volle Redundanz der Mitglieder gleicher Gilden, sondern durch eine mehr oder weniger enge Komplementarität, die es erlaubt, über einen weiten – aber eben keineswegs beliebig weiten – Schwankungsbereich der ökologischen Randbedingungen die Leistungen weitgehend konstant zu erhalten. Der Ausfall einzelner Arten innerhalb solcher Gilden wird meist keine dramatischen unmittelbaren Wirkungen zeigen. Abgesehen aber von Arten, die auch natürlicherweise aussterben würden (nach vielen verschiedenen Schätzungen pro Jahr nur 1/1000 bis 1/100 000 der durch unser Wirken derzeit jährlich vernichteten Arten – s. DE WIT 1997), bedeutet aber jede verlorene Art auf mehreren Ebenen einen Verlust: Evolutionswert, wissenschaftlicher Wert, künftiger Optionswert – und auf jeden Fall auch Nutzwert im ökosystemaren Kontext, denn jede existierende Art steuert ihren, wenn auch vielleicht nur sehr kleinen Beitrag zur Funktion des Ganzen bei. Bei über 90% der bekannten Arten wissen wir aber nichts Genaues über die ökologische Rolle – und die Bekannten machen vermutlich kaum 10% der tatsächlich Vorhandenen aus. Hier haben wir also in fast allen Fällen keinesfalls die notwendigen Kenntnisse, um zu entscheiden, was auch nur momentan verzichtbar wäre.

Die größten Biodiversitätsverluste finden derzeit dort statt, wo die Diversität am höchsten ist, nämlich in den Tropen – und zwar sowohl im terrestrischen, wie im marinen Bereich. Hier führen starke Eingriffe zu hohen Diversitätsverlusten, und diese führen dann offensichtlich zu grundsätzlichen Änderungen in der Systemdynamik und dies bedeutet wohl immer die Schwächung verschiedener Stabilitätseigenschaften. Welche sich selbst verstärkenden Prozesse hiermit angestoßen werden, können wir vorerst noch nicht definitiv sagen – alles spricht aber dafür, dass wir hier den Bogen homöostatischer Regelfähigkeit in weiten Teilen schon überspannt haben. Leider fehlen uns aber überall die handfesten wissenschaftlichen Ergebnisse und die Versäumnisse der Vergangenheit lassen sich hier auch mit ganz großem Aufwand nicht schnell kompensieren, da viele Prozesse langsam, indirekt, über viele Zwischenstufen ablaufen, und sich

daher Eingriffsfolgen oft erst nach Jahrzehnten, wenn nicht noch nach deutlich längeren Zeitspannen klar erkennen lassen.

Auf die heute bei jeder entsprechenden Diskussion mit Laien und Fachleuten aus anderen Disziplinen immer und immer wieder gestellte Frage: Wieviel Diversität brauchen wir denn, wieviele Arten sind denn nötig, um die Ökosysteme lebensfähig zu halten? – können wir keine wissenschaftlich abgesicherten Antworten geben – und werden diese auch nicht bald geben können, da unser Unwissen zu groß ist. Für jedes System wäre die Frage auch sicher verschieden zu beantworten, denn alle Ökosysteme sind durch ihre unwiederholbare, einzigartige geschichtliche Entwicklung voneinander verschieden. Eine allgemeine – nicht gänzlich triviale – Antwort, die für einen hiesigen Buchenwald und gleichzeitig für einen neotropischen Regenwald gilt, wird es nie geben – und zwar auf keiner Ebene der Betrachtung.

Was wir aber auf jeden Fall schon sagen können, ist, dass es letztlich auch gar nicht sinnvoll ist, die Frage so zu formulieren, denn nur in einer verschwindend geringen Anzahl von Fällen stellt sich uns wirklich das Problem und haben wir gleichzeitig die Möglichkeit der Entscheidung, eine Art aussterben zu lassen oder sie zu bewahren. Eine solche Entscheidung setzt voraus, dass es sich um bekannte Arten handelt, deren Ökologie wir einigermaßen kennen. Dies ist aber nur eine verschwindend kleine Minderheit von solchen Organismen, die entweder für uns in irgendeiner Weise nützlich sind, die hohen Symbolwert haben und/oder denen wir einen wesentlichen Eigenwert zubilligen oder von denen wir wissen, dass es sich um Schlüsselarten handelt. Von weit über 90% der Arten wissen wir, wie jetzt schon mehrfach betont, aber gar nichts – wir wissen nicht mal etwas von ihrer Existenz. Die meisten dieser Arten sind keine kuscheligen warmblütigen Wirbeltiere oder ästhetisch bezaubernde Schmetterlinge oder Blütenpflanzen, sondern Insekten und Milben, Nematoden, Pilze, Algen, Mikroben aller Art etc., zu denen die meisten Menschen kein oder zumindest kein positives Verhältnis haben, die aber in vielen Fällen die entscheidenden ökosystemaren Leistungen erbringen. Demgegenüber fallen die ökologischen Leistungen der Organismen, um deren Fortbestehen wir uns die größten Sorgen machen, oft nicht ins Gewicht. Diese unendlich vielen Unbekannten, in ihrer Bedeutung Un- bzw. Verkannten werden nie durch gezielte Entscheidungen ausgerottet, sondern sie werden durch Zerstörungen ihrer Habitate eliminiert – und Wichtigste und weniger Wichtige gehen dabei unbesehen gleichermaßen zugrunde.

## 12. Wie kann ein Höchstmaß an Diversität bewahrt werden?

Der nachhaltige Schutz von Habitaten gegen zerstörerische Nutzung bietet wohl den einzigen wirklich sinnvollen Ansatz einer effektiven, längerfristigen

Bewahrung eines bedeutenden Teils der Biodiversität und mit ihm die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der Ökosysteme und damit wieder der Biosphäre. Wir brauchen dazu möglichst große bzw. genügend kleinere, durch wirklich funktionierende Korridore miteinander verknüpfte Flächen. Die Schätzungen für deren notwendige Größe, die von verschiedenen Seiten gegeben werden, bewegen sich alle etwa bei Mindestflächen von 10-20% eines jeden weiträumigeren Ökosystemtyps, die in einem möglichst natürlichen Zustand gehalten werden sollten (bei kleinen speziellen Lebensräumen liegen die Prozentsätze notwendigerweise höher – und können dort durchaus 100% erreichen).

Zu betonen ist dabei zweierlei:

1) die 10-20% sind reine Schätzungen „aus dem Bauch heraus“. Sie orientieren sich vielleicht viel zu stark an den schon von der Menschheit geschaffenen Realitäten und könnten sich als zu niedrig erweisen, um die Biosphäre langfristig zu stabilisieren. Weltweit sind derzeit auf dem Papier etwa 5% der Landfläche geschützt, tatsächlich auch effektiv geschützt sind nicht mehr als 3%. Damit erscheinen dann Zielvorgaben von 10-20% schon als vermessen. In vielen Fällen sind die schon eingerichteten Schutzgebiete zu klein – und die verbliebenen Restflächen sind ebenfalls zu klein und zu fragmentiert, um noch die Dimensionen zu erreichen, unter denen sich die entsprechenden Ökosysteme selbst stabilisieren und evolutiv weiterentwickeln können. Wer glaubt, dass wir das durch gutes Management der Schutzgebiete ausgleichen könnten, befindet sich auf dem Holzweg – zum guten Management fehlen uns vorerst noch fast alle Voraussetzungen; wir können bisher kaum mehr, als die Wiederholung anderswo schon gemachter Fehler vermeiden, allzuoft um dann beim nächsten Versuch nur neue zu machen.

2) Wenn es gelänge 10-20% der Landfläche mit den repräsentativen Ökosystemen vor Raubbau und Konversion zu bewahren, könnten diese Areale nur dann ihre Leistungen erbringen, wenn sie gegenüber intensiv genutzten Flächen abgepuffert sind – bzw. die Nutzungen der Flächen um die Schutzgebiete ausreichend weiträumig so gestaltet sind, dass auch diese Areale zumindest noch in abgeschwächter Form die Leistungen der naturnah gebliebenen Habitate unterstützen.

„There are times when the most difficult decision of all is to acknowledge the obvious. It is obvious that the world's national economies are based on the goods and services derived from ecosystems; it is also obvious that human life itself depends on the continuing capacity of ecosystems to provide their multitude of benefits. Yet for too long in both rich and poor nations, development priorities have focused on how much humanity can take from our ecosystems, with little attention to the impact of our actions” (WORLD RESOURCES INSTITUTE 2000).

Wenn wir weitermachen, wie bisher, dann müssen wir unbedingt mit baldigen massiven Einbußen der Ökosystemleistungen rechnen, die ja in vielen Fällen schon eingetreten sind. Millionen von km<sup>2</sup> sind ja schon von Menschen in des Wortes wahrster Bedeutung verwüstet, und damit ihrer Produktivität und ihrer ökosystemaren, die Biosphäre stabilisierenden und unser Wirtschaften fördernder Leistungsfähigkeit beraubt worden. Wenn wir unsere Abhängigkeit nicht erkennen und rasch wirklich große Anstrengungen unternehmen, unsere Lebensgrundlagen zu erhalten, von denen eine funktionierende Biosphäre einer der essentiellsten Teile ist, dann sind die Perspektiven schon der nächsten beiden Generationen sehr düster. Wir sollten endlich aus unseren Fehlern lernen. Und die dafür notwendige Umorientierung erfordert auch ein Umdenken, wie wir mit den wichtigsten Bausteinen der Ökosysteme, den Organismenarten umgehen. Hier kann ich mich voll dem anschließen, was der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung: Globale Umweltänderungen in seinem Jahresgutachten 1999 (WBGU 2000) schreibt:

„Die vom Beirat vertretene Position eines gemäßigten Anthropozentrismus spricht jedoch dafür, dass eine grundsätzliche Erhaltung jeder Art geboten ist, es sei denn, dass mit dieser Haltung erhebliche gesellschaftliche Nachteile verbunden sind. Dies ist eine Grundentscheidung des Beirats, die höchstens bei extrem hohen Erhaltungskosten aufgegeben werden darf.“

### **Zusammenfassung**

Das Leben in seiner heutigen Form hängt von kostenlosen Leistungen und frei zur Verfügung gestellten Gütern der Biosphäre ab. Keine Technik wird diese Leistungen und Güter je längerfristig und großräumig ersetzen können. Diese Leistungen entstehen aus der Interaktion von Myriaden von Organismenarten. Voraussetzungen für die aus den Interaktionen resultierenden Regelprozesse, die trotz dauernder Störungen für eine erstaunlich robuste Homöostase der Biosphäre sorgen, ist ein hohes Maß an struktureller und funktionaler Differenzierung der Organismen. Ohne sehr viel Diversität kann sich ein solches System nicht evolvieren, denn die Selektion begünstigt stets Spezialisierung. Trotz unserer absoluten Abhängigkeit von dieser biologischen Vielfalt kennen wir bis heute nicht einmal die Größenordnung ihrer Dimensionen, z. B. auf der Ebene der Arten, und von einem Durchschauen der Funktionsprinzipien sind wir noch sehr weit entfernt. Trotz all dieses Unwissens werden auf den politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsebenen tagtäglich Weichenstellungen vorgenommen, die weitere Reduktionen der Biodiversität bedingen. Im vorliegenden Beitrag liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf der Diversität der Organismen auf der Artebene und zwar im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Funktion von Ökosystemen. Die Frage, wieweit die Redundanz von Mit-

gliedern gleicher Gilden geht, wird im Detail behandelt, und die sich daraus ergebenden Folgerungen diskutiert. Weiterhin wird der derzeitige Stand der wiederaufgeflamten Diskussion um die Frage, wieweit hohe Diversität gute Stabilitätseigenschaften bedingt, dargestellt. Dann wird vor allem der Frage nachgegangen, wieso es in der Geschichte des Lebens den steten Trend zu höherer Diversität gibt: Was wird in Ökosystemen gewonnen, wenn die Vielfalt der Arten zunimmt, die Varianz ihrer Abundanzen abnimmt, stärkere Dominanzen einzelner Arten kaum mehr vorkommen, und damit dann schwache Wechselwirkungen zwischen den interagierenden Organismen das System prägen? Die immer wieder gestellte Frage, wieviel Diversität wir brauchen, wird diskutiert und für das praktische Handeln als meist sinnlos identifiziert. Abschließend wird gefragt, wie heute noch ein Höchstmaß der Diversität bewahrt werden könnte.

### **Summary**

Life in its present form depends on free services and gratuitous provision of goods by the biosphere. No amount of human labour or sophisticated machinery will ever be able to replace these services and goods in the long-term or over extended areas. These services are created by the interaction of a myriad number of organisms. Precondition for the resulting regulatory processes arising from these interactions, which despite continuing disturbance provide for a surprisingly robust homeostasis of the biosphere, is a high measure of structural and functional differentiation of organisms. Without very high levels of diversity such a system cannot evolve, because selection always favours specialisation. Despite our absolute dependence on this biological diversity we are still ignorant about the size of its dimensions, for example on the species level and in our ability to understand the functional underlying principles. However, our limited knowledge does not prevent political and economic decisions being made daily that cause further reductions in biodiversity. In the present contribution emphasis is placed on viewing the diversity of organisms at the level of species specifically with regard to their importance for ecosystem function. The question of how much redundancy exists between members of the same guild is dealt with in detail and the resulting inferences are discussed. In addition, the current status of the renewed debate over the question of to what extent high diversity causes good stability attributes is depicted. Furthermore, I pursue the question of why throughout the history of life a steady trend towards higher diversity exists: What is gained by ecosystems when the diversity of species increases, when variance in abundances decrease, when stronger dominances of individual species hardly occur causing weak relationships between the interacting organisms to define the system? The always recurring question of how much diversity do

we need is discussed and identified as being largely irrelevant for practical purposes. In closing it is asked how the highest degree of diversity can currently be maintained.

## Literatur

- AGRAWAL, A. & S.L. STEPHENSON (1995):  
Recent successional changes in a former chestnut-dominated forest in Southwestern Virginia.- *Castanea* 60: 107-113.
- BARBIER, E.; J.C. BURGESS & C. FOLKE (1994):  
Paradise lost? The ecological economics of biodiversity.- Earthscan Publications, London.
- BASSET, Y. (1992):  
Host specificity of arboreal and free-living insect herbivores in rain forests.- *Biol. J. Linn. Soc.* 47: 115-133.
- BERNER, R.A.; A.C. LASAGA & R.M. GARRELS (1983):  
The carbonate-silicate geochemical cycle and its effects on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years.- *Amer. J. Science*. 283: 641-683.
- BROCK, T.; M. MADIGAN, J. MASTINKO & J. PARKER (1996):  
Biology of Microorganisms. (8. Auflage).- Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- CHAPIN III, F.; E.S. ZAVALA, V.T. EVINER, R. NAYLOR, P. VITOUSEK, H. REYNOLDS, D. HOOPER, S. LAVOREL, O. SALA, S.E. HOBBIIE, M.C. MACK & S. DIAZ (2000):  
Consequences of changing biodiversity.- *Nature* 405: 234-242.
- CONDIT, R. et al. (2000):  
Spatial patterns in the distribution of tropical tree species.- *Science* 288: 1414-1418.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (Hrsg.). (1990):  
Protecting the tropical forests: a high priority international task.- Bonner Universitätsdruckerei, Bonn.
- DE WIT (Hrsg.) (1997):  
Living in Diversity.- RMNO/NRLO, Den Haag.
- DRAKE, J.A.; H.A. MOONEY, F. DI CASTRI, R.H. GROVES, F.J. KRUGER, M. REJMANEK, & M. WILLIAMSON (Hrsg.) (1989):  
Biological invasions: A global perspective.- John Wiley and Sons, Chichester.
- EHRlich, P.R. & H.A. EHRlich (1981):  
The causes and consequences of the disappearance of species.- Random House, New York.
- EHRlich, P.R., & E.O. WILSON (1991):  
Biodiversity Studies: Science and Policy.- *Science* 253: 758-762.
- ELTON, C.S. (1958):  
The ecology of invasions by animals and plants.- Chapman & Hall, London.
- FIEDLER, K. (1995):  
Lycaenid butterflies and plants: hostplant relationships, tropical versus temperate.- *Ecotropica* 1: 51-58.
- (1998):  
Diet breadth and host plant diversity of tropical- vs. temperate-zone herbivores: South-East Asia and West Palearctic butterflies as a case study.- *Ecological Entomology* 23: 285-297.
- FITTKAU, E.J. & H. KLINGE (1973):  
On biomass and trophic structure of the central Amazonian rain forest ecosystem.- *Biotropica* 5: 2-14.
- FLOREN, A. & K.E. LINSENMAIR (1998):  
Diversity and recolonisation of arboreal Fomicidae and Coleoptera in a lowland rain forest in Sabah, Malaysia.- *Selbyana* 19: 155-161.
- (2000):  
Do ant mosaics exist in pristine lowland rain forest? - *Oecologia* 123: 129-137.
- (2001a):  
Anthropogenic disturbance changes the structure of arboreal tropical ant communities.- *Ecography*, im Druck.
- (2001b):  
The influence of anthropogenic disturbances on the structure of arboreal arthropod communities.- *Plant Ecol.*, Special Volume, im Druck.
- GHILAROV, A. (1996):  
What does 'biodiversity' mean: Scientific problem or convenient myth? - *TREE* 11 (7): 304-306.
- GILBERT, G.; S. HUBBELL, & R. FOSTER (1994):  
Density and distance-to-adult effects of a canker disease of trees in a moist tropical forest.- *Oecologia* 98: 100-108.
- GIVNISH, T. (1999):  
On the causes of gradients in tropical tree diversity.- *J. Ecol.* 87: 193-210.
- GORSHKOV, V. & A. MAKARIEVA (2000):  
Environmental safety, climate stability and the non-perturbed biota.- *IGBP Newsletter* 43: 24-25.
- GÖTZKE, A. & K.E. LINSENMAIR (1996):  
Does  $\beta$ -diversity allow reliable discrimination between deterministically and stochastically assembled communities? - *Ecotropica* 2: 79-82.
- GROOMBRIDGE, B. (Hrsg.). (1992):  
Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources.- Chapman & Hall, London, etc..
- GROOMBRIDGE, G. & M. JENKINS (Eds.). (2000):  
Global biodiversity. Earth's living resources in the 21st century.- World Conservation Press.
- HAMILTON, W. & T. LENTON (1998):  
Spora and Gaia: How microbes fly with their clouds. - *Ecology Ecology and Evolution* 10: 1-16.
- HEYWOOD, V. & R. WATSON (Hrsg.). (1995):  
Global biodiversity assessment.- Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- HÖLLDOBLER, B. & E.O. WILSON (1990):  
The ants.- Belknap Press, Harvard, Mass.
- HSU, K. (1982):  
Mass mortality and its environmental and evolutionary consequences.- *Science* 216: 249-250.
- HUISMAN, J. & F. WEISSING (1999):  
Biodiversity of plankton by species oscillations and chaos.- *Nature* 402: 407-410.
- HUSTON, A. (1994):  
Biological Diversity. The coexistence of species in changing landscapes.- Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- JABLONSKI, D. (1986):  
Causes and consequences of mass extinction: A comparative approach.- in: Elliott, D. (Hrsg.): Dynamics of extinction. Wiley Interscience, New York: 183-230.
- JANZEN, D.H. (1997):  
Wildland biodiversity management in the tropics.- in: Reaka-Kudla, M.L. et al. (Hrsg.): Biodiversity II. J. Henry Press, Washington DC.

- JOHNSON, K.; K. A. VOGT, H.J. CLARK, O. SCHMITZ, & D. VOGT (1996):  
Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems.- *TREE* 11 (9): 372-377.
- KASPAREK, M. (2000):  
Naturschutz in Entwicklungsländern. Neue Ansätze für den Erhalt der biologischen Vielfalt.-Heidelberg.
- KÖNIG, B. & K.E. LINSENMAIR (Hrsg.). (1996):  
Biologische Vielfalt. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.
- KOVAC, D. (1999):  
Aus dem Naturmuseum. Exponat des Monats. November: Rätselhafte „Trilobitenlarven“.- *Natur und Museum* 129(11): 387-388.
- LAWTON, J. & V. BROWN. (1994):  
Redundancy in ecosystems.- in Schulze, E. & H. Mooney (Hrsg.): *Biodiversity and ecosystem function* Vol. 99. Springer Verlag, Berlin: 255-270.
- LINSENMAIR, K.E. (1990):  
Tropische Biodiversität: Befunde und offene Probleme.- *Verh. Deutsch. Zool. Ges.* 83: 245-261.
- (1995):  
Biologische Vielfalt und ökologische Stabilität.- in Markl, H. (Hrsg.): *Wissenschaft in der globalen Herausforderung*. Hirzel, Stuttgart: 267-295.
- (1998):  
Biodiversity Research: General aspects and state of the art in Germany.- in: EHLERS, E. & T. KRAFFT (Hrsg.), *German Global Change Research*. German National Committee on Global Change Research, Bonn: 12-35.
- (2000):  
Funktionale Aspekte der Biodiversität.- *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.* Hannover 12: 85-100.
- LOVEJOY, T. (1994):  
The quantification of biodiversity: An esoteric quest or a vital component of sustainable development.- *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 345: 81-87.
- LOVELOCK, J. (1991):  
Das Gaia-Prinzip.- Inselverlag, Zürich, München.
- (1994):  
Geophysical aspects of biodiversity.-in Solbrig, O. et al. (Hrsg.): *Biodiversity and global change*. CAB International with IUBS, Paris: 57-70.
- MAKI, L.R. & K.J. WILLOUGHBY (1978)  
Bacteria as biogenic sources of freezing nuclei.- *J. Appl. Meteor.* 17: 1049-1053.
- MAY, R.M. (1972):  
Will a large complex system be stable?- *Nature* 238: 413-414.
- (1974):  
Stability and complexity in model ecosystems.- Princeton Univ Press, Princeton.
- (1992):  
How many species inhabit the earth?- *Scientific American* 267: 18-24.
- MACARTHUR, R.H. (1955):  
Fluctuations of animal populations and a measure of community stability.- *Ecology* 36: 533-536.
- MCNAUGHTON, S.J. (1993):  
Biodiversity and function of grazing ecosystems.- in: E.D. SCHULZE & H.A. MOONEY (Hrsg): *Biodiversity and Ecosystem Function* (Ecological Studies 99): Springer, Berlin etc. 361-383.
- MILLER, D. & A. ROSSMAN (1995):  
Systematics, biodiversity, and agriculture.- *BioScience* 45 (10): 680-686.
- MYERS, N. (1984):  
The primary source. Tropical forests and our future. - W.W.Norton, New York London.
- (1997):  
The rich diversity of biodiversity issues.- in: Reaka-Kudla, M.L. et al. (Hrsg.): *Biodiversity II*.- J. Henry Press, Washington DC.
- NISBET, E. (1994):  
Globale Umweltveränderungen: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten.- Spektrum, Heidelberg, Berlin.
- NORTON, B. (1987):  
Why preserve natural variety?- Princeton Univ Press, Princeton, New Jersey.
- ORIAN, G.H., & J.H. DIRZO (1996):  
Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests. *Ecological Studies* 122.- Springer-Verlag, Berlin etc.
- PIMM, S.L. (1991):  
The balance of nature.- Univ. Chicago Press, Chicago.
- RAUP, D. (1986):  
Biological extinction in earth history.- *Science* 231: 1528-1533.
- RAVEN, P. (Hrsg.) (1980):  
Research priorities in tropical biology. National Academic Press, Washington, DC.
- ROSENZWEIG, M.L. (1995):  
Species diversity in space and time.- Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- SANDS, D.C.; V.E. LANGHANS, A.L. SCHAREN & G. DESMET (1982):  
The association between bacteria and rain and possible resultant meteorological implications.- *J. Hungarian Meteor. Service* 86: 148-152.
- SMITH, T.; R. WAYNE, D. GIRMAN, & M. BRUFORD (1997):  
A role for ecotones in generating rainforest biodiversity.- *Science* 276 (5320): 1855-1857.
- SMOCK, L.A. & C.M. MACGREGOR (1988):  
Impact of the American chestnut blight on aquatic shredding macroinvertebrates.- *J. North Am. Benthol. Soc.* 7: 212-221.
- SCHNELL, R.C. & G. VALI (1976):  
Biogenic ice nuclei: Part I. Terrestrial and marine sources.- *J. Atmos. Sciences* 33: 1554-1564.
- SOLBRIG, O.T.; H.M. VAN EMDEN & P.G.W.J. VAN OORDT (Hrsg.). (1994):  
Biodiversity and global change.- CAB International, Wallingford.
- SOULÉ, M. (Ed.). (1986):  
Conservation biology: The science of scarcity and diversity. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- TILMAN, D.; C.L. LEHMAN & C.E. BRISTOW (1998):  
Diversity – stability relationships: statistical inevitability or ecological consequence?- *Am. Nat.* 151: 277-282.
- TILMAN, D. (1999):  
The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles.- *Ecology* 80: 1455-1474.
- (2000):  
Causes, consequences and ethics of biodiversity.- *Nature* 405: 208-211.

- TRAVIS, J. & D.J. FUTUYMA (1993):  
Global change: lessons from and for evolutionary biology.-  
in: KAREIVA, P.M, J.G. KINGSOLVER & R.B. HUEY  
(Hrsg.): Biotic interactions and global change.- Sinauer,  
Sunderland, Massachusetts, 251-263.
- VALI, G.; M. CHRISTENSEN, R.W. FRESH, E.L. GALYAN,  
L.R. MAKI, & R.C. SCHNELL (1976):  
Biogenic ice nuclei. Part II: Bacterial sources.- J. Atmos.  
Sciences 33: 1565-1570.
- WALKER, B. (1992):  
Biodiversity and ecological redundancy.- Conserv. Biol. 6:  
18-23.
- WBGU-WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG (2000):  
Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der  
Biosphäre. Jahresgutachten 1999.- Springer, Berlin.
- WEBB, C. & D. PEART (1999):  
Seedling density dependence promotes coexistence of Bornean  
rain forest trees.- Ecology 80: 2006-2017.
- WHITMORE, T.C. & G.T. PRANCE (Hrsg.) (1987):  
Biogeography and Quarternary history in tropical America.  
Clarendon Press, Oxford.
- WILSON, E.O. (Hrsg.) (1992):  
Ende der biologischen Vielfalt? Der Verlust an Arten, Genen  
und Lebensräumen und die Chancen für eine Umkehr.  
Spektrum, Heidelberg.
- WILSON, E.O. & F.M. PETER (Hrsg.) (1988):  
Biodiversity. National Academy Press, Washington.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE (2000):  
A guide to World Resources 2000/2001: People and Ecosystems:  
The Fraying Web of Life.- World Resources Institute.  
Washington DC, USA.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. K. Eduard Linsenmair  
Lehrstuhl für Tierökologie und Tropenbiologie  
Biozentrum  
Am Hubland  
D-97074 Würzburg

# Räumliche und zeitliche Muster der Diversität von Pflanzen

Stefan POREMBSKI

## Gliederung

1. Einleitung
  2. Räumliche Muster der pflanzlichen Diversität
    - Großräumige Verteilung der Phytodiversität
    - Auswirkungen natürlicher und anthropogener Fragmentierungsprozesse auf pflanzliche Diversitätsmuster
  3. Zeitliche Muster der pflanzlichen Diversität
- Zusammenfassung  
Danksagung  
Literatur

## 1. Einleitung

Über den gesamten Zeitraum seiner evolutiven Entwicklung war der Mensch engstens mit den verschiedenen Komponenten seiner abiotischen und vor allem seiner biotischen Umwelt verbunden. Die aktive Beschäftigung des Menschen mit der Vielfalt des Lebendigen hat daher weit zurückreichende Wurzeln. Bereits im Altertum erfolgte „moderne“ Biodiversitätsforschung, beispielhaft sei auf die Schriften des Aristoteles (4. Jh. vor Chr.) verwiesen. Ein Meilenstein für die Biosystematik war das von Carl von Linné vorgelegte Werk „Systema naturae“ (1758, 10. Auflage) in dem ca. 9.000 Pflanzen- und Tierarten aufgeführt sind. Mit der naturkundlichen Erfassung der Artenvielfalt der Tropen und den Grundlagen ihrer Evolution beschäftigten sich u.a. die großen Forschungsreisenden des 19. Jahrhunderts, wie Alexander von Humboldt, Charles Darwin und Alfred Russel Wallace.

Unter dem Schlagwort Biodiversität (1986 geprägt auf einer Tagung des National Forum on BioDiversity; nach SOLBRIG et al. 1994 von den Genen bis zu Ökosystemen eine breite Palette von Hierarchieebenen umfassend) hat das Thema Artenvielfalt im letzten Jahrzehnt verstärkt Eingang in wissenschaftliche, ökonomische und gesellschaftspolitische Diskussionen gefunden. Ein Höhepunkt dieser Entwicklung war 1992 die Verabschiedung der „Convention on Biological Diversity“ auf dem Umweltgipfel von Rio de Janeiro. Gleichwohl muss trotz des Vorliegens einer Fülle von Publikationen (s. Übersicht in HEYWOOD 1995) zum Thema Biodiversität davon ausgegangen werden, dass auf zahlreichen Feldern dieses komplexen Forschungsgebietes ein grundlegendes Verständnis zur Zeit noch nicht vorhanden ist (LINSENMAIR 1995).

Die verstärkte Berücksichtigung der Biodiversität in der Öffentlichkeit (erfreulicherweise inzwischen auch seitens der Forschungsförderer) und die Anerkennung ihrer sozio-ökonomischen und politischen Relevanz lässt sich vor allem auf drei Gründe zurückführen:

1. Basierend u.a. auf den Studien und Überlegungen von Terry ERWIN (1982) und Robert MAY (1988) kann davon ausgegangen werden, dass die bisher wissenschaftlich beschriebenen ca. 1,7 Mio. Organismenarten nur einen Bruchteil der globalen Biodiversität (nach HAWKSWORTH & KALIN-ARROYO 1995 ca. 14 Mio. Arten) darstellen. Vor dem Hintergrund stetig steigender Extinktionsraten und der abnehmenden Zahl qualifizierter Taxonomen und Systematiker ist mit einer Schließung dieser Wissenslücke in absehbarer Zeit nicht zu rechnen (WBGU 2000).
2. Zerstörerische Eingriffe des Menschen haben ein nie dagewesenes Ausmaß erreicht. Mehr als 40% der Landoberfläche sind bis heute in landwirtschaftliche und urbane Nutzflächen umgewandelt worden (VITOUSEK et al. 1997) mit dramatischen Folgen für die Biodiversität. Die Konsequenzen des Rückgangs der Biodiversität für das Funktionieren vieler Ökosysteme sind bisher nicht verstanden. Die in diesem Zusammenhang viel diskutierte Frage „wieviele Arten für das Funktionieren eines Ökosystems notwendig sind?“ berührt dabei neben wissenschaftlichen Aspekten auch moralisch-ethische Fragen (u.a. gibt es redundante Arten?). Einigkeit besteht jedoch darüber, dass im Zusammenhang mit dem Aussterben von Arten davon auszugehen ist, dass erhebliche wirtschaftliche und gesellschaftspolitische Folgen, u.a. betreffend die Sektoren Landwirtschaft, Medizin und Tourismus, auftreten werden.
3. Die unter dem Schlagwort *Bioprospektion* erfolgende Suche nach pflanzlichen und tierischen ökonomisch verwertbaren Produkten, die z. Zt. vor allem innerhalb der artenreichen tropischen Lebensräume erfolgt, hat in den letzten Jahren die Hoffnung geweckt, auf diese Weise zum Schutz einer als Rohstoffquelle verstandenen Biodiversität beizutragen. Inwieweit dieses potenzielle Nutzungspotential wirklich zum Schutz ausreichend großer Flächen naturbelassener Lebensräume beitragen kann ist gegenwärtig jedoch noch ungewiss.

Im vorliegenden Beitrag wird die grundlegende Bedeutung dynamischer Prozesse im Hinblick auf räumliche und zeitliche Diversitätsmuster in pflanzlichen Lebensgemeinschaften diskutiert. In Abhängigkeit von den jeweiligen abiotischen Umweltbedingungen und biotischen Interaktionen sind die meisten Ökosysteme durch einen  $\pm$  stark ausgeprägten räumlichen und zeitlichen Arten turnover ausgezeichnet, der einen Ausdruck der natürlichen Systemdynamik darstellt. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht hierbei die Bedeutung anthropogener, meist störender Einflüsse für den langfristigen Erhalt artenreicher Ökosysteme. Zu den wichtigsten Konsequenzen des menschlichen Handelns zählen die Fragmentierung ursprünglich zusammenhängender Lebensräume und die Umwandlung natürlicher in anthropogen beeinflusste Lebensgemeinschaften. Die Behandlung dieses Themenkomplexes berührt zentrale Fragen des Naturschutzes, u.a. im Hinblick auf Größe, Form und Lage von Naturschutzgebieten, die Überlebensfähigkeit isolierter Populationen, die Eignung ausgewählter Arten als Indikatoren für den Zustand von Ökosystemen sowie das Einwandern nicht-indigener Organismen. Unweigerlich führt die Diskussion über die Korrelationen zwischen räumlichen und zeitlichen Mustern der Phytodiversität zur Aufdeckung von erheblichen Defiziten hinsichtlich unserer Detailkenntnis der ursächlichen Zusammenhänge. Gleichwohl lassen sich grundlegende Tendenzen aufzeigen, die in praktische Umweltschutzmaßnahmen einfließen sollten.

Auf allen Ebenen der Biodiversität (z.B. Arten, Lebensgemeinschaften) ist eine ungleiche räumliche Verteilung auf der Erde zu beobachten. Für einige Organismengruppen (z.B. Angiospermen) erlaubt die vorliegende Datenlage bereits die Erstellung globaler Diversitätskarten (z.B. BARTHLOTT et al. 1996, BARTHLOTT et al. 1999). Die vergleichende Analyse verschiedener Organismengruppen führte zur Beschreibung immer wiederkehrender biogeographischer Muster, die auf gemeinsame Ursachen zurückgeführt werden können. Prinzipiell gilt, dass die meisten terrestrischen und die im Süßwasser lebenden Arten ihre größte Artenvielfalt in den äquatornahen Regionen erreichen. Über die Gründe für diesen latitudinalen Diversitätsgradienten wird bereits seit längerem intensiv diskutiert. Nach GASTON (2000) wurden mehr als 25 verschiedene Mechanismen vorgeschlagen, die die um ein Vielfaches höhere Biodiversität tropischer Lebensräume (insbesondere der Regenwälder) erklären sollen.

Die weltweit zu beobachtende Tendenz der Fragmentierung ursprünglich zusammenhängender Lebensräume ist in ihren Folgen für den langfristigen Erhalt artenreicher Ökosysteme noch nicht verstanden, obwohl die Ableitung generell gültiger Prinzipien (in Ansätzen etwa die Theorie der Inselbiogeographie von MacARTHUR & WILSON 1967 sowie die Metapopulationskonzepte s. HANSKI & GILPIN 1997) von erheblicher Relevanz für den Artenschutz in an-

thropogen beeinflussten Ökosystemen wäre. Aufgrund unserer Unkenntnis über wichtige Prinzipien der Steuerung des Artenreichtums in pflanzlichen Lebensgemeinschaften kann über die langfristige Überlebensfähigkeit isolierter Populationen gegenwärtig nur spekuliert werden. Anhand der bisher vorliegenden Daten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich für zahlreiche Pflanzenarten mit zunehmender Isolation einzelner Populationen ein höherer Gefährdungsgrad (u.a. bedingt durch Inzuchteffekte) ergibt. Inwieweit ein Habitatverbund den Isolationsgrad einzelner Pflanzenpopulationen verringern kann und daher ihre Überlebensfähigkeit erhöht ist momentan unklar. Auf diesem Feld besteht somit ebenfalls dringender Forschungsbedarf.

## 2. Räumliche Muster der pflanzlichen Diversität

Biodiversität tritt in Form unterschiedlich gestalteter räumlicher Muster auf, für deren Zustandekommen eine Reihe von Faktoren verantwortlich gemacht wird. Zu den in diesem Zusammenhang am häufigsten diskutierten Einflussgrößen zählen u.a. Produktivität, Flächengröße, historische Entwicklung und Störungen.

Global betrachtet, ist die Primärproduktion der terrestrischen Vegetation positiv mit der Phytodiversität korreliert. Beispielsweise sind produktive Waldökosysteme wesentlich artenreicher als wenig produktive Wüsten. Der Faktor Produktivität dürfte im globalen Maßstab vor allem durch klimatische Parameter beeinflusst werden. So konnten CURRIE (1991) und ADAMS & WOODWARD (1989) zeigen, dass zwischen der Höhe der potentiellen Evapotranspiration, die in den äquatornahen Regionen am höchsten ist und der pflanzlichen Produktivität sowie der Artenzahl verschiedener Organismengruppen ein signifikanter Zusammenhang besteht. Insbesondere in aquatischen Ökosystemen konnte jedoch vielfach ein negativer Zusammenhang zwischen Produktivität und Diversität beobachtet werden. Hierbei ist es eine bekannte Tatsache, dass es bei der Eutrophierung eines Gewässers zu einer Erhöhung der Produktivität kommt, die mit einer Verminderung der Phytoplanktondiversität verbunden ist. Auch in zahlreichen terrestrischen Pflanzengemeinschaften kommt es in ähnlicher Weise zu einem Rückgang der Artenzahl nach Düngereinfuhr (AERTS & BERENDSE 1988).

Bereits seit langem ist der scheinbar triviale Zusammenhang bekannt, dass mit Zunahme der Flächengröße die Artenzahl zunimmt (s. z.B. WILLIAMS 1943). Anhand von Arten-/Areal-Kurven lässt sich der Frage nachgehen, in welcher Weise die Artenzahl mit der Fläche ansteigt. Mittels der Formel  $S = cA^z$  ( $S$  = Artenzahl,  $c$  = eine Konstante,  $A$  = Flächengröße) kann der Anstieg der Artenzahl mit zunehmender Fläche berechnet werden, wobei der exponentielle Parameter  $z$  die regionenspezifische Zunahme der

Artenzahl in einem bestimmten Gebiet ausdrückt (vgl. LOMOLINO 1989). Artenreiche Regionen zeichnen sich hierbei durch einen besonders hohen  $z$ -Wert aus. Zu den gängigsten Erklärungen für die positive Korrelation zwischen Artenzahl und Flächengröße zählt die Annahme, dass die umweltbedingte Heterogenität einer Fläche mit ihrer Größenzunahme ansteigt und somit mehr Habitattypen und damit verbunden auch mehr Arten vorhanden sein sollen.

Als Ausdruck einer historischen Entwicklung beeinflusst das Alter einer Region oftmals die Diversität rezenter Ökosysteme. Hierbei zeigt sich, dass mit zunehmendem Alter eines Ökosystems vielfach eine Zunahme der Artenzahlen zu verzeichnen ist, wenn es, bedingt durch Störungen, nicht zum Konkurrenzausschluss durch einige wenige konkurrenzstarke Arten kommt. Dieser Zusammenhang gilt weltweit für ein breites Spektrum räumlicher und zeitlicher Skalen.

Von einem ursächlichen Verständnis, der von den oben genannten Faktoren beeinflussten diversitätssteuernden Mechanismen, sind wir jedoch trotz der Fülle der vorliegenden theoretischen und praktischen Befunde noch weit entfernt. Für weitergehende, detaillierte Schilderungen dieses Themenkomplexes sei u.a. auf HUSTON (1994) und ROSENZWEIG (1995) verwiesen.

Zwischen einzelnen, räumlich abgegrenzten pflanzlichen Lebensgemeinschaften bestehen große Unterschiede im Hinblick auf ihren Artenreichtum. Die Artenzahl per se gilt als gut geeigneter Indikator für die Phytodiversität einer pflanzlichen Lebensgemeinschaft. Daneben steht eine Vielzahl von Diversitätsindices bereit, mit deren Hilfe vergleichende Analysen pflanzlicher Lebensgemeinschaften möglich sind (s. Übersicht in HAEUPLER 1982, MAGURRAN 1988). Auf die Methodik zur Erfassung pflanzlicher Diversität und ihrer räumlichen Verteilung mittels der gängigen pflanzensoziologischen Methodik kann in diesem Rahmen nur am Rande eingegangen werden und es sei daher auf die einschlägige Literatur verwiesen (s. z.B. CRAWLEY 1997, GLAVAC 1996). Im folgenden soll ein Überblick über die räumliche Verteilung der Phytodiversität auf verschiedenen Maßstabsebenen gegeben werden.

### **Großräumige Verteilung der Phytodiversität**

Nach Schätzungen von HAWKSWORTH & KALINARROYO (1995) dürfte es weltweit 250.000 Gefäßpflanzenarten geben, von denen zur Zeit ca. 8% durch menschliche Aktivitäten vom Aussterben bedroht sind (STUART CHAPIN III et al. 2000). Die Tropen gelten seit langem als Zentren der pflanzlichen Artenvielfalt (HUMBOLDT 1807), während polwärts eine kontinuierliche Abnahme der Artenzahl festzustellen ist. Nach BARTHLOTT et al. (1999) sind innerhalb der Tropen insbesondere fol-

gende Regionen durch eine besonders hohe ( $> 5000$  Arten/10.000 km<sup>2</sup>) Phytodiversität charakterisiert: Chocó-Costa Rica-Zentrum, tropisches Ost-Anden-Zentrum, atlantisches Brasilien-Zentrum, Ost-Himalaya-Yunnan-Zentrum, Neu Guinea-Zentrum (Abb. 1). Gleichwohl gibt es auch in den Tropen einzelne Gebiete, deren Phytodiversität nicht wesentlich über der der meisten Regionen in den gemäßigten Zonen liegt, wie das vor allem dort der Fall ist, wo es in der Vergangenheit durch Klimaschwankungen zu großflächigen Verschiebungen von Vegetationsgürteln kam, wie z.B. in großen Teilen Westafrikas.

Durch außergewöhnlich hohe, den äquatornahen Zonen vergleichbare Artenzahlen zeichnen sich in den gemäßigten Breiten die südafrikanische Kapregion und der Südwesten Australiens aus. Im globalen Vergleich nimmt Mitteleuropa einen mittleren Platz (1000-1500 Arten/10.000km<sup>2</sup>) auf der Phytodiversitätsskala ein. In Deutschland ist ein ausgeprägter Diversitätsgradient zu beobachten, mit einer Zunahme der Pflanzenartenzahl von Nord nach Süd. Zu den pflanzenartenreichsten deutschen Regionen zählen verschiedene Gebiete südlich der Mittelgebirgsgrenze mit teilweise mehr als 1750 Taxa/Messstichblatt (HAEUPLER 1997). Von den in Deutschland insgesamt indigenen 3084 Sippen sind 0,7% endemisch, wobei hierbei apomiktische Großgruppen (u.a. *Rubus*) nicht eingerechnet sind (HAEUPLER 1999). Bei den apomiktischen Vertretern in der deutschen Flora handelt es sich vor allem um Sippen der Gattungen *Rubus*, *Sorbus* und *Hieracium*.

Bedingt durch das Wirken des Menschen hat, trotz des Aussterbens einiger Arten, die Zahl der in Deutschland vorkommenden Pflanzenarten zugenommen. Neben den in Deutschland indigenen Pflanzenarten sind in vorgeschichtlicher (Archäophyten) und geschichtlicher Zeit (Neophyten) mehrere Hundert Arten eingewandert. Vordergründig betrachtet haben die Eingriffe des Menschen nicht nur für eine reichere Strukturierung der mitteleuropäischen Landschaft gesorgt (Abb. 2), gleichzeitig hat auch die Phytodiversität – jedoch nicht die indigene – deutlich zugenommen. In diesem Zusammenhang ist es jedoch notwendig, neben der Quantität auch die Qualität der Phytodiversität zu betrachten, d.h. die Frage nach den ökologischen Eigenheiten der Archäophyten und Neophyten zu stellen. Hierbei zeigt sich, dass sich insbesondere unter den Neophyten sogenannte „invasive weeds“ (u.a. *Impatiens glandulifera*, *Solidago* spp.) befinden, die heute stellenweise in hoher Abundanz einzelne Lebensräume dominieren. Vieler dieser Arten sind heute zu Kosmopoliten geworden, die in vielen Regionen (vor allem auf ozeanischen Inseln) für eine großräumige Uniformisierung pflanzlicher Lebensgemeinschaften gesorgt haben. In besonders drastischer Weise zeigt sich dieses Problem bei ozeanischen Inseln. Am Beispiel Neuseelands wird deutlich, dass insbesondere das

# GLOBAL BIODIVERSITY: SPECIES NUMBERS OF VASCULAR PLANTS

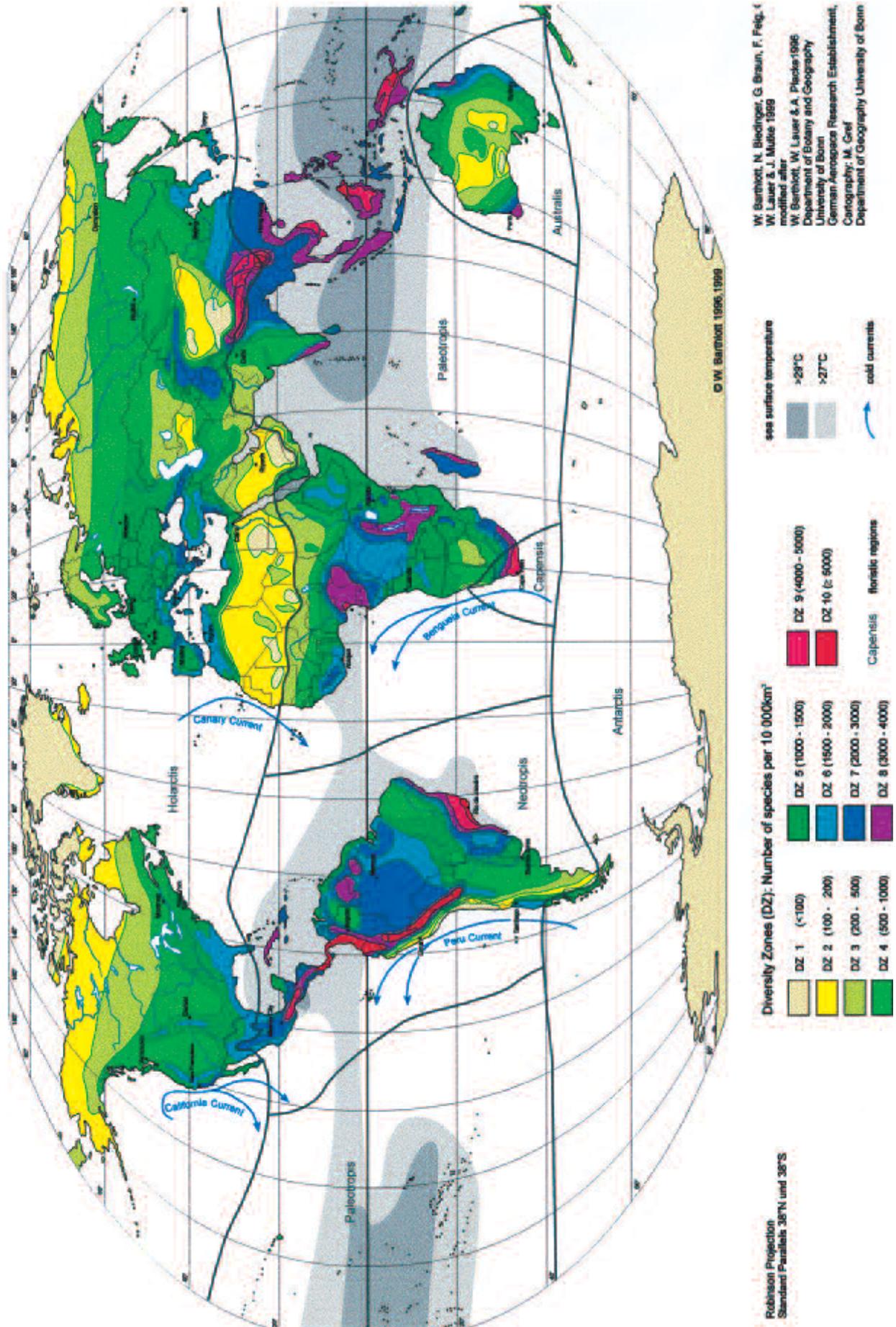


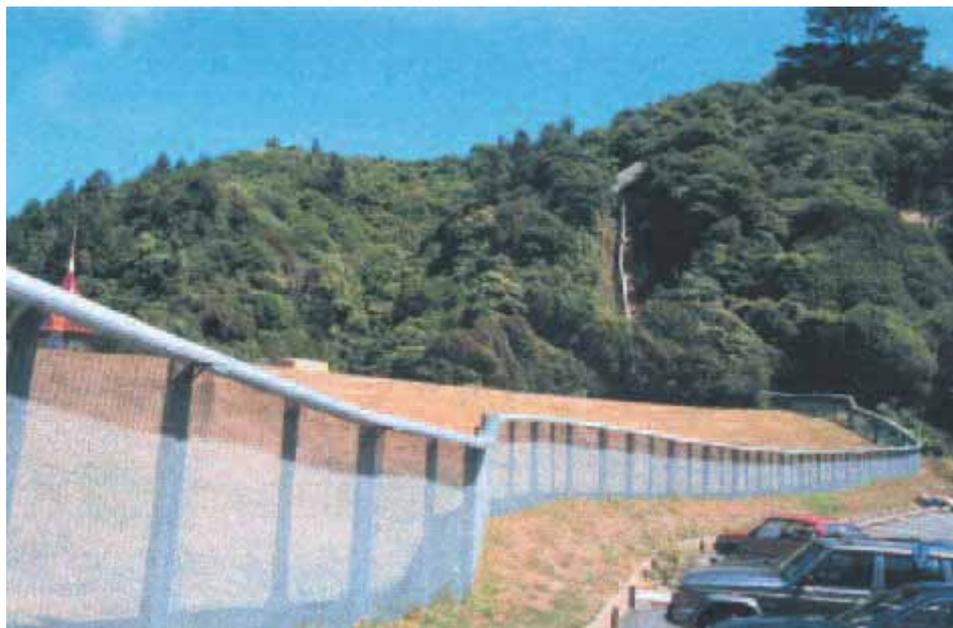
Abbildung 1

Die ungleiche Verteilung der Biodiversität im globalen Maßstab nach BARTHLOTT et al. 1999.



**Abbildung 2**

Teile der mitteleuropäischen Kulturlandschaft (hier Nahetal) zeichnen sich durch einen außerordentlich großen Strukturreichtum aus. Letzterer bedingt das Vorkommen artenreicher Lebensgemeinschaften.



**Abbildung 3**

Mit einem als Sicherung gegen Neozoen dienenden Spezialzaun eingezäuntes Naturreservat in der Nähe von Wellington (Neuseeland). Neozoen, verhindern in weiten Teilen Neuseelands die natürliche Waldregeneration.

gleichzeitige Auftreten von Neophyten und Neozoen eine erhebliche Gefährdung für indigene Lebensgemeinschaften darstellt. In einer Reihe von neuseeländischen Ökosystemen erschwert bzw. verunmöglicht letzterer Umstand die Regeneration natürlicher Lebensgemeinschaften. Nur unter Einsatz erheblicher Mühen und Kosten ist es möglich Neophyten und Neozoen zumindest aus räumlich eng umgrenzten Gebieten Neuseelands wieder zu entfernen (Abb. 3).

**Auswirkungen natürlicher und anthropogener Fragmentierungsprozesse auf pflanzliche Diversitätsmuster**

Auf lokaler und regionaler Ebene bestimmt das Vorhandensein und die räumliche Anordnung pflanzlicher Lebensgemeinschaften die sog. „landscape diversity“ (gamma diversity). Wie seit langem bekannt ist, fördert eine hohe Vielfalt strukturierender Fakto-

ren (u. a. Exposition, Böden, Höhenlagen) eine reiche Phytodiversität. Bedingt durch anthropogene Eingriffe unterliegen in der Gegenwart nahezu alle Ökosysteme in unterschiedlichem Ausmaß Fragmentierungsprozessen. Die Verinselung und Zerschneidung ursprünglich zusammenhängender Lebensräume wirkt sich auf verschiedene ökosystemare Funktionskreise (u.a. Bestäubungs- und Ausbreitungsbiologie) aus und beeinflusst darüberhinaus die genetische Struktur isolierter Populationen. In diesem Rahmen soll anhand einiger Beispiele auf die Folgen der zunehmenden Isolation pflanzlicher Populationen durch Fragmentierungsprozesse eingegangen werden. Insbesondere seltene Arten sind durch Fragmentierungsprozesse betroffen, da sie bereits natürlicherweise oftmals in nur relativ kleinen Populationen vorkommen. Basierend auf populationsbiologischen und -genetischen Untersuchungen an verschiedenen Pflanzenarten in der Porphyrkuppenlandschaft bei Halle/Saale konnte gezeigt werden, dass sich die reproduktive Fitness verschiedener Pflanzenarten (z. B. *Muscari tenuiflorum*) mit Abnahme der Populationsgröße vermindert (s. Übersicht in AMLER et al. 1999). Diese als Inzuchteffekte bezeichneten Konsequenzen dürften von erheblicher Relevanz für das Naturschutzmanagement isolierter Schutzgebiete sein, wobei Fragen des Biotopverbunds im Hinblick auf diesen Gesichtspunkt von großer praktischer Bedeutung für den langfristigen Erhalt von Populationen sind.

In den Tropen schreitet die Fragmentierung der Wälder unvermindert voran (Abb. 4), die ökosystemaren Folgen können bestenfalls erahnt werden. Im Rah-

men des in Amazonien angesiedelten „Biological Dynamics of Forest Fragments Project“ (BDFFP) wird seit 1979 versucht die ökosystemaren Konsequenzen dieses Prozesses im Rahmen eines experimentellen Ansatzes zu analysieren (für Details s. BIERREGAARD Jr. et al. 1992). Als Haupteinflussgrößen auf die Biodiversität von Waldinseln werden hierbei vor allem die Faktoren Flächengröße und Isolationsgrad der Fragmente betrachtet, die anhand von 1, 10, 100 und 1000ha umfassenden Waldinseln analysiert werden. Die bisher vorliegenden Resultate deuten daraufhin, dass zumindest in tropischen Regenwäldern mit erheblichen quantitativen und qualitativen Änderungen der Lebensgemeinschaften in Waldinseln gerechnet werden muss. Neben Veränderungen mikroklimatischer Faktoren (z.B. erhöhte Temperatur und niedrigere Luftfeuchtigkeit bis in 60m Entfernung vom Waldrand) kommt es im Hinblick auf die Lebensgemeinschaften u.a. zu folgenden Konsequenzen: Abnahme der Biomasse, Rückgang der Laubmasse im Kronenbereich, Zunahme der Laubmasse in den unteren Waldstockwerken sowie erhöhte Sterblichkeit zahlreicher Baumarten.

Bei aller Vielfalt der strukturierenden Faktoren innerhalb der Lebensgemeinschaften in Fragmenten kommt der Flächengröße (Stichwort Minimumareal) einzelner Habitatisolate eine wichtige Rolle zu. Dieses im Naturschutz bereits seit langem berücksichtigte Prinzip orientiert sich in der Praxis in erster Linie an den Erfordernissen ausgewählter Tierarten. Trotz der großen Fülle, der zu diesem Problemkreis vorliegenden Arbeiten bestehen hierzu noch zahlreiche Wissensdefizite, die durch weitere empirische



**Abbildung 4**

**Die Zerstörung der tropischen Wälder (hier im Kongo) wird in Zukunft zu einer deutlichen Steigerung der Extinktionsraten und zu einem Verlust zentraler ökosystemarer Funktionen führen.**

Studien geschlossen werden sollten. Prinzipiell gilt, dass Lebensgemeinschaften in Habitatfragmenten gegenüber solchen in nicht-fragmentierten Lebensräumen biologisch verarmt sind, wobei vor allem spezialisierte Arten in Fragmenten lokal häufiger aussterben. In diesem Zusammenhang sei betont, dass verschiedene Untersuchungen daraufhinweisen, dass die Verbindung von Fragmenten durch Korridore, die durch Habitatverlust und -degradation verursachte Biodiversitätsverarmung nicht kompensieren können (HARRISON & BRUNA 1999).

Über die Flächenansprüche von Pflanzenarten bezüglich ihres dauerhaften Überlebens gibt es keine detaillierten Angaben. Aus einer Reihe von Studien (u.a. AIZEN & FEINSINGER 1994, CAPPUCINO & MARTIN 1997) zum Thema Fragmentierung geht jedoch hervor, dass die Größe der Fragmente verschiedene Formen der Tier-Pflanze-Interaktion (Bestäubung, Diasporenausbreitung, Herbivorie) beeinflusst. Die Folgen z.B. von veränderten Bestäuber- und Ausbreiterfrequenzen treten vielfach aber erst nach längeren Zeiträumen zu Tage, d.h. erst mittels langfristig angelegter Studien können verlässliche Aussagen zu diesen Aspekten gemacht werden (BOND 1995).

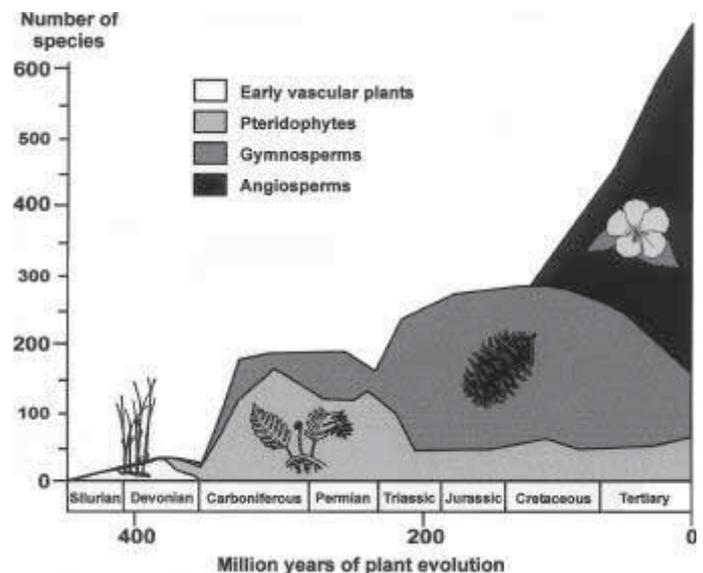
### 3. Zeitliche Muster der pflanzlichen Diversität

Aus dem Fossilbericht ist bekannt, dass ausgehend von aquatischen Grünalgen die Besiedlung des Festlandes vor ca. 460 Millionen Jahren erfolgte (GRAY 1985). Eine erste Diversifizierung der Landpflanzen („Urfarne“, *Psilophytatae*) fand im frühen Devon statt, die von einer starken Zunahme der Artenzahl und der Lebensformen-Diversität vor allem im Karbon noch erheblich übertroffen wurde. In dieser durch zunehmende ökosystemare Diversität gekennzeichneten Epoche erreichten baumförmige Bärlappe und andere Farngruppen als Waldbildner ihren größten Artenreichtum. Im frühen Mesozoikum (Trias)

begann der Aufstieg der Gymnospermen, deren Vorherrschaft mit dem Auftreten der ersten Angiospermen in der Kreidezeit beendet wurde (Abb. 5). Heute dominieren die sich gegenwärtig noch weiter diversifizierenden Angiospermen in sämtlichen Landökosystemen, während die übrigen Pflanzengruppen nur noch in Form von Reliktgruppen vertreten sind. Durch alle Epochen der Erdgeschichte hindurch hat der Artenreichtum der Pflanzen somit zugenommen. Diese über hunderte Millionen Jahre währende Artenakkumulation erlebte allerdings während der sogenannten Florenschnitte (größtenteils zeitgleich mit den Faunenschnitten) deutliche Einbrüche, die auf Katastrophen globalen Ausmaßes (offenbar Meteoriteneinschläge) zurückgehen (SEPKOSKI 1992). In diesem Zusammenhang sind auch die Kaltzeiten des Pleistozäns (Beginn vor 1,8-2 Mio. Jahren) zu erwähnen, die in Mitteleuropa zu einer starken floristischen Verarmung geführt haben. Die meist auf Schätzungen beruhenden, auf die rezente Lebewelt bezogenen Extinktionsraten weisen eindeutig daraufhin, dass bei ungeminderter Rate der Umweltzerstörung und -degradation eine Welle des Artensterbens bevorsteht (und teilweise bereits im Gange ist), die in Geschwindigkeit und Ausmaß die historischen Floren- und Faunenschnitte noch übertreffen dürfte.

Neben der oben geschilderten, sich über die gesamte Erdgeschichte erstreckenden Entwicklung der Phytodiversität spielen kurzfristige Veränderungen der pflanzlichen Artenvielfalt in zahlreichen Lebensräumen ebenfalls eine wichtige Rolle. Zu den bekanntesten zeitlichen Mustern der Phytodiversität zählt die Veränderung der Artenzahl einer Lebensgemeinschaft während einer Sukzession (s. GLAVAC 1996 für eine detaillierte Darstellung dieses Themas). Typischerweise kann davon ausgegangen werden, dass die Artenzahl im Verlauf einer Sukzession zunächst relativ schnell bis zu einem Maximum ansteigt, um danach wieder abzunehmen. Diese durch abioti-

**Abbildung 5**  
Entwicklung der Artenzahlen der wichtigsten Landpflanzengruppen im Laufe der Erdgeschichte (verändert nach NIKLAS et al. 1983).



sche und biotische Faktoren bedingten Veränderungen der Artenzahlen in Abhängigkeit vom Entwicklungszustand einzelner Ökosysteme sind seit langem Gegenstand intensiver Studien.

Die Erforschung diversitätssteuernder Mechanismen hat gezeigt, dass der Artenreichtum von Ökosystemen einem dynamischen zeitlichen Wandel unterworfen ist. Insbesondere Nicht-Gleichgewichtsmodelle (u.a. die „intermediate disturbance“-Hypothese sowie Mosaikzyklus-Konzepte) beschäftigen sich mit dem Zusammenhang zwischen Konkurrenz und Störungen im Hinblick auf die Aufrechterhaltung artreicher Lebensgemeinschaften. Von großer Bedeutung sind hierbei lokale Immigrations- und Extinktionsereignisse, die für einen kontinuierlichen Turnover (Artenumsatz) sorgen. Insbesondere in durch Landschaftszersiedelung entstandenen Fragmenten herrscht eine ausgeprägte Extinktions- und Kolonisationsdynamik, in deren Folge es immer wieder zum lokalen Aussterben einzelner Arten kommt. Eine Reihe von populationsökologischen Modellen beschäftigt sich mit der raum-/zeitlichen Dynamik von in Habitatisolaten vorkommenden Populationen. Hierbei kommt dem Metapopulationskonzept eine besondere Bedeutung zu. Nach LEVINS (1970) bezeichnet der Begriff Metapopulation „eine Population von Populationen, die lokal aussterben und wieder einwandern“. Pflanzenarten, die in Habitatfragmenten vorkommen, liegen in Form einer Metapopulation vor, wobei zwischen einzelnen Populationen ein unterschiedlich starker genetischer Austausch besteht. Das dauerhafte Überleben letzterer hängt von der Zahl der zur Verfügung stehenden geeigneten Standorte ab, von denen in der Regel stets nur ein Teil besetzt ist, d.h. in denen Populationen vorhanden sind. Bei Unterschreitung einer artspezifischen Mindestzahl der besetzten Habitate übersteigt die Extinktionsrate die Kolonisationsrate und es kommt zum Aussterben einer Art. Wichtig für den Erhalt einer Metapopulation sind Immigrationen aus benachbarten Lokalpopulationen („rescue effect“, BROWN & KODRIC-BROWN 1977). In der Praxis bedarf die Abschätzung des Gefährdungspotentials einer Art einer komplexen Analyse, die auf Basis verschiedener populationsbiologischer Faktoren durchgeführt wird (s. HENLE et al. 1999).

Die Analyse der grundlegenden Zusammenhänge zwischen der zeitlichen Dynamik und dem Artenreichtum von Ökosystemen einerseits und der Stabilität von Lebensgemeinschaften andererseits beschäftigt sich u.a. mit der Frage inwieweit Lebensgemeinschaften gegen zeitlich begrenzt auftretende Störungen oder Veränderungen wichtiger Umweltparameter abgepuffert sind. Der Großteil der bisher zu diesem Thema erfolgten Studien verweist auf eine positive Korrelation zwischen Diversität und Ökosystemfunktion (im Sinne der Aufrechterhaltung zentraler ökosystemarer Prozesse), wobei allerdings zwischen 20 und 50% der Arten ausreichen, um die

meisten biogeochemischen Prozesse stabil zu halten. Die übrigen Arten (oft als redundant bezeichnet) spielten in den experimentellen Untersuchungen für die Aufrechterhaltung biogeochemischer Prozesse keine Rolle. Es wäre allerdings völlig verfehlt diese Arten als überflüssig zu bezeichnen, da über ihre ökosystemare Bedeutung meist keine detaillierten Kenntnisse vorliegen und andererseits mögliche Potentiale dieser Arten in Zeiten einer sich verändernden Welt (Stichwort Global Change) kaum vorhersehbar sind (PURVIS & HECTOR 2000).

### Zusammenfassung

Im Laufe der Erdgeschichte hat die Zahl der Gefäßpflanzenarten über Millionen von Jahren hinweg kontinuierlich zugenommen. Weltweit existieren gegenwärtig schätzungsweise 250.000-300.000 Gefäßpflanzenarten unter denen die Angiospermen klar dominieren. Am höchsten ist die Phytodiversität in den äquatornahen Regionen, während der Artenreichtum polwärts abnimmt. Weltweit haben anthropogene Veränderungen der Landschaftsstruktur vor allem im Zeitalter der Kolonialisierung und Industrialisierung zu einer Fragmentierung ursprünglich zusammenhängender Lebensräume geführt. Infolge menschlicher Eingriffe sind heute ca. 8% aller Blütenpflanzenarten in ihrem Bestand akut gefährdet.

In Mitteleuropa hat die anthropogene Veränderung der Landschaftsstruktur eine quantitative Zunahme der Phytodiversität gegenüber den natürlichen Ausgangsbedingungen mit sich gebracht. Die durch Archäo- und Neophyten bedingte Erhöhung der Artenzahl hat hier zu einer qualitativen Veränderung der Phytodiversität aufgrund des teilweise dominanten Auftretens insbesondere neophytischer Arten geführt.

Natürliche und anthropogen beeinflusste pflanzliche Lebensgemeinschaften unterliegen dynamischen Einflüssen, die die räumliche und zeitliche Verteilung ihres Artenreichtums bestimmen. Die zunehmende anthropogen bedingte Fragmentierung zusammenhängender Lebensräume bedingt einen Verlust an Artenvielfalt und eine Zunahme der reproduktiven Isolation einzelner Populationen, die oft mit einer Abnahme der reproduktiven Fitness verbunden ist. Die Frage, inwieweit mit Hilfe von Korridoren oder durch eine spezifische räumliche Konfiguration von Habitatfragmenten das langfristige Überleben bedrohter Arten gewährleistet werden kann, ist momentan Gegenstand zahlreicher Diskussionen.

### Danksagung

Die eigenen Arbeiten zum Thema Biodiversität wurden u.a. von der DFG und dem BMBF gefördert. Für wichtige Anregungen und Diskussionen bin ich einer Reihe von Kollegen zu Dank verpflichtet. In diesem Zusammenhang geht mein besonderer Dank an W. Barthlott (Bonn), N. Biedinger (Rostock) und K. E. Linsenmair (Würzburg). An O. Siebeck geht mein

Dank für die perfekte Leitung und Durchführung des 5. Franz-Ruttner-Symposions.

## Literatur

- ADAMS, J.M. & F.I. WOODWARD (1989): Patterns in tree species richness as a test of the glacial extinction hypothesis. *Nature* 339: 699-701.
- AERTS, R. & F. BERENDSE (1988): The effect of increased nutrient availability on vegetation dynamics in wet heathland. *Vegetatio* 76: 63-69.
- AIZEN, M.A. & P. FEINSINGER (1994): Forest fragmentation, pollination and plant reproduction in a chaco dry forest, Argentina. *Ecology* 75: 330-351.
- AMLER, K.; A. BAHL, K. HENLE, G. KAULE, P. POSCHLOD & J. SETTELE (Hrsg.) (1999): Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis. Isolation, Flächenbedarf und Biotopansprüche von Pflanzen und Tieren. Ulmer, Stuttgart.
- BARTHLOTT, W.; W. LAUER & A. PLACKE (1996): Global distribution of species diversity in vascular plants: towards a world map of phytodiversity. *Erdkunde* 50: 317-327.
- BARTHLOTT, W.; N. BIEDINGER, G. BRAUN, F. FEIG, G. KIER & J. MUTKE (1999): Terminological and methodological aspects of the mapping and analysis of global biodiversity. *Act. Bot. Fennica* 162: 103-110.
- BIERREGAARD Jr., R.O.; T.E. LOVEJOY, V. KAPOS, A. AUGUSTO DOS SANTOS & R.W. HUTCHINGS (1992): The biological dynamics of tropical rainforest fragments. *BioScience* 42: 859-866.
- BOND, W.J. (1995): Assessing the risk of plant extinction due to pollinator and disperser failure. In: Lawton, J. H. & May, R. M. (eds), *Extinction rates*. Oxford University Press, Oxford. Pp. 131-146.
- BROWN, J.H. & A. KODRIC-BROWN (1977): Turnover rates in insular biogeography: effect of immigration on extinction. *Ecology* 58: 445-449.
- CAPPUCINO, N. & M.A. MARTIN (1997): The birch tube-maker *Acrobasis betulella* in a fragmented habitat: the importance of patch isolation and edges. *Oecologia* 110: 69-76.
- CRAWLEY, M.J. (ed.) (1997): *Plant Ecology*. (2nd ed.). Blackwell Science, Oxford.
- CURRIE, D.J. (1991): Energy and large-scale patterns of animal- and plant species richness. *Am. Naturalist* 137: 27-49.
- ERWIN, T.L. (1982): Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *Coleoptera Bulletin* 36: 74-75.
- GASTON, K.J. (2000): Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220-227.
- GLAVAC, V. (1996): *Vegetationsökologie*. G. Fischer, Jena.
- GRAY, J. (1985): The microfossil record of early landplants: advances in understanding of early terrestrialization, 1970-1984. *Phil. Transact. Roy. Soc. London, B*, 309: 167-195.
- HAEUPLER, H. (1999): Zur Phytodiversität Deutschlands, eine aktualisierte Bilanz. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg* 215: 103-109.
- (1997): Zur Phytodiversität Deutschlands: Ein Baustein zur globalen Phytodiversitätsbilanz. *Osnabr. Naturwissenschaftl. Mitteilungen* 23: 123-133.
- (1982): Evenness als Ausdruck der Vielfalt in der Vegetation: Untersuchungen zum Diversitätsbegriff. *Dissertationes Botanicae* Bd. 65, J. Cramer, Vaduz.
- HANSKI, I. & M.E. GILPIN (eds.) (1997): *Metapopulation dynamics: ecology, genetics and evolution*. Academic Press, San Diego.
- HARRISON, S. & E. BRUNA (1999): Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure? *Ecography* 22: 225-232.
- HAWKSWORTH, D.L. & M.T. KALIN-ARROYO (1995): Magnitude and distribution of biodiversity. In: Heywood, V. H. (ed.), *Global biodiversity assessment*. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 107-191.
- HENLE, K.; P. POSCHLOD & A. BAHL (1999): Gefährdungsanalysen auf populationsbiologischer Grundlage: Einführung in Konzepte und Begriffe. In: AMLER, K., A. BAHL, K. HENLE, G. KAULE, P. POSCHLOD & J. SETTELE (Hrsg.), *Populationsbiologie in der Naturschutzpraxis*. Isolation, Flächenbedarf und Biotopansprüche von Pflanzen und Tieren. Ulmer, Stuttgart. Pp. 46-52.
- HEYWOOD, V.H. (ed.) (1995): *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HUMBOLDT, A. v. (1807): *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen, nebst einem Naturgemälde der Tropenländer, auf Beobachtungen gegründet, welche vom 10. Grade nördl. bis zum 10. Grade südl. Br. in den Jahren 1799 – 1803 angestellt worden sind*. Cotta, Tübingen.
- HUSTON, M.A. (1994): *Biological diversity: the coexistence of species on changing landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LEVINS, R. (1970): Extinction. In: Gerstenhaber, M. (ed.) *Some mathematical problems in biology*. American Mathematical Society, Providence. Pp. 75-107.
- LINSENMAIR, K.E. (1995): Tropische Biodiversität – vom ursächlichen Verständnis der strukturellen und funktionellen Komplexität noch weit entfernt. *Rundgespräche der Kommission für Ökologie* 10: 115-126.
- LOMOLINO, M.V. (1989): Interpretations and comparisons of constants in the species-area relationship: an additional caution. *Am. Nat.* 133: 277-280.
- MacARTHUR, R. & E.O. WILSON (1967): *The theory of island biogeography*. Princeton University Press.
- MAGURRAN, A.E. (1988): *Ecological diversity and its measurement*. Chapman and Hall, London.
- MAY, R.M. (1988): How many species are there on earth? *Science* 241: 1441-1449.
- ROSENZWEIG, M.L. (1995): *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press, Cambridge.
- PURVIS, A. & A. HECTOR (2000): Getting the measure of biodiversity. *Nature* 405: 212-219

SEPKOSKI, J.J. jr. (1992):  
Phylogenetic and ecologic patterns in the Phanerozoic history of marine biodiversity. In: Eldredge, N. (ed.), Systematics, Ecology, and the Biodiversity Crisis. Columbia University Press, New York. Pp. 77-100.

SOLBRIG, O.T. (1994):  
Biodiversität: wissenschaftliche Fragen und Vorschläge für die internationale Forschung. Deutsche UNESCO-Kommission.

STUART CHAPIN III, F.; E.S. ZAVALA, V.T. EVINER, R.L. NAYLOR, P.M. VITOUSEK, H.L. REYNOLDS, D.U. HOOPER, S. LAVOREL, O.E. SALA, S.E. HOBBIE, M.C. MACK & S. DIAZ (2000):  
Consequences of changing biodiversity. Nature 405: 234-242.

VITOUSEK, P.M., H.A. MOONEY, J. LUBCHENCO & J.M. MELILLO (1997):  
Human domination of the earth's ecosystems. Science 277: 494-499.

WBGU (= Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2000):

Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

WILLIAMS, C.B. (1943):  
Area and the number of species. Nature 152: 264-267.

**Anschrift des Verfassers:**

Stefan Porembski  
Universität Rostock  
Institut für Biodiversitätsforschung  
Allgemeine und Spezielle Botanik  
Wismarsche Str. 8  
D-18051 Rostock

# Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt

Stefan BAUMGÄRTNER

## Gliederung

### 1. Biologische Vielfalt als ökonomisches Gut

- 1.1 Bedürfnisbefriedigung
  - Ernährung und Ernährungssicherung
  - Medikamente
  - Industrielle Rohstoffe
  - Wissenschaft und Bioindikatoren
  - Ästhetische Befriedigung und Erholung
  - Ökosystemdienstleistungen
- 1.2 Knappheit

### 2. Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt

- 2.1 Der ökonomische Wertbegriff
- 2.2 Das Konzept des ökonomischen Gesamtwertes
  - Direkter Gebrauchswert
  - Indirekter Gebrauchswert
  - Optionswert
  - Nachempfundener Gebrauchswert
  - Vermächtniswert
  - Existenzwert
- 2.3 Methoden zur Ermittlung des ökonomischen Gesamtwertes

### 3. Ökonomische Ursachen des gegenwärtigen Verlustes der biologischen Vielfalt

- 3.1 Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum
- 3.2 Marktversagen
  - Externe Effekte aufgrund fehlender oder unvollständig definierter Eigentumsrechte
  - Charakter als öffentliches Gut
  - Intragenerationale räumliche externe Effekte: globaler Wert vs. lokale Märkte
  - Intergenerationale externe Effekte: heutige vs. zukünftige Kosten und Nutzen
- 3.3 Staatsversagen
- 3.4 Fundamentales Unwissen

### 4. Bedeutung der ökonomischen Bewertung für den Schutz der biologischen Vielfalt

- 4.1 Vergleich verschiedener Schutzziele
- 4.2 Verhältnis von Natur- und Artenschutz zu anderen gesellschaftlichen Zielen

### 5. Fazit und Ausblick: Welchen Beitrag kann die Ökonomik zur Erhaltung der biologischen Vielfalt leisten?

#### Zusammenfassung/Summary

#### Danksagung

#### Literatur

Der Stellenwert, den die internationale Staatengemeinschaft der Erhaltung der Biodiversität mittlerweile beimisst, wird an der Konvention über die biologische Vielfalt deutlich, die auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro von 156 Staaten unterzeichnet wurde (BMU 1992). In der Präambel dieses Übereinkommens wird der Biodiversität und ihren Bestandteilen neben einem Eigenwert und anderen Werten (z.B. ökologischen, kulturellen und spirituellen) auch explizit ein ökonomischer Wert zugesprochen.

Ich möchte in diesem Aufsatz darstellen, worin der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt besteht. Damit will ich in keiner Weise die Bedeutung der anderen Wertdimensionen leugnen oder herabsetzen.

Vielmehr möchte ich zeigen, dass eine Betrachtung des ökonomischen Werts der biologischen Vielfalt wichtige Einsichten in das Problem des gegenwärtigen Verlustes an biologischer Vielfalt liefern kann. Insbesondere will ich im folgenden konzeptionell darstellen,

- inwiefern man Biodiversität als ein ökonomisches Gut auffassen kann (Abschnitt 1),
- worin ihr ökonomischer Wert besteht (Abschnitt 2),
- wie man in dieser ökonomischen Sichtweise, den gegenwärtig zu beobachtenden dramatischen Verlust an biologischer Vielfalt erklären kann (Abschnitt 3) und
- welche Bedeutung die ökonomische Bewertung für den Schutz von Biodiversität hat (Abschnitt 4).

- Abschließend möchte ich, als Fazit und Ausblick, die Frage beantworten, welchen Beitrag die Ökonomie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt leisten kann (Abs. 5).

## 1. Biologische Vielfalt als ökonomisches Gut

Untersuchungsgegenstand der Wirtschaftswissenschaften ist, gemäß einer klassischen Definition von ROBBINS (1932), die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse mit knappen Mitteln, welche auf unterschiedliche Weise verwendet werden können.<sup>1</sup> Tatsächlich kann die biologische Vielfalt als ein ökonomisches Gut angesehen werden. Denn zum einen befriedigt sie in vielfältiger Weise menschliche Bedürfnisse. Das bedeutet, Biodiversität hat einen ökonomischen Nutzen. Zum anderen ist Biodiversität auch knapp und kann in unterschiedlicher Weise genutzt werden. Beide Aspekte sollen im folgenden kurz erläutert werden.

### 1.1 Bedürfnisbefriedigung

Biologische Vielfalt und ihre einzelnen Bestandteile sind in mannigfaltiger Weise geeignet, menschliche Bedürfnisse zu befriedigen. Das mögen die folgenden Beispiele illustrieren.

#### Ernährung und Ernährungssicherung

Ein Großteil der heute verwendeten Nahrungsmittel kommt von domestizierten Pflanzen- und Tierarten, die ursprünglich von wilden Arten abgeleitet wurden. Von den 240.000 bekannten (Gefäß-)Pflanzenarten sind schätzungsweise 25% essbar (GBA 1995b: 13), also ca. 60.000. Davon dienten im Verlauf der menschlichen Geschichte nur ungefähr 3.000 Arten als Nahrung, lediglich 150 Arten wurden jemals in größerem Maßstab kultiviert, und weniger als 20 befriedigen über 90 Prozent des gesamten menschlichen Nahrungsbedürfnisses (MYERS 1989: 54). Der größte Anteil entfällt dabei auf die vier wichtigsten Arten, nämlich Weizen, Mais, Reis und Kartoffeln, die alleine über 50 Prozent des Bedarfs an pflanzlicher Nahrung abdecken (PLOTKIN 1988: 107).

Neben der Spezialisierung auf wenige Arten wird die genetische Vielfalt der Nutzpflanzen und -tiere aber auch innerhalb der einzelnen Arten durch die Verwendung einiger weniger Hochleistungssorten permanent eingeschränkt. Diese werden im Rahmen der Züchtung auf die Erfüllung gewisser vom Menschen bevorzugter Eigenschaften, insbesondere großer und homogener Rohproduktmengen, künstlich selektiert. Diese Entwicklung führt dazu, dass in vielen Ländern, in denen in der Vergangenheit eine Vielzahl unterschiedlicher Sorten angebaut wurden, heute nur noch wenige Verwendung finden. Beispielsweise wurde die Zahl der angebauten Reissorten in Sri Lan-

ka von 2.000 im Jahr 1959 auf heute nur noch 5 reduziert (SWANSON 1994: 26f.).

Diese Spezialisierung führt zwar zu deutlich höheren Durchschnittserträgen pro bebauter Fläche, sie geht allerdings auch mit einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Krankheiten, Schädlingen oder extremen Wetterverläufen einher. Um nachteilige Auswirkungen aufgrund dieser Anfälligkeiten zu vermeiden, und auch um die Erträge für die Nahrungsbedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung weiter zu steigern, ist die moderne Landwirtschaft zwingend auf das Einkreuzen von genetischem Material aus wilden Sorten angewiesen, das in natürlichen Ökosystemen vorhanden ist. Diese Arten entwickeln sich unter weitgehend natürlichen Bedingungen und können daher ständig neue Abwehrmechanismen gegen die Schädlinge und Krankheiten, welche sie befallen, hervorbringen (EHRlich & EHRlich 1981: 65). Gleichzeitig stellen sie das genetische Rohmaterial für andere wünschenswerte Eigenschaften bereit. Als Beispiel seien hier die Versuche genannt, die Eigenschaften von salztoleranten Pflanzen, den sogenannten Halophyten, auf konventionelle Arten zu übertragen, was einen enormen Zugewinn an potenzieller Anbaufläche sowie die Möglichkeit zur Bewässerung mit Salzwasser ermöglichen würde (MYERS 1983: 54). Deshalb stellen sie ein Reservoir an genetischer Diversität dar, dessen Erhaltung für die langfristige Ernährungssicherung von entscheidender Bedeutung ist.

#### Medikamente

Die natürliche biologische Vielfalt leistet einen wichtigen Beitrag zur Versorgung der Menschheit mit Medikamenten. Ihr besonderer Nutzen in diesem Bereich rührt daher, dass die verschiedenen Organismen in ihrer biotischen Umwelt eine Anzahl von Überlebensstrategien herausgebildet haben, die sich im Laufe der Evolution als erfolgreich erwiesen haben. Diese Strategien, welche sich in der Entwicklung biologisch aktiver Chemikalien manifestieren, sind häufig auch für den Menschen von Nutzen, da er sich in demselben natürlichen System im Wettbewerb mit denselben anderen Lebensformen durchsetzen muss (SWANSON 1996: 3). Bereits heute ist der Mensch bei der Versorgung mit Pharmaka in großem Umfang auf wildlebende Organismen angewiesen. MYERS (1997: 263) schätzt, dass etwa ein Viertel aller Arzneimittel pflanzlichen Ursprungs sind und ein weiteres Viertel Tieren und Mikroorganismen entstammt.

Man kann drei verschiedene Ansätze unterscheiden, wie Pflanzen- oder Tierarten innerhalb der Pharmaindustrie genutzt werden (SWANSON et al. 1992: 434). Erstens besteht die Möglichkeit, aus Pflanzen oder Tieren isolierte Bestandteile direkt als therapeutische Substanzen zu verwenden. Beispielsweise kön-

<sup>1</sup>) „Economics is the science which studies behaviour as a relationship between ends and scarce means which have alternative uses“ (ROBBINS 1932).

nen aus Schlangengiften verschiedene Substanzen isoliert werden, die gerinnungshemmende und –fördernde Wirkung haben und zur Regulation und Diagnostik von Bluterkrankungen eingesetzt werden (HALL 1992: 380). Zweitens können Bestandteile von Pflanzen oder Tieren als Basis für die Synthetisierung von Medikamenten verwendet werden. Drittens können Bestandteile von Pflanzen oder Tieren als natürliches Vorbild für die Synthetisierung von Medikamenten im Labor dienen. Das bekannteste Beispiel unter diesen Medikamenten ist Aspirin, das ursprünglich aus den Blättern von Weiden hergestellt wurde, heute jedoch durch Synthese kostengünstiger herzustellen ist. Im Jahr 1993 waren ungefähr 80% der 150 in den USA am häufigsten verschriebenen Medikamente synthetische Präparate, die nach Vorbild natürlicher Wirkstoffe entworfen worden waren, halbsynthetische Wirkstoffe aus natürlichen Produkten oder, in einigen wenigen Fällen, natürliche Produkte (GBA 1995b: 14).

Weltweit werden 119 chemische Reinsubstanzen als Medikamente genutzt, die aus weniger als 90 Pflanzenarten extrahiert werden (FARNSWORTH 1988: 93). Im Jahr 1993 betrug der weltweite Umsatz mit Medikamenten auf Basis pflanzlicher Wirkstoffe 59 Milliarden US\$ (TEN KATE 1995).<sup>2</sup> Zieht man in Betracht, dass diese erfolgreichen Medikamente gefunden wurden, obwohl erst 5.000 der geschätzten 240.000 Gefäßpflanzen vollständig wissenschaftlich auf ihre Eignung als Medikament untersucht wurden (OLDFIELD 1992: 3250), so wird das bedeutende Potenzial deutlich, welches durch die biologische Vielfalt für die Entwicklung neuer Medikamente gegeben ist. Dieses Potenzial ist gegenwärtig Gegenstand großer kommerzieller Erwartungen und wird im Rahmen der sogenannten Bioprospektierung gezielt erschlossen (MATEO et al. 2000).

### Industrielle Rohstoffe

Auch in ihrer Funktion als Rohstofflieferant für die Industrie leistet die Biodiversität einen wichtigen Beitrag zum menschlichen Wohlstand, welcher mit der zunehmenden Verknappung von nicht erneuerbaren Ressourcen (z.B. mineralischen Erzen) immer wichtiger wird. Verschiedene Holzarten, Rattan, Gummi, Fette, Öle, Wachse, Harze, pflanzliche Farbstoffe, Fasern und viele andere Rohstoffe werden aus lebenden Organismen gewonnen und finden in sehr vielen Bereichen Anwendung (MYERS 1983: 146ff.). Die biologische Vielfalt stellt einen Vorrat an weiteren vielversprechenden Nutzarten dar, welche möglicherweise in der Zukunft als industrielle Rohstoffe

Verwendung finden können. Insbesondere für die chemische Industrie sind aus lebenden Organismen gewonnene Substanzen verstärkt von Interesse. Man schätzt, dass diese Branche bereits heute über 10% ihrer gesamten Rohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft gewinnt (MANN 1998: 60). Der größte Teil besteht zwar nach wie vor aus Erdöl, allerdings scheint aufgrund der Endlichkeit der fossilen Erdölvorräte die Substitution dieser Ressource durch pflanzliche Ressourcen für die chemische Industrie immer wichtiger zu werden (MYERS 1983: 147).

### Wissenschaft und Bioindikatoren

Neben den bisher angesprochenen Nutzungsmöglichkeiten kommt der biologischen Vielfalt auch eine wichtige Rolle als Quelle neuer Erkenntnisse und als Forschungsmodell in der Wissenschaft zu. Beispielsweise können in der medizinischen Forschung viele Arten Hinweise auf die Herkunft und Natur verschiedener menschlicher Leiden geben (MYERS 1983: 120). So konnten Rundschwanzseekühe, welche Blut mit schlechten Gerinnungseigenschaften besitzen, die Erforschung der Bluterkrankheit (Hämophilie) unterstützen. Das Gürteltier und der Mangabaffe sind die einzigen Arten neben dem Menschen, die an Lepra erkranken können und liefern daher wichtige Beiträge zur Erforschung dieser Krankheit.

Eine eigene Wissenschaftsdisziplin, die Bionik, beschäftigt sich mittlerweile mit der systematischen Übertragung von Problemlösungen, welche innerhalb von Millionen von Jahren in der Natur entwickelt und optimiert wurden, in den Bereich der Technik (HILL 1997, NADER & HILL 1999). Die biologische Vielfalt dient hier also als Vorbild für technische Entwicklungen.

Eine weitere Nutzungsform der biologischen Vielfalt liegt in der Bioindikation. Darunter versteht man die Messung von Veränderungen an Organismen bzw. Ökosystemen, welche durch anthropogene Umwelteinflüsse hervorgerufen werden (ARNDT et al. 1987: 16). Aufgrund dieser Veränderungen lässt sich die Existenz von Schadstoffen in den verschiedenen Umweltmedien (Luft, Boden, Wasser) nachweisen, was auf dem Wege einer technisch-apparativen Messung häufig nur mit deutlich höherem Aufwand möglich wäre (HAMPICKE 1991: 30). So kann man beispielsweise den Schwermetallgehalt der Atmosphäre anhand ihrer Anreicherung in Moosen abschätzen (ARNDT et al. 1987: 57ff.) und Algen werden als Indikatoren für die Belastung von aquatischen Ökosy-

2) Die drei umsatzstärksten Pharmaka aus wildlebenden Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen waren dabei im Jahr 1997 (WMPQ 1999): (1) Zocor, ein von Merck & Co. vertriebener Cholesterinsynthese-Hemmer nach dem Vorbild des Wirkstoffes Lovastatin aus dem Pilz *Aspergillus terrestris* (Umsatz: 3,6 Milliarden US\$), (2) Vasotec, ein ebenfalls von Merck & Co. vertriebener ACE-Hemmer, der aus einem Peptid im Gift der Lanzenotter (*Bothrops jararaca* oder *athrox*) entwickelt wurde (Umsatz: 2,5 Milliarden US\$), und (3) Augmentin, ein von Smith Kline Beecham vertriebenes Medikament (Umsatz: 1,5 Milliarden US\$), dessen Wirkstoff Co-Amoxiclav eine Kombination eines Beta-Lactamase-Hemmers aus dem Bakterium *Streptomyces lavuligerus* und des halbsynthetischen Antibiotikums Amoxicillin (*Penicillium* spp. oder *Aspergillus* spp.) ist.

stemem mit organischen Stoffen und Schwermetallen verwendet (ARNDT et al. 1987: 277ff.).

### **Ästhetische Befriedigung und Erholung**

Ohne Zweifel befriedigen Ökosysteme und Lebewesen auch unter ästhetischen Gesichtspunkten menschliche Bedürfnisse. Die Schönheit vieler Vögel, Schmetterlinge, tropischer Fische, Blütenpflanzen etc. steht außer Frage und ist sicherlich in der Lage, das menschliche Bedürfnis nach Ästhetik zu befriedigen. Dies offenbart sich in Form ganz unterschiedlicher Freizeitaktivitäten wie z.B. Naturfotografie, Schmetterlings sammeln oder Sporttauchen (EHRlich & EHRlich 1992: 220). Aber auch unscheinbare und kleinere Arten sind durchaus in der Lage, durch besondere Merkmale, ihre Komplexität oder außergewöhnliches Verhalten ihre Betrachter zu faszinieren. EHRlich & EHRlich (1981: 38) sprechen hier von der „Schönheit des Interesses“. In diesem Zusammenhang sind gerade die Mannigfaltigkeit und die Unterschiede zwischen den einzelnen Arten und Populationen von entscheidender Bedeutung (EHRlich & EHRlich 1981: 42).

Einen Anhaltspunkt für die tatsächlich vorhandene Wertschätzung, die der biologischen Vielfalt in ihrer Erholungsfunktion entgegengebracht wird, können die wachsenden Ausgaben für Ökotourismus herangezogen werden. Nach einer Schätzung der Weltbank belaufen sich die weltweiten Umsätze für Tourismusaktivitäten auf 2 Billionen US\$ jährlich. Ökotourismus ist dabei eine der am schnellsten wachsenden Tourismussparten. 1988 nahmen weltweit ungefähr 235 Millionen Menschen an ökotouristischen Aktivitäten teil. Daraus resultierten Umsätze von schätzungsweise 233 Milliarden US\$ (GBA 1995b: 16).

### **Ökosystemdienstleistungen**

Ökosysteme generieren eine Reihe von Funktionen und Prozessen, die letztlich auch menschliche Konsum- und Produktionsbedürfnisse befriedigen. Die gesamte Bandbreite dieser sogenannten „Ökosystemdienstleistungen“ (DAILY 1997a: 3) kann in drei Hauptkategorien unterteilt werden.

Erstens unterstützen Ökosystemdienstleistungen menschliche Produktionsaktivitäten. Beispielsweise tragen verschiedene Lebewesen entscheidend zur Neubildung von Böden, zur Erhaltung der Fruchtbarkeit von Böden und zur Verhinderung von Bodenerosion bei. Sie erfüllen damit wichtige Funktionen für Land- und Forstwirtschaft. Daneben wandeln verschiedene Arten von Mikroorganismen die im Boden enthaltenen Nährstoffe (Stickstoff, Schwefel, Phosphor etc.) in eine Form um, in der sie von den höhe-

ren Pflanzen verarbeitet werden können. Für die Landwirtschaft weiterhin wichtig ist die Kontrolle der überwiegenden Mehrheit der landwirtschaftlichen Schädlinge durch ihre natürlichen Feinde (NAYLOR & EHRlich: 1997: 151ff.) sowie die Bestäubung der in der Landwirtschaft kultivierten und der wildwachsenden Vegetation (NABHAN & BUCHMANN 1997: 133ff.).

Zweitens dienen Ökosysteme als Senken für verschiedene Abfallprodukte der menschlichen Konsum- und Produktionsaktivitäten. Diese werden aufgenommen, umgewandelt und damit teilweise unschädlich oder sogar wieder verwertbar gemacht (MUNASINGHE 1992: 228). Beispielsweise zerlegen die im Boden lebenden Destruenten organische Abfallstoffe in einfachere anorganische Bestandteile, die dann wieder als Nährstoffe für grüne Pflanzen dienen können. Auch die in aquatischen Ökosystemen lebenden Bakterien sind wichtige Destruenten, deren Fähigkeit, Abfälle abzubauen, man sich heute in Kläranlagen zunutze macht (EHRlich & EHRlich 1992: 222). Schließlich sind die lebenden Bestandteile der Ökosysteme auch an dem Abbau von Schädlingsbekämpfungsmitteln und Luftschadstoffen beteiligt (IUCN 1990: 32).

Drittens erfüllen Ökosysteme unersetzliche Lebenserhaltungsfunktionen, ohne die das Leben auf der Erde nicht in seiner heutigen Form fortbestehen könnte oder möglicherweise vollständig ausgelöscht würde (MUNASINGHE 1992: 228). Zu diesen lebenserhaltenden Ökosystemdiensten gehört beispielsweise die Beibehaltung der Zusammensetzung der Atmosphäre (Sauerstoff-, Stickstoff- und Kohlendioxidgehalt;<sup>3</sup> Existenz einer vor UV-Strahlung schützenden Ozonschicht), die Umwandlung von Solarenergie in Biomasse, d.h. in eine Form, in der sie über die Nahrungskette auch von nicht Photosynthese betreibenden Lebewesen genutzt werden kann, Regulierung des Wasserablaufs und Wasserkreislaufs, die Regulierung des lokalen und globalen Klimas oder die Aufrechterhaltung der Elementkreisläufe (Stickstoff, Schwefel, Phosphor etc.) (EHRlich & EHRlich 1981: 86, EHRlich & EHRlich 1992: 221f., IUCN 1990: 32).

Welche Rolle Biodiversität für die Fähigkeit von Ökosystemen, all diese Dienstleistungen hervorzu bringen und ihre Funktionsfähigkeit auch unter Störungen der Umweltbedingungen beizubehalten, spielt, ist immer noch Gegenstand wissenschaftlicher Erforschung. Einerseits gibt es einige Arten, deren Bedeutung für die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen weit über ihre relative Häufigkeit im Ökosystem

3) Der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre, der seit ca. 350 Millionen Jahren vor allem aufgrund der Existenz grüner Pflanzen konstant bei knapp 21% liegt (HEINTZ & REINHARD 1993: 11-16), ist nicht nur wichtig als wesentlicher Bestandteil der „Luft zum Atmen“. Ein Absinken dieses Anteils auf 15% würde dazu führen, dass selbst trockenes Holz nicht mehr brennen würde, während ein Anteil von 25% zur Folge hätte, dass selbst feuchte tropische Wälder brennbar wären. Das hätte weit reichende Auswirkungen auf die Entwicklung der Ökosysteme.

hinausgeht, wie z.B. die Mykorrhiza-Pilze für die Aufnahme von Nährstoffen aus dem Boden durch Pflanzen (VAN DER HEIJDEN et al. 1998).<sup>4</sup> Der Verlust dieser sogenannten „Schlüsselarten“ (BOND 1993: 237ff.) würde zwangsläufig den Verlust weiterer Arten nach sich ziehen und die Funktionsfähigkeit eines Ökosystems stark reduzieren. Dagegen weisen andere Arten in den Funktionen, welche sie innerhalb ihrer Lebensgemeinschaften ausüben, ein hohes Maß an Überschneidungen auf. In der Literatur werden diese Arten häufig als „Passagierarten“ (HOLLING et al. 1995: 67) oder als „redundant“ (LAWTON & BROWN 1993) bezeichnet. Der Verlust einer solchen Art kann somit durch eine andere Art kompensiert werden (GBA 1995a: 289). Nach heutigem Kenntnisstand ist zumindest kurzfristig eine kleine Anzahl von Schlüsselarten und physikalischen Prozessen dafür ausreichend, die volle Funktionsfähigkeit von Ökosystemen zu gewährleisten (HOLLING et al. 1995: 67). Allerdings können im Laufe der Zeit Arten, welche unter bestimmten Umweltbedingungen Passagierarten sind, bei veränderten Umweltbedingungen im Laufe der Evolution zu Schlüsselarten werden, indem sie wichtige Funktionen innerhalb von Ökosystemen übernehmen (BARBIER et al. 1994: 28). Die funktionelle Diversität der Arten trägt also zur Resilienz von Ökosystemen bei, d.h. zu ihrer Fähigkeit, unter veränderten Umweltbedingungen ihre Funktionsfähigkeit aufrechtzuerhalten (MCCANN 2000, LEHMAN & TILMAN 2000).

Die in diesem Abschnitt genannten Beispiele zeigen erstens die großen Möglichkeiten, die sich bei besseren Kenntnissen über die Biodiversität aus ihrer Nutzung ziehen lassen würden. Zweitens belegt die Unterschiedlichkeit der einzelnen Beispiele, dass es wohl keine allgemeingültigen Kriterien gibt, anhand derer man à priori festlegen könnte, welche Bestandteile der biologischen Vielfalt für den Menschen von Nutzen sein könnten und welche nicht (HAMPICKE 1991: 28). Während in der Vergangenheit vor allem die ökonomische Bedeutung der direkten Auswirkungen eines Verlustes an biologischer Vielfalt für menschliche Konsum- und Produktionsaktivitäten betont wurde, richtet sich das Augenmerk auch der ökonomischen Forschung in letzter Zeit zunehmend auf die Rolle, die der Verlust an Biodiversität für die Funktionsfähigkeit und Resilienz von Ökosystemen spielt (BARBIER et al. 1994: 17, PERRINGS 1995b, PERRINGS et al. 1995b).

### 1.2 Knappheit

Zu einem ökonomischen Gut wird Biodiversität, neben ihrem ökonomischen Nutzen, dadurch dass sie knapp ist (LERCH 1995: 33). Knappheit bedeutet in

diesem Zusammenhang, dass die Bereitstellung bzw. Erhaltung von Biodiversität mit Kosten verbunden ist. Bei diesen Kosten kann es sich um monetäre Aufwendungen handeln, die beispielsweise für die Einrichtung von Naturschutzgebieten ausgegeben werden. Diese Mittel, die zum Schutz der Biodiversität aufgewendet werden könnten, sind knapp. Der bei weitem wichtigere Anteil der Kosten dürfte jedoch, was die Erhaltung der biologischen Vielfalt betrifft, in den sogenannten Opportunitätskosten liegen, die darin bestehen, dass man zum Zwecke der Erhaltung der Biodiversität auf alternative Formen der Landnutzung, z.B. Landwirtschaft oder Ausbau von Flüssen als Schifffahrtsstraßen, verzichtet.

## 2. Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt

Aus dem gerade Gesagten – nämlich (i) Biodiversität befriedigt menschliche Bedürfnisse und (ii) Biodiversität ist ein knappes Gut – ergibt sich, dass Biodiversität als ökonomisches Gut aufgefasst werden kann. Damit kann man ihr auch einen ökonomischen Wert zuordnen. Bevor ich auf den ökonomischen Wert der Biodiversität eingehe, möchte ich aber noch einige grundsätzliche Bemerkungen zum ökonomischen Wertbegriff machen. Dies erscheint mir notwendig, um die Möglichkeiten, aber auch die Grenzen der ökonomischen Bewertung von Biodiversität zu verstehen.

### 2.1 Der ökonomische Wertbegriff

Wenn Ökonomen einem (materiellen oder immateriellen) Gut einen Wert zuschreiben, dann meinen sie damit in den meisten Fällen einen *instrumentellen* Wert. Das bedeutet, der Wert dieses Gutes liegt darin, dass es ein nützliches Instrument ist, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen (HAMPICKE 1993: 136). Im Gegensatz dazu könnte man einer Sache auch einen *intrinsic* Wert oder Eigenwert zusprechen. D.h. eine Sache könnte auch einen Wert an sich haben, der unabhängig davon ist, ob sie als Instrument zur Erreichung eines bestimmten Zieles nützlich ist (PIRSCHER 1997: 14).

Aus der in Abschnitt 1 genannten Definition und Abgrenzung der Ökonomik als Wissenschaft (Untersuchung der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse mit knappen Mitteln, die auf unterschiedliche Weise verwendet werden können) ergibt sich, dass das Ziel, zu dessen Erreichung eine Sache nützlich sein müsste, damit sie aus Sicht der Ökonomik einen instrumentellen Wert hätte, in der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse besteht. Damit ist der ökonomische Wertbegriff *anthropozentrisch*.

4) Als *Mykorrhiza* („Pilzwurzel“) bezeichnet man die Symbiose zwischen Pflanzen und dem Hyphengeflecht von Bodenpilzen (STRASBURGER 1991: 229). Die Pilzfäden dringen in die Pflanzenwurzeln ein, so dass ein Stoffaustausch möglich wird. Die Pflanze nutzt dabei die enorme Absorptionsfähigkeit der Pilzhyphen zur Versorgung mit Wasser und Nährstoffen. Umgekehrt erhält der Pilz von der Pflanze Zucker und andere Kohlenhydrate, über die sie gewöhnlich im Überschuss verfügt.

Das methodische Vorgehen, das die Ökonomik wählt, um das Entstehen von Wert zu erklären, ist der sogenannte *methodologische Subjektivismus*. In dieser Vorgehensweise werden einzelne Individuen und die Wahlhandlungen, die aus ihren jeweils individuellen Präferenzen und Handlungsbeschränkungen resultieren, als elementare Erklärungseinheiten betrachtet. Der Wert eines Gutes wird in dieser Sichtweise bestimmt durch das Zusammenspiel der subjektiven Bewertungen der verschiedenen interagierenden Individuen in einer Ökonomie. Für den ökonomischen Wertbegriff bedeutet dies, dass er letztlich durch subjektive Bewertungen der Individuen in einer Gesellschaft bestimmt ist, und nicht etwa beispielsweise durch das wissenschaftliche Urteil von wie auch immer qualifizierten Experten.<sup>5</sup>

Aus dieser Perspektive wird auch klar, dass ökonomischer Wert keine Eigenschaft ist, die einer Sache inhärent ist. Vielmehr wird sie einer Sache von Wirtschaftssubjekten zugesprochen. Welcher ökonomische Wert einer Sache zugesprochen wird hängt damit nicht alleine von den objektiven (z.B. physikalischen oder ökologischen) Eigenschaften dieser Sache selbst ab, sondern ganz wesentlich auch vom gesamten ökonomischen Kontext, in dem die Bewertung stattfindet. Beispielsweise spielen bei der Bewertung einer natürlichen Ressource wie z.B. sauberes Trinkwasser neben der Frage ‚Welchen Nutzen stiftet sauberes Trinkwasser?‘ auch die folgenden Fragen eine Rolle: Wieviel sauberes Wasser gibt es insgesamt? Wie ist dieses Vorkommen (räumlich und zeitlich) verteilt? Wie sind die Zugriffsmöglichkeiten auf die Ressource institutionell geregelt? Welche alternativen Verwendungsmöglichkeiten gibt es neben der Verwendung als Trinkwasser und welche institutionellen Einschränkungen gibt es dabei? Welche Alternativen gibt es zu Wasser in seinen unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten und was kosten diese jeweils?

## 2.2 Das Konzept des ökonomischen Gesamtwertes

In Abschnitt 1.1 ist bereits exemplarisch dargestellt worden, inwiefern Biodiversität zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse genutzt werden kann. Der Forderung an ein Bewertungskonzept, möglichst alle verschiedenen Nutzungsformen einer Ressource zu erfassen, versuchen Ökonomen mit dem Konzept des ökonomischen Gesamtwertes gerecht zu werden (PEARCE UND TURNER 1990: 129). Dieses Konzept kann auch auf die Bewertung von Biodiversität angewendet werden (GBA 1995a: 830ff., GEISENDORF et al. 1998: 176ff., IUCN 1988: 14ff.). Dabei werden einzelne Wertaspekte nach ihrem Beitrag zur Bedürfnisbefriedigung bzw. Motiven für ihre Wertschätzung systematisiert.

Nach dieser Klassifizierung lässt sich der ökonomische Gesamtwert zunächst in Gebrauchswerte und Nicht-Gebrauchswerte unterteilen. Unter Gebrauchswerten werden diejenigen Anteile am ökonomischen Gesamtwert verstanden, welche aus der tatsächlichen oder potenziellen Nutzung der biologischen Vielfalt entstehen, während Nicht-Gebrauchswerte vollkommen unabhängig von jeder tatsächlichen oder potenziellen Nutzung der biologischen Vielfalt sind. Sie entstehen beispielsweise aus dem ethisch, moralisch, spirituell oder religiös begründeten Wunsch heraus, die Natur für die Nachwelt oder um ihrer selbst willen zu erhalten.

Auf der nächst tieferen Ebene lassen sich die Gebrauchswerte in den direkten Gebrauchswert, den indirekten Gebrauchswert und den Optionswert unterteilen. Die Nichtgebrauchswerte werden in den nachempfundenen Gebrauchswert, den Vermächtniswert und den Existenzwert unterteilt.

### Direkter Gebrauchswert

Biodiversität hat einen direkten Gebrauchswert insofern, als sie oder einzelne ihrer Bestandteile direkt menschliche Bedürfnisse befriedigen. Einerseits kann das durch den *konsumtiven Verbrauch* geschehen, beispielsweise um Bedürfnisse nach Nahrung, Brennholz oder Medizin zu stillen. Weiter ist hier auch der *produktive Verbrauch* angesprochen, z.B. als industrieller Rohstoff, Energieträger oder Bauholz. Andererseits haben die Biodiversität oder ihre Bestandteile einen direkten Gebrauchswert, der nicht aus dem Verbrauch sondern aus dem *zerstörungsfreien Gebrauch* stammt, beispielsweise für Erholungszwecke, Tourismus, Wissenschaft und Ausbildung.

### Indirekter Gebrauchswert

Indirekt hat Biodiversität einen Gebrauchswert für Menschen dadurch, dass sie eine wichtige Rolle bei der Erzeugung und Aufrechterhaltung bestimmter Ökosystemdienstleistungen hat (FROMM 2000, HUNETING et al. 1998), die ihrerseits menschliche Bedürfnisse direkt befriedigen oder ökonomische Prozesse unterstützen, die letztlich auch der Bedürfnisbefriedigung dienen. Beispiele sind die oben bereits genannte Aufrechterhaltung der biologischen Produktivität in landwirtschaftlich genutzten Ökosystemen, Klimaregulierung, Regulierung des Wasserkreislaufs oder der verschiedenen Elementkreisläufe und Reinigung von Wasser und Luft. Ebenso fällt hierunter die Rolle der Biodiversität für die Resilienz von Ökosystemen.

### Optionswert

Auch wenn die Biodiversität heute keinen direkten oder indirekten Gebrauchswert hätte, so hat doch die Option, die Ressource Biodiversität auch zukünftig

5) Ein Problem kann sich aufgrund der individualistischen Vorgehensweise, insbesondere bei der Bewertung von natürlichen Ressourcen und Umweltqualität, bei der Aggregation der verschiedenen subjektiven zu einer gesamtgesellschaftlichen Bewertung ergeben (vgl. SEIDL & GOWDY 1999: 106).

direkt oder indirekt nutzen zu können einen gewissen Wert. Diesen bezeichnet man als Optionswert der Biodiversität. Beispielsweise könnten in der Zukunft Krankheiten auftreten, die heute noch nicht bekannt sind. Die heute vorhandene Biodiversität hätte dann einen Optionswert insofern, als sich aus ihr möglicherweise in der Zukunft Medikamente gegen diese heute noch nicht bekannte Krankheit gewinnen lassen. In diesem Sinne entspricht der Optionswert einer Versicherungsprämie (PERRINGS 1995a, WEITZMAN 2000), die man bereit ist, heute zu bezahlen, um im Falle des zukünftigen Eintritts eines bestimmten Ereignisses, z.B. des Auftretens einer Krankheit oder einer landwirtschaftlichen Schädlingsplage, die Möglichkeit der Schadensminderung zu haben.

Während die Bewahrung jeder natürlichen Ressource einen Optionswert beinhaltet, ist dieser im Falle der Biodiversität besonders bedeutsam. Denn erstens ist der Verlust an Biodiversität irreversibel, und zweitens besteht heute immer noch sehr hohes Unwissen über die Nützlichkeit von Biodiversität (z.B. für landwirtschaftliche oder pharmazeutische Zwecke) und über die Rolle, die Biodiversität für die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen spielt. In einer Situation des Unwissens über die Zukunft kann es aber vorteilhaft sein, irreversible Entscheidungen hinauszuzögern. Im Laufe der so gewonnenen Zeit können dann durch Forschung zusätzliche Informationen gewonnen werden, z.B. darüber, welche Teile der genetischen Vielfalt potenziell für die pharmazeutische Industrie nützlich sind und welche nicht. Insofern gibt der Optionswert auch den Wert des Zuwachses an Information und Wissen an, der durch das Aufschieben von irreversiblen Entscheidungen in einer Situation der Unsicherheit über die Zukunft gewonnen werden kann (ARROW & FISHER 1974, HANEMANN 1989, HENRY 1974, FISHER & HANEMANN 1986).<sup>6</sup>

#### **Nachempfunderer Gebrauchswert**

Der sogenannte nachempfundene Gebrauchswert (GBA 1995b: 13) der Biodiversität ist dadurch gegeben, dass Menschen bereit sind, Zahlungen dafür zu leisten (bzw. auf Gebrauchsnutzen dafür zu verzichten), dass andere Mitglieder der gegenwärtigen Generation einen Gebrauchsnutzen aus den unterschiedlichen Komponenten der Biodiversität ziehen können. Dies ist eine Form von Altruismus gegenüber Freunden, Verwandten oder Fremden.

#### **Vermächtniswert**

Der sogenannte Vermächtniswert der Biodiversität ist dadurch gegeben, dass Menschen bereit sind, Zahlungen dafür zu leisten (bzw. auf Gebrauchsnutzen dafür zu verzichten), dass zukünftige Generationen Zugang zu biologischer Vielfalt oder einzelner Komponenten davon haben. Er bezieht sich also nicht auf die eigene spätere Inanspruchnahme der Biodiversität, sondern auf diejenige nachfolgender Generationen (POMMERHNE 1987: 175f.). Es handelt sich hierbei also um eine Form von Altruismus gegenüber zukünftigen Generationen.

#### **Existenzwert**

Der sogenannte Existenzwert (KRUTILLA 1967: 781) der Biodiversität ist dadurch gegeben, dass Menschen bereit sind, Zahlungen dafür zu leisten (bzw. auf Gebrauchsnutzen dafür zu verzichten), dass die biologische Vielfalt auch weiterhin in ihrem heutigen Ausmaß existiert. Dies drückt eine Wertschätzung der biologischen Vielfalt aus, die unabhängig von jeder tatsächlichen oder potenziellen, direkten oder indirekten Nutzung ist. Sie beruht auf der Befriedigung, die ein Mensch aufgrund des Wissens, dass es bestimmte Arten oder Ökosysteme überhaupt gibt, empfindet. Dies kann als eine Form von Altruismus gegenüber nicht-menschlichen Spezies oder gegenüber der Natur im allgemeinen aufgefasst werden und ist wohl in erster Linie ethisch oder religiös motiviert. Einen Eindruck von der Bedeutung des Existenzwertes kann das Spendenaufkommen für Naturschutz- und Umweltorganisationen geben, das beispielsweise dem Schutz des Sibirischen Tigers oder des Pandabären gewidmet ist (PEARCE & TURNER 1990: 135).<sup>7</sup>

### **2.3 Methoden zur Ermittlung des ökonomischen Gesamtwertes**

An dieser Stelle lässt sich festhalten: Der ökonomische Gesamtwert der biologischen Vielfalt umfasst ganz unterschiedliche Komponenten, entsprechend den sehr unterschiedlichen menschlichen Bedürfnissen, die durch diese natürliche Ressource befriedigt werden können. Die ökonomische Bewertung der Biodiversität stützt sich aber auch in diesem sehr breit gefächerten Spektrum ausschließlich auf Werte, die auf menschlichen Präferenzen basieren. Die einzelnen Bestandteile des ökonomischen Gesamtwertes sind zwar grundsätzlich additiv, es bedarf aber besonderer Sorgfalt, um nicht sich gegenseitig ausschließende Werte zu addieren (MORAN & PEARCE 1997: 2). Beispielsweise wäre es nicht möglich, den Ertrag,

6) Dieser Teil des Optionswertes wird oft auch als Quasi-Optionswert bezeichnet.

7) Weil der Existenzwert nicht an menschliche Gebrauchserwägungen gebunden ist, scheint er zunächst auch kein ökonomischer Wert im Sinne eines instrumentellen Wertes zu sein. Tatsächlich wird der Existenzwert auch häufig als intrinsischer Wert bezeichnet (z.B. von GBA 1995b: 13, PEARCE & TURNER: 130). Allerdings besteht der Existenzwert zwar unabhängig von der derzeitigen oder zukünftigen Nutzung der Biodiversität, aber keineswegs unabhängig von dem wertenden Wirtschaftssubjekt (PIRSCHER 1997:74). Das Wissen um die Existenz bestimmter Spezies erhöht den Nutzen des Wirtschaftssubjektes. Damit ist der Existenzwert ein instrumenteller Wert, insofern als die Existenz einer Spezies instrumentell für das Wohlbefinden dieses Wirtschaftssubjektes ist.

welchen man aus dem Verkauf des Holzes nach einer vollständigen Rodung eines Waldes erzielt, mit den Erträgen anderer Formen der Waldnutzung (z.B. der Erholungsfunktion) zu addieren, da diese durch die Rodung zerstört würden.

Wie ermittelt man nun den ökonomischen Gesamtwert? Bei Gütern, die auf Märkten gehandelt werden, kann (unter bestimmten Bedingungen) der Marktpreis als Ausdruck des ökonomischen Gesamtwerts genommen werden. Bei der Ressource biologische Vielfalt stellt sich aber, wie bei den allermeisten natürlichen Ressourcen, das Problem, dass sie nicht oder nur partiell auf Märkten gehandelt wird. Zur Ermittlung der einzelnen Komponenten des ökonomischen Gesamtwerts bzw. des ökonomischen Gesamtwerts als Ganzem sind daher in der Literatur zur Bewertung natürlicher Ressourcen verschiedene Nichtmarktbewertungsverfahren vorgeschlagen worden, die prinzipiell auch für die Ermittlung des ökonomischen Gesamtwerts der Biodiversität herangezogen werden können (siehe GBA 1995a: 844-858).<sup>8</sup> Beispielhaft seien hier der Ersatzkostenansatz, der Erhaltungskostenansatz, der Produktionsfunktionsansatz, der hedonische Preisansatz, die Reisekostenmethode oder die kontingente Bewertungsmethode genannt.<sup>9</sup>

### **3. Ökonomische Ursachen des gegenwärtigen Verlustes der biologischen Vielfalt**

Das Aussterben von Arten ist erdgeschichtlich nichts Neues. Zu jeder Zeit sind Arten ausgestorben und gleichzeitig neue Arten entstanden. Neu ist aber die gegenwärtige hohe Geschwindigkeit des Artensterbens, die weit über dem langjährigen, aus Fossilienfunden belegten Wert liegt. Konservative Schätzungen der globalen Rate des Aussterbens verschiedener Gruppen von Spezies variieren zwischen dem 50 und dem 100-fachen des natürlichen Wertes (GBA 1995b: 2). In tropischen Regenwäldern liegt die Aussterberate noch beträchtlich höher. Dort übersteigt sie gegenwärtig die natürliche Rate um den Faktor 1.000 bis 10.000 (GBA 1995b: 2). Die weite Spannbreite der Schätzungen geht auf das beträchtliche Unwissen über die Anzahl der existierenden Arten zurück. Der gegenwärtig zu beobachtende Verlust an genetischer Vielfalt, Artenvielfalt und Ökosystemvielfalt ist damit nach Meinung vieler Biologen und Ökologen so dramatisch, dass er bereits als das „sechste Massenaussterben“ (WILSON 1992: 32, GBA 1995b: 22) in der Erdgeschichte bezeichnet wird. Die spezifischen Mechanismen, über die sich die Verringerung und der Verlust von Populationen, das Aussterben von Ar-

ten und die Transformation und Beeinträchtigung ökologischer Gemeinschaften vollziehen, sind die folgenden (GBA 1995b: 20):

- Verlust, Fragmentierung und Degradierung von Habitaten,
- Übernutzung,
- Einführung nicht-nativer Spezies,
- Verschmutzung von Boden, Wasser, Luft,
- Klimawandel.

Während in kontinentalen Ökosystemen Verlust, Fragmentierung und Degradierung von Habitaten der wichtigste Mechanismus ist, sind in ozeanischen Ökosystemen die Übernutzung durch Fischerei und Verschmutzung die wichtigsten Faktoren. Korallenriffe, die neben den tropischen Regenwäldern einen weiteren Brennpunkt biologischer Vielfalt bilden, sind besonders durch den Klimawandel betroffen. Auf Inseln sind die Einführung nicht-nativer Spezies und Habitatverlust gleichermaßen wichtig.

Die gerade genannten fünf Mechanismen sind die Entwicklungen, auf die sich der gegenwärtige Verlust an Biodiversität phänomenologisch zurückführen lässt. Die eigentlichen, diesen phänomenologischen Entwicklungen zugrunde liegenden Ursachen des Verlustes von Biodiversität lassen sich aus ökonomischer Sicht mit Hilfe des oben in Abschnitt 2 eingeführten Konzepts des ökonomischen Gesamtwerts analysieren. Diese ökonomische Analyse basiert auf der Identifizierung der jeweils in bestimmten Situationen für das Handeln von Individuen oder Gemeinschaften herrschenden Anreizstrukturen. Aus dieser ökonomischen Sichtweise heraus lassen sich die folgenden vier elementaren Ursachen für den Verlust an biologischer Vielfalt identifizieren (GBA 1995a: 830-832, MORAN & PEARCE 1997: 83-89):

- Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum,
- Marktversagen,
- Staatsversagen und
- fundamentales Unwissen.

Diese Ursachen werden im folgenden ausführlich diskutiert.

#### **3.1 Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum**

Die Ursache für den globalen Verlust an biologischer Vielfalt, die auf den ersten Blick die offensichtlichste zu sein scheint, ist das kontinuierliche Wirtschaftswachstum in den hoch industrialisierten Ländern und das ebenfalls fortschreitende, wenn auch mit abnehmenden Zuwachsraten, Bevölkerungswachstum in den Entwicklungsländern (EHRlich & HOLDREN 1971, HOLDREN & EHRlich 1974,

8) PEARCE & MORAN (1994: 48) betonen dagegen die beträchtlichen Schwierigkeiten, mit denen eine Übertragung dieser Methoden auf die Bewertung der biologischen Vielfalt verbunden ist.

9) Eine genaue Darstellung dieser Methoden würde den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen und unterbleibt daher. Für eine Einführung sei der Leser auf die umfangreiche, einschlägige Literatur verwiesen (z.B. HANLEY & SPASH 1993, POMMEREHNE 1987, SMITH 1996).

SMITH et al. 1995). Beide Entwicklungen führen einerseits zu zunehmender Nachfrage nach biologischen Ressourcen und begründen andererseits einen immer stärkeren Druck auf die Erschließung natürlicher Landflächen als Industriestandort, für Infrastruktur (Autobahnbau, Flughafenausbau, neue Hochgeschwindigkeitseisenbahnstrecken) oder als landwirtschaftliche Nutzfläche.

Dabei führt das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum scheinbar zwangsläufig und unvermeidbar zu einem Verlust an biologischer Vielfalt. Der Grund ist die fundamentale Konkurrenz in der Landnutzung: Land kann entweder in einem natürlichen Zustand belassen werden und damit Lebensraum verschiedener Populationen und Spezies sein, oder es kann für eine wirtschaftliche Nutzung erschlossen werden, was dann aber zu einem Verlust des Lebensraums für die ursprünglich dort lebenden Populationen führt und damit zu deren Aussterben. Da die Landfläche auf diesem Planeten begrenzt ist, führt Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum zwangsläufig dazu, dass die wirtschaftliche Nutzung des Landes aufgrund einer verstärkten Nachfrage einen höheren Wert zugesprochen bekommt, während der Wert als natürliche Schutzzone konstant bleibt. In der Abwägung zwischen den beiden Alternativen verschiebt sich das Gewicht also immer mehr zugunsten der wirtschaftlichen Nutzung. Als Folge dieser Abwägung wird immer mehr Land für eine wirtschaftliche Nutzung erschlossen, was wiederum einen fortgesetzten Verlust an biologischer Vielfalt zur Folge hat.

Doch diese Entwicklung ist nicht so zwangsläufig wie sie erscheinen mag (SWANSON 1995b). Denn in dem Abwägungsprozess zwischen den beiden fundamentalen Alternativen, Erhalt biologischer Vielfalt vs. wirtschaftliche Entwicklung, treten sehr viele Verzerrungen auf, die insgesamt dazu führen, dass diese Abwägung systematisch zuungunsten des Erhalts natürlicher Lebensräume verfälscht wird. Von manchen wird die These vertreten, dass der gegenwärtige Verlust an Biodiversität nicht so sehr durch das heutige Bevölkerungs- und Wirtschaftsniveau verursacht wird, als vielmehr durch diese Verzerrungen, die im folgenden detailliert dargestellt werden.

### 3.2 Marktversagen

Ein Standardergebnis der ökonomischen Theorie besagt, dass das Gleichgewicht auf einem freien Markt unter bestimmten Bedingungen sozial, d.h. gesamtgesellschaftlich, optimal ist in dem Sinne, dass man kein Individuum der Gesellschaft mehr besser stellen kann, ohne ein anderes Individuum zu verschlechtern. Eine der Bedingungen für dieses Ergebnis ist, dass keine externen Effekte vorliegen. Das bedeutet, dass alle Konsequenzen einer Transaktion im gegenseitigen Einvernehmen der Marktteilnehmer über den Marktpreis abgegolten werden. Liegen dagegen externe Effekte vor, d.h. reflektiert der Marktpreis nicht alle Konsequenzen einer Transaktion, dann kommt es

zu sogenanntem Marktversagen. In diesem Fall reflektiert der Marktpreis eines Gutes, wenn es denn überhaupt einen Markt für dieses Gut gibt, nicht den ökonomischen Gesamtwert des Gutes. Das Marktgleichgewicht ist dann auch nicht sozial optimal. Externe Effekte existieren bei der Allokation von biologischen Ressourcen aber in vielfältiger Weise.

#### **Externe Effekte aufgrund fehlender oder unvollständig definierter Eigentumsrechte**

Beispielsweise sind die Eigentumsrechte an vielen biologischen Ressourcen gar nicht oder nur unvollständig definiert (LERCH 1996, 1998). Im Fall des völligen Fehlens von Eigentumsrechten oder Nutzungsregeln (z.B. bei Fischpopulationen außerhalb der nationalen Küstenzonen) handelt es sich um eine Ressource mit freiem Zugang. Der Preis der Ressource liegt damit implizit bei Null. Ein potenzieller Nutzer muss für die Ressource selbst also nichts bezahlen; er hat lediglich Aufwendungen für die Extraktion der Ressource, z.B. beim Fischfang oder beim Holzeinschlag. Es ist unmittelbar einsichtig, dass eine Ressource, die – obwohl nützlich und knapp – den Preis Null besitzt, nicht effizient genutzt sondern tendenziell übernutzt wird. Ähnlich stellt sich die Situation für Ressourcen dar, die von einer begrenzten Anzahl von Individuen (z.B. von einer Dorfgemeinschaft oder den Einwohnern eines ganzen Landes) gemeinschaftlich genutzt werden, ohne dass dabei aber gleichzeitig verbindliche Nutzungsregeln vereinbart werden. Auch hier gibt es das Problem der Übernutzung, wie es von HARDIN (1968) als „Tragedy of the commons“ für das Beispiel der traditionellen Dorfweide beschrieben wurde. Für einzelne Nutzer einer solchen Ressource besteht immer ein Anreiz, die Ressource übermäßig zu nutzen, da die Vorteile vollständig einem selbst zu Gute kommen, während die sich aus der Übernutzung ergebenden Probleme von der gesamten Nutzergemeinschaft, und damit von jedem einzelnen Nutzer nur zu einem bestimmten Anteil, zu tragen sind.

Marktversagen, das sich aus der fehlenden oder unzureichenden Regelung von Eigentumsrechten ergibt, lässt sich im Prinzip durch Definition und Zuweisung von Eigentumsrechten korrigieren. Diese Logik steht auch hinter den im Rahmen der WTO und der UN-Konvention über biologische Vielfalt (BMU 1992) formulierten Überlegungen, Eigentumsrechte in Form von Patenten („Intellectual Property Rights“) auf tierische und pflanzliche Gene einzuführen und durchzusetzen (SEDJO & SIMPSON 1995, SWANSON & GÖSCHL 2000). Die Hoffnung ist, dass der Verlust an genetischer Vielfalt dadurch aufzuhalten ist, dass diese bislang freizugängliche und damit kostenlose Ressource einen angemessenen Wert dadurch erhält, dass die nun existierenden privaten Eigentümer der Ressource im eigenen Interesse schonend mit dieser knappen Ressource umgehen. Ein Beispiel dafür, dass die beabsichtigte Wirkung dieser Regelung tatsächlich ein-

tritt, ist der 1991 geschlossene Vertrag zwischen dem Pharmakonzern Merck und dem Nationalen Institut für Biodiversität (INBio) in Costa Rica (vgl. SEDJO & SIMPSON 1995: 84ff., LERCH 1998: 292f.),<sup>10</sup> dem in der Zwischenzeit zahlreiche weitere ähnliche Verträge gefolgt sind.

Eine vollständige Definition und Zuweisung von Eigentumsrechten reicht aber bei weitem nicht aus, um das Problem des Marktversagens bei der Allokation von Biodiversität zu lösen. Denn selbst bei vollständiger Regelung von Eigentumsrechten an biologischen Ressourcen bleiben viele externen Effekte noch bestehen, weil entsprechende Foren (Märkte) fehlen, auf denen sich ein Preis dieser Ressourcen bilden könnte, der alle Konsequenzen einer Transaktion mit dieser Ressource vollständig reflektiert. Dies betrifft vor allem den öffentlichen-Guts-Charakter von Biodiversität, das räumliche Auseinanderfallen von Kosten und Nutzen zu einem Zeitpunkt und das zeitliche Auseinanderfallen von Kosten und Nutzen. Diese externen Effekte werden im folgenden diskutiert.

### **Charakter als öffentliches Gut**

Während biologische Ressourcen teilweise den Charakter von normalen, privaten ökonomischen Gütern haben (z.B. als industrieller Rohstoff), weisen sie in zahlreichen anderen und wichtigen Aspekten der Nutzung den Charakter eines öffentlichen Gutes auf. Das bedeutet, dass (i) die Nutzung der Ressource durch ein Individuum die Nutzungsmöglichkeiten anderer Individuen nicht einschränkt (sogenannte *Nichtrivalität* im Konsum) und (ii) kein Individuum von der Nutzung der Ressource ausgeschlossen werden kann (sogenannte *Nichtausschließbarkeit* vom Konsum). Diese beiden Eigenschaften gelten insbesondere für den besonders wichtigen Beitrag der Biodiversität zur Fähigkeit von Ökosystemen, lebensnotwendige Dienstleistungen für den Menschen zu geben (z.B. Regulierung der Atmosphärenzusammensetzung oder des Wasserkreislaufs). Die Tatsache, dass ein Individuum den konstanten Sauerstoffgehalt der Atmosphäre zum Atmen nutzt, schränkt die Möglichkeit anderer Individuen, genau dasselbe zu tun, nicht ein. Weiterhin ist es nicht möglich, einzelne Individuen von der Nutzung des Sauerstoffs zum Atmen auszuschließen – zumindest ist es nur sehr schwer vorstellbar.

Die Allokation öffentlicher Güter über den Markt ist aber generell ineffizient (BERNHOLZ & BREYER 1984: Kap. 4), d.h. es kommt zu Marktversagen. Die Ursache liegt darin, dass aufgrund der Eigenschaft der Nichtrivalität im Konsum jedes einzelne Indivi-

duum einen Anreiz hat, sich als „Trittbrettfahrer“ zu verhalten, d.h. seine wahren Präferenzen für den Konsum des öffentlichen Gutes zu verschleiern und die von anderen Individuen bereitgestellte Menge des Gutes mitzukonsumieren, ohne sich an der Finanzierung zu beteiligen.

Die Konsequenz ist insgesamt eine Unterversorgung mit dem öffentlichen Gut durch den Markt im Vergleich zum sozialen Optimum. Diese Form von Marktversagen kann auch nicht durch eine geeignete Festlegung von privaten Eigentumsrechten an öffentlichen Gütern geheilt werden, da aufgrund des besonderen Charakters dieser Güter, vor allem aufgrund der Eigenschaft der Nichtausschließbarkeit vom Konsum, eine solche prinzipiell gar nicht möglich ist.

### **Intragenerationale räumliche externe Effekte: globaler Wert vs. lokale Märkte**

Viele der in Abschnitt 2 identifizierten Wertaspekte der biologischen Vielfalt sind globaler Art, z.B. der nachempfundene Gebrauchswert, der Vermächtniswert, der Existenzwert, aber auch der indirekte Gebrauchswert, der daraus resultiert, dass beispielsweise das komplexe Ökosystem des Amazonasregenswalds Wetter- und Klimamuster generiert und reguliert, die global wirksam werden. Das bedeutet, dass ein großer Teil dieses Wertes von Menschen empfunden wird, die nicht direkt am Ort der Ressource leben und auch an dortigen lokalen Entscheidungen, z.B. über die Umwandlung von Regenwald in Ackerfläche nicht mitwirken. Umgekehrt bedeutet das, dass in die lokale Entscheidung über die Form der Landnutzung in der Amazonasregion diese Werte nicht mit einfließen. Der Wert der Landnutzung durch Ackerbau wird also verglichen mit dem Wert der Landnutzung als Primärregenwald, so wie er von der lokalen Bevölkerung empfunden wird. Letzterer liegt sicher sehr viel niedriger als der global aggregierte ökonomische Gesamtwert. Der externe Effekt besteht also darin, dass bei einer möglichen Entscheidung, Primärregenwald abzuholzen, die Bewertungen vieler von dieser Transaktion Betroffenen, nämlich der nicht ortsansässigen Nutzer, gar nicht berücksichtigt werden. Gemessen am global zu ermittelnden ökonomischen Gesamtwert wird daher bei der lokalen Entscheidung der Wert der biologischen Vielfalt zu gering angesetzt. Tendenziell führt dies dazu, dass eine übermäßige Umwandlung von Primärregenwald in Ackerland stattfindet.

<sup>10</sup>Das Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) von Costa Rica, eine private, auf Empfehlung der Regierung von Costa Rica gegründete Non-Profit-Einrichtung, hat das Ziel, Costa Ricas biologischen Reichtum durch Förderung der intellektuellen und ökonomischen Nutzung zu bewahren. Die 1991 getroffene und 1994 sowie 1996 verlängerte Vereinbarung zwischen INBio und dem US-Pharmakonzern Merck Inc. sieht vor, dass Merck zu Beginn der jeweils zweijährigen Vertragslaufzeit eine einmalige Zahlung von 1 Million US\$ an INBio für die Arbeit des Instituts aber auch zur Erhaltung des natürlichen Regenwaldes leistet und dafür jährlich eine bestimmte Anzahl von Pflanzenproben aus dem Wald erhält. Merck leistet darüber hinaus einen bestimmten Prozentsatz vom Umsatz als Lizenzzahlungen an INBio aus dem kommerziellen Verkauf der Produkte, die aus diesen genetischen Ressourcen hervorgehen. Über die Höhe dieser Lizenzgebühren haben die Vertragsparteien Stillschweigen vereinbart. Sie dürften aber zwischen 1% und 5% vom Umsatz liegen.

### **Intergenerationale externe Effekte: heutige vs. zukünftige Kosten und Nutzen**

Ganz ähnlich verhält es sich zwischen heutigen und zukünftigen Nutzern der biologischen Vielfalt. Die heutigen Märkte berücksichtigen lediglich die heutigen Kosten und den heutigen Nutzen von Transaktionen. Insofern vernachlässigen sie den Teil des ökonomischen Gesamtwerts heutiger Transaktionen, der auf zukünftige Nutzer entfällt, da diese an heutigen Markt- und Entscheidungsprozessen nicht teilnehmen.

Insgesamt wirken im Fall der Biodiversität alle genannten externen Effekte in dieselbe Richtung. Der heutige Marktpreis für die wesentlichen Bestandteile der biologischen Vielfalt, der vielfach – wenn überhaupt – lediglich deren direkten Gebrauchswert reflektiert, liegt teilweise erheblich unter ihrem sozial optimalen Wert, der durch den (global und intertemporal aggregierten) ökonomischen Gesamtwert gegeben ist, der neben dem direkten Gebrauchswert auch den indirekten Gebrauchswert und Nicht-Gebrauchswerte einschließt. Damit liegen die privaten Kosten beispielsweise der Umwandlung von Primärregenwald in Ackerland weit unter den wahren Kosten, die der gesamten Gesellschaft durch den Verlust des Regenwaldes entstehen. Umgekehrt liegt damit der private Gewinn, der sich durch die Umwandlung von Primärregenwald in Ackerland erzielen lässt weit über dem Gewinn für die gesamte Gesellschaft. Als Folge des am sozialen Optimum gemessenen zu niedrigen Marktpreises kommt es also auf freien Märkten zu einer zu hohen Nutzung und damit zu einem übermäßigen Verlust an biologischer Vielfalt.

### **3.3 Staatsversagen**

Viele der gerade unter dem Stichwort Marktversagen genannten Probleme ließen sich (zumindest in der ökonomischen Theorie) durch geeignete regulierende Eingriffe in die Marktprozesse lösen. Beispielsweise könnte man daran denken, dass die bei lokalen Entscheidungen nicht berücksichtigten globalen Kosten des Verlustes an Primärregenwald (in Form entgenerer Nutzung) durch eine Steuer auf Tropenholz in geeigneter Höhe kompensiert würden. Die Steuer müsste gerade so bemessen sein, dass sie die sozialen Kosten der Abholzung, die bislang nicht im Marktpreis enthalten sind, abdeckt. Die Verantwortung für solche Eingriffe liegt bei den einzelnen Staaten bzw. bei der internationalen Staatengemeinschaft. Unterbleibt ein solcher regulierender Eingriff zur Korrektur eines Marktversagens, liegt ein Staatsversagen vor.

Nicht nur ist heute Staatsversagen bei Umweltproblemen weit verbreitet, weil regulierende Eingriffe zur Korrektur von Marktversagen weitgehend unter-

bleiben oder in nicht ausreichendem Ausmaß durchgeführt werden. Vielmehr verstärken manche Staaten das Marktversagen noch zusätzlich durch Maßnahmen, die zur Wirkung haben, dass der Marktpreis noch weiter vom sozial optimalen Preis abweicht als ohne Staatseingriff. Beispiele sind staatliche Prämien für die „Urbarmachung von Land“ wie sie in Brasilien für die Abholzung von Primärregenwald gezahlt werden (BINSWANGER 1991) oder die Subventionierung der Hochseefischerei durch die EU.

Eine weitere Ursache des gegenwärtigen dramatischen Verlustes an Biodiversität besteht in der extremen Einkommens- und Vermögensungleichheit zwischen den industrialisierten OECD-Ländern des Nordens und den sich entwickelnden Ländern auf der Südhalbkugel; genauer: in der Armut in ländlichen Gegenden der armen Entwicklungsländer (DASGUPTA 1993, 1995). Der allergrößte Teil der heute bekannten biologischen Vielfalt befindet sich in den ärmsten Ländern der Welt, nämlich in den äquatorialen Gebieten Südamerikas, Afrikas und Südasiens.<sup>11</sup> Während für uns in Deutschland der Schutz von Biodiversität, beispielsweise durch die Einrichtung von Schutzgebieten, einen im Vergleich zu unserer gesamten wirtschaftlichen Tätigkeit – 1999 betrug das BIP der Bundesrepublik Deutschland 3.700 Milliarden DM (IW 2000: 26) – sehr geringen Verzicht auf (land- oder industrie-) wirtschaftliche Nutzung bedeutet, stellt sich für die ländliche Bevölkerung in den ärmsten Ländern der Welt das Entscheidungsproblem Naturschutz vs. wirtschaftliche Nutzung gar nicht. Ein Verzicht auf landwirtschaftliche Nutzung als einzige Einkommens- und Nahrungsquelle käme dem Verhungern gleich und steht damit natürlich nicht zur Diskussion. Insofern man es als eine Aufgabe der Politik ansieht, internationale (Verteilungs-) Gerechtigkeit zu schaffen, liegt hier ebenfalls eine Form von Staatsversagen vor.

### **3.4 Fundamentales Unwissen**

Bislang war von den Ursachen des Verlustes an biologischer Vielfalt die Rede, die dazu führen, dass der implizit als bekannt vorausgesetzte ökonomische Gesamtwert dieser Ressource in Allokationsentscheidungen nicht angemessen berücksichtigt wird. Allerdings ist der ökonomische Gesamtwert der Biodiversität tatsächlich gar nicht genau bekannt. Auch wenn die Hoffnung besteht, dass die Forschung Fortschritte bei den Methoden zur Ermittlung der einzelnen Komponenten dieses Wertes erzielt, so wird doch ein ganz wesentliches Unwissen deswegen bestehen bleiben, weil der ökonomische Gesamtwert u.a. von den zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten und von dem indirekten Nutzen der Ressource bestimmt wird. Gerade hinsichtlich dieser beiden Nutzungsmöglichkei-

11) Die tropischen Regenwälder beheimaten schätzungsweise 50%, oder sogar mehr, aller existierenden Spezies auf nur 6% der Landoberfläche der Erde (MYERS 1995: 111). Gleichzeitig werden die tropischen Wälder gegenwärtig schneller zerstört als jedes andere großflächige Biom.

ten von Biodiversität besteht aber ein beträchtliches fundamentales, d.h. nicht reduzierbares Unwissen (vgl. FABER & PROOPS 1998: Kap. 7). Beispielsweise ist es heute eine noch weitgehend offene Frage, welche Rolle Biodiversität für die Stabilität von Ökosystemen oder für die Bereitstellung einzelner von den Menschen geschätzten Ökosystemdienstleistungen (z.B. Regulierung des Wasser-, Kohlenstoff oder Stickstoffkreislauf etc.) spielt. Aufgrund der hohen Komplexität von Ökosystemen ist auch zu vermuten, dass dieses Unwissen selbst durch intensive Forschung nicht so weit aufgehoben werden kann, dass zukünftig genaue Vorhersagen darüber möglich sind, wie sich die Reduzierung einer einzelnen oder mehrerer Populationen auf das Gesamtgefüge des Ökosystems und die von ihm bereitgestellten Dienstleistungen für den Menschen auswirken. Dies wäre aber erforderlich, wollte man diese Rolle von Biodiversität bewerten.

Damit stellt sich die Frage, welche Bedeutung das Konzept des ökonomischen Gesamtwerts überhaupt als Grundlage für Entscheidungen hat, wenn einzelne Komponenten davon fundamentalem Unwissen unterliegen. Handelt es sich bei diesem Konzept dann nicht bloß um eine leere konzeptionelle Hülle? Aus der Erkenntnis, dass wir in diesem Aspekt bei der Nutzung von Biodiversität mit fundamentalem Unwissen konfrontiert sind, könnte man daher auch den Schluss ziehen, dass die Gesellschaft vorsichtshalber eine Politik des „Safe-Minimum-Standards“ (CIRIACY-WANTRUP 1965) anwenden sollte, d.h. Schranken an Habitatzerstörung setzen sollte, die auf jeden Fall einen irreversiblen Verlust von wesentlichen Ökosystemdienstleistungen vermeidet.

#### 4. Bedeutung der ökonomischen Bewertung für den Schutz der biologischen Vielfalt

Der ökonomische Wert der biologische Vielfalt resultiert daraus, dass sie menschliche Bedürfnisse befriedigt und gleichzeitig knapp ist. Genauer gesagt, sind die Mittel zu ihrem Schutz knapp. Bezüglich der Auswirkungen dieser Knappheit für die Realisierung von Schutzmaßnahmen kommt der für das Umweltprogramm der Vereinten Nationen UNEP verfasste Bericht *Global Biodiversity Assessment* in seiner Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger zu folgendem Schluss (GBA 1995b: 2):

*„Because of the world-wide loss or conversion of habitats that has already taken place, tens of thousands of species are already committed to extinction. It is*

*not possible to take preventive action to save all of them.“*

Diese Schlussfolgerung setzt einen deutlichen Kontrapunkt zu jenen naiven Vorstellungen, die bis heute die Arbeit vieler Umweltverbände und auch weitgehend die Umweltgesetzgebung<sup>12</sup> beherrschen und die davon ausgehen, dass es Ziel des Natur- und Artenschutzes sein sollte, *alle* gefährdeten Arten vor der Ausrottung zu bewahren. Wenn es aber tatsächlich gar nicht möglich ist, *alle* heute an der Schwelle zur Ausrottung stehenden Arten vor dem Aussterben zu retten, dann stellt sich die Frage: Welcher Teil der Biodiversität soll bewahrt werden? Dabei geht es vor allem um zwei Aspekte, die Abwägungen auf unterschiedlichen Ebenen betreffen:

- (i) Wie wichtig ist der Schutz einer bestimmten bedrohten Art im Vergleich zu einer anderen?
- (ii) Wie wichtig ist der Schutz biologischer Vielfalt im Vergleich zu anderen gesellschaftlichen Zielen?

Es ist klar, dass die Antwort auf diese Fragen eigentlich nur unbefriedigend und unerfreulich sein kann. Impliziert sie doch, dass auf jeden Fall ein Teil der heute existierenden biologischen Vielfalt irreversibel verloren gehen wird. Die entsprechenden Entscheidungen müssen aber so oder so getroffen werden. Nach welchen Kriterien sollten sie dann getroffen werden?

##### 4.1 Vergleich verschiedener Schutzziele

Ökonomische Überlegungen spielen bislang im Artenschutz eine eher untergeordnete Rolle. Viele Naturwissenschaftler und Ökologen betrachten die Methoden und Gedankenwelt von Ökonomen mit großem Misstrauen. („Ist nicht letztlich die Ökonomie Schuld an den meisten gegenwärtigen Umweltproblemen?“). Auch die Gesetzgebung im Bereich des Natur- und Artenschutzes sieht bei Entscheidungen über das Auflisten gefährdeter Arten, z.B. in der sogenannten „Roten Liste“, oder bei der Entwicklung von Schutzmaßnahmen für gefährdete Arten bislang ausschließlich den Rückgriff auf ökologische und naturwissenschaftliche Kompetenz vor. Ökonomische Überlegungen sind hier nicht vorgesehen und werden, wenn sie überhaupt thematisiert werden, als den Zielen des Natur- und Artenschutzes diametral entgegenstehend behandelt, was z.B. in dem vielbeschworenen angeblichen „Konflikt zwischen Ökonomie und Ökologie“ zum Ausdruck kommt.<sup>13</sup> Dass Arten unterschiedlich nützlich sind, aus ökologischer Sicht oder auch gemessen an ihrem ökonomischen

12) Diese Vorstellung wird beispielsweise im US-amerikanischen *Endangered Species Act* von 1973 explizit formuliert. Vgl. BROWN & SHOGREN (1998) für eine ökonomische Analyse dieses Gesetzeswerkes und seiner Umsetzung.

13) Als der US-Kongress 1973 die erste Version des *Endangered Species Act* in Kraft setzte, machte er explizit deutlich, dass ökonomische Kriterien weder für die Auflistung noch für die Ausweisung von kritischen Habitaten heranzuziehen seien (BROWN & SHOGREN 1998: 4). Der oberste Gerichtshof der USA bestätigte diese Sicht 1978 in einem Grundsatzurteil (*Tennessee Valley Authority v. Hill*, 437 U.S. 187, 184 (1978)): „the value of endangered species is incalculable“ und „it is clear from the Act’s legislative history that Congress intended to halt and reverse the trend toward species extinction – whatever the cost“.

Gesamtwert, und dass der wirksame Schutz von Arten mit je nach Art unterschiedlich hohen Kosten verbunden sein kann, spielt beispielsweise für die Aufnahme in die „Rote Liste“ der gefährdeten Arten keine Rolle. Eine Art, deren Schutz sehr teuer ist und die dennoch nur geringe Nützlichkeit hat, wird hierbei genau so behandelt wie eine Art mit sehr hohem ökonomischen Gesamtwert und relativ geringen Kosten der Bewahrung.

Während die offizielle Rhetorik des Arten- und Naturschutzes von der Absicht ausgeht, alle gefährdeten Arten zu schützen, und die Bildung von Prioritäten nicht vorsieht, machen es Zeit- und Budgetbeschränkungen der zuständigen Vollzugsbehörden dennoch unumgänglich, solche Prioritäten – wenn auch häufig unausgesprochen – zu setzen. METRICK & WEITZMAN (1998) haben für die USA untersucht, von welchen Kriterien die Entscheidung des *Office of Endangered Species*, eine Art als gefährdet einzustufen, sowie die öffentlichen Ausgaben zwischen 1989 und 1993 für den Schutz einzelner Arten<sup>14</sup> tatsächlich abhängen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass als erklärende Variablen für die Aufnahme einer Art in die Liste gefährdeter Arten vor allem der Gefährdungsgrad, die Verschiedenartigkeit dieser Art von anderen Arten, d.h. ihre taxonomische Einzigartigkeit, und ihre Größe wichtig waren. Dementsprechend rangieren Säugetiere und Fische vor Amphibien und Reptilien. Spinnen und Insekten, die was die Zahl der vom Aussterben bedrohten Arten angeht als Gruppe am stärksten bedroht sind, gibt es auf der Liste gefährdeter Arten nur ganz wenige.

Im Unterschied zur Auflistung als gefährdete Art korrelieren die Ausgaben für Schutzmaßnahmen negativ (!) und signifikant mit dem Gefährdungsgrad einer Art. Positiv und signifikant ist dagegen die Korrelation mit der Körperlänge des Tiers gemessen in Zentimeter. Daneben korrelieren als erklärende Variablen positiv mit den Schutzausgaben der Status einer Art als Säugetier oder Vogel, negativ dagegen der Status als Amphibium oder Reptil. METRICK & WEITZMAN (1998: 32) erklären dieses Ergebnis, insbesondere die zunächst überraschende negative Korrelation von Schutzausgaben und Gefährdungsgrad, mit der Nichtberücksichtigung von (unbeobachtbaren) charismatischen Faktoren, die negativ mit dem Gefährdungsgrad korrelieren. Sie sprechen in diesem Zusammenhang von der Zugehörigkeit zur sogenannten „charismatischen Megafauna“ – große und im öffentlichen Bewusstsein populäre Tiere – die offensichtlich für die Bereitschaft, Geld zum Schutz dieser Art auszugeben, ganz entscheidend ist. Über

50% der Ausgaben wurden für nur zehn Arten getätigt (darunter das Wappentier der USA, der Weißkopfseeadler, und der Grizzlybär). Insgesamt 95% der Ausgaben waren zugunsten von Wirbeltieren. Diese Zahlen legen nahe, dass bei der Entscheidung eine gefühlsmäßig empfundene Identifikation mit bestimmten Tieren wichtiger war als rationale Überlegungen auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und anhand nachvollziehbarer Kriterien.

Wenn es aber darum geht, Abwägungen zwischen verschiedenen Alternativen bezüglich ihrer relativen Wichtigkeit und Erwünschtheit vorzunehmen, und Prioritäten zu setzen, dann kann hierbei das Instrumentarium der Ökonomik sehr hilfreich sein. Denn per Definitionem (vgl. Abschn. 1.1) ist die Ökonomik die Wissenschaft, die sich mit der aus Sicht der Gesellschaft optimalen Verwendung knapper Mittel beschäftigt. In ökonomischer Sichtweise ist die Bewertung des Aufwandes und der ökologischen wie ökonomischen Konsequenzen, die mit den verschiedenen Alternativen einhergehen, ein Mittel, um die relative Erwünschtheit der verschiedenen Alternativen aus Sicht der Gesellschaft festzustellen. Ökonomische Bewertung kann somit dazu beitragen, dass umweltpolitische Entscheidungen bezüglich des Schutzes biologischer Vielfalt auf einer rationalen und nachvollziehbaren Grundlage getroffen werden (vgl. z.B. DASGUPTA 2000, WEIKARD 1998).<sup>15</sup>

Insbesondere könnte eine Bewertung verschiedener Arten anhand des ökonomischen Gesamtwerts, der ja sehr weit gefasst ist und u.a. im Prinzip auch die Funktion dieser Art innerhalb eines Ökosystems berücksichtigt, zur Aufstellung einer „Rangliste“ von zu schützenden Arten verwendet werden, die dann eine sachlich begründete Priorität im Schutz unterschiedlicher Arten widerspiegelt. Neben dem Wert einer Art müssten in einer solchen Priorisierung natürlich auch die Kosten von bestimmten Schutzmaßnahmen für eine Art und die mit der Maßnahme verbundene Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit berücksichtigt werden. WEITZMAN (1998) und METRICK & WEITZMAN (1998) haben auf der Grundlage solcher Überlegungen (und unter Verwendung einer formalen ökonomischen Analyse) das folgende simple Kriterium für die Ermittlung des Ranges einer Art abgeleitet. Sei  $V_i$  der ökonomische Gesamtwert von Spezies  $i$ ,  $\Delta P_i$  die durch eine bestimmte Schutzmaßnahme mögliche Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit dieser Art und  $C_i$  die Kosten dieser Maßnahme. Dann ist eine Rangliste, in der die verschiedenen Spezies anhand des Wertes von

14) In diesem Fünfjahreszeitraum wurden insgesamt 914 Mio. US\$ für den Schutz von insgesamt 229 Wirbeltierarten ausgegeben. In der Untersuchung wurden nur die Ausgaben berücksichtigt, die einzelnen Arten zugerechnet werden konnten.

15) FROMM & BRÜGGEMANN (1999) vergleichen aus ökologischer und ökonomischer Sicht den auf Nutzenstiftung basierenden Bewertungsansatz, so wie er auch in diesem Aufsatz dargestellt wurde, mit dem vor allem von WEITZMAN (1992, 1993, 1998) popularisierten „Diversitätsansatz“.

$R_i = V_i \times (\Delta P_i / C_i)$  geordnet werden, aus ökonomischer Sicht optimal.<sup>16</sup> Eine Art erhält nach diesem Kriterium also eine umso höhere Schutzpriorität, je höher ihr ökonomischer Gesamtwert ist, je stärker ihre Überlebenswahrscheinlichkeit durch eine Schutzmaßnahme erhöht werden kann und je geringer die Kosten für diese Schutzmaßnahme sind.

Natürlich ist die Erstellung einer Rangfolge der zu schützenden Arten anhand eines derart simplen ökonomischen Kriteriums mit einer Reihe von Problemen verbunden. Die quantitative Ermittlung des ökonomischen Gesamtwertes einer Art stellt dabei vermutlich die größte Schwierigkeit dar. Dennoch erlaubt das vorgeschlagene Kriterium, die Aufstellung von Prioritäten im Artenschutz auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen, und ist insofern dem gegenwärtig weit verbreiteten Vorgehen überlegen, das die ohnehin notwendige Priorisierung lediglich implizit vornimmt.

#### 4.2 Verhältnis von Natur- und Artenschutz zu anderen gesellschaftlichen Zielen

Wenn es um die Frage geht, in welchem Verhältnis die Bewahrung biologischer Vielfalt zu anderen gesellschaftlichen Zielen steht bzw. stehen sollte, so ist die wesentliche ökonomische Grundüberlegung, dass die Erhaltung von Biodiversität vor allem den Schutz natürlicher Lebensräume, d.h. entsprechender Landflächen, erfordert. Land kann aber auch für alternative Zwecke genutzt werden, z.B. als landwirtschaftliche Fläche, Industriestandort oder für Infrastruktur, und steht nur in begrenzter Menge zur Verfügung. Wichtig ist daher, eine Entscheidung zu treffen, welcher Anteil des Landes für den Naturschutz genutzt wird und welcher Anteil für andere Verwendungen. Dasselbe gilt für die Verwendung öffentlicher oder privater Finanzmittel. Überspitzt formuliert geht es hier also um die Frage, wie wichtig ist uns der Erhalt der biologischen Vielfalt im Vergleich zur Einrichtung von Kindergartenplätzen, Abhilfe beim Pflegenotstand, Verbesserung der Leistungen des öffentlichen Gesundheitssystems, etc.? Auch wenn zu vermuten ist, dass gegenwärtig der Verlust an biologischer Vielfalt so dramatisch ist, dass die Gesellschaft bei Zugrundelegung des ökonomischen Gesamtwertes der Biodiversität bereit wäre, zusätzliche Mittel für ihren Schutz aufzuwenden, so ist doch ebenfalls klar, dass prinzipiell diese Abwägung auch einmal zu dem Ergebnis führen könnte, dass die Gesellschaft nicht mehr bereit ist, weitere Mittel für den Schutz biologischer Vielfalt aufzuwenden, weil andere Ziele als wichtiger eingeschätzt werden. D.h. eine ökonomische Kosten-Nutzen-Analyse kann zu dem Ergebnis führen, dass es optimal ist, einen bestimmten Teil der ökonomischen Vielfalt nicht zu schützen, sondern vielmehr dem Aussterben zu überlassen und die dabei einge-

sparten Mittel zur Erreichung anderer gesellschaftlicher Ziele aufzuwenden.

#### 5. Fazit und Ausblick: Welchen Beitrag kann die Ökonomik zur Erhaltung der biologischen Vielfalt leisten?

Die Ökonomik ist – wie jede Wissenschaft – durch ihr Erkenntnisinteresse und ihre Methodik begrenzt. Insbesondere ist der ökonomische Wertbegriff instrumentell, anthropozentrisch, (methodologisch) subjektiv und kontextabhängig (vgl. Abs. 2). Trotz dieser Begrenztheit kann die Ökonomik wertvolle Beiträge zur Untersuchung des Verlusts und zur Erhaltung der biologischen Vielfalt leisten (vgl. BROWN & SHOGREN 1998: 15-19).

Erstens erlaubt die ökonomische Sichtweise ein detailliertes und gutes Verständnis der fundamentalen Mechanismen und Anreizstrukturen, die dem gegenwärtigen dramatischen Verlust an biologischer Vielfalt zugrunde liegen (vgl. Abs. 3). Neben dem Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum sind hierfür vor allem verschiedene Formen des Markt- und Staatsversagens ursächlich, die alle dazu führen, dass der Marktpreis von heute auf Märkten gehandelten biologischen Ressourcen deren ökonomischen Gesamtwert nicht angemessen wiedergibt. Aber auch fundamentales Unwissen über mögliche zukünftige Nutzungen der biologischen Vielfalt und über die Rolle der Biodiversität für die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen spielt eine Rolle.

Zweitens kann die Ökonomik einen methodischen Rahmen zur Verfügung stellen, in dem man die Frage ‚Welche Arten und Populationen sollen in welchem Umfang geschützt werden?‘ diskutieren und auf der Grundlage wissenschaftlicher Kriterien entscheiden kann (vgl. Abs. 4). Dieser Rahmen basiert auf der Bewertung und dem Vergleich der verschiedenen alternativen Handlungsoptionen. Sie ermöglicht damit eine Priorisierung von Schutzzielen. Auch wenn die ökonomische Bewertung der biologischen Vielfalt mit großen konzeptionellen und methodischen Problemen behaftet ist, und auch wenn die Vorstellung, dass die Gesellschaft eine Entscheidung darüber zu treffen hat, welche Arten vor dem Aussterben gerettet werden und welche nicht, beunruhigend sein mag, so führt doch kein Weg daran vorbei, eine Antwort auf diese Frage zu finden. Denn die zur Verfügung stehenden Mittel (Geld, Landfläche, Arbeitszeit etc.) sind begrenzt und die Einrichtung von Schutzgebieten ist mit teilweise recht hohen (Opportunitäts-)Kosten verbunden, so dass auf keinen Fall alle heute vom Aussterben bedrohten Arten gerettet werden können.

16) WEITZMAN (1998: 1280) und METRICK & WEITZMAN (1998: 26) verwenden anstelle des ökonomischen Gesamtwertes  $V_i$  die Summe  $D_i + U_i$  aus direktem Nutzen und Unterschiedlichkeit/Einzigartigkeit der Spezies  $i$  im Vergleich zu anderen Spezies. Insofern aus letzterer Eigenschaft ein indirekter Gebrauchswert oder ein Options-/Versicherungswert resultiert sind aber beide Komponenten im ökonomischen Gesamtwert enthalten.

Drittens ist die Frage ob und welche Arten gefährdet oder vom Aussterben bedroht sind bzw. in naher Zukunft sein werden nicht nur eine ökologische, sondern auch eine ökonomische Frage. Denn neben ökologischen Sachverhalten beeinflussen auch ökonomische Entwicklungen die Wahrscheinlichkeit einer Art, auszusterben. Diese Wahrscheinlichkeit ist größer für Arten, die in Konkurrenz zu ökonomischer Entwicklung stehen, welche beispielsweise Habitatfragmentierung zur Folge hat (z.B. die Population von Riesentrappen in Brandenburg, durch deren Siedlungsgebiet die ICE-Strecke Hannover-Berlin gebaut wurde); sie ist kleiner für Arten, für die intensive Schutzmaßnahmen unternommen werden. Da die Entscheidung zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Schutzmaßnahmen ganz wesentlich von ökonomischen Überlegungen bestimmt ist, gilt dies auch für die Wahrscheinlichkeiten des Aussterbens der verschiedenen Arten. Der Grad der Gefährdung einer Art ist also keine rein ökologische Größe, die alleine aufgrund naturwissenschaftlicher Untersuchungen angemessen bestimmt werden könnte, sondern sie ist ganz wesentlich auch durch ökonomische Faktoren geprägt.

Viertens ist die Ökonomik unerlässlich, wenn es darum geht, bestimmte Schutzziele auf kosteneffektive Weise zu erreichen. Das bedeutet, dass zur Erreichung eines Ziels (z.B. Erhalt der Population von Riesentrappen in Brandenburg) von all den Maßnahmen, die prinzipiell geeignet sind, das Ziel auch tatsächlich zu erreichen (z.B. Verlegung der ICE-Trasse, Brücken über die Trasse, Unterführungen unter der Trasse, Einrichtung eines Ausgleichshabitats an anderem Ort), diejenige gewählt wird, die mit den geringsten Kosten verbunden ist.

Was den ersten und letzten Punkt angeht, so ist hier die Ökonomik sozusagen auf ihrem „angestammten Terrain“ und bereits jetzt besonders stark, auch wenn es um die Behandlung eines ökologischen Problems wie des Verlusts an biologischer Vielfalt geht. In Bezug auf den zweiten und dritten Punkt steckt die Forschung noch in den Grundzügen. Ökonomische Beiträge in diese Richtung sind bislang eher konzeptioneller Art, und angewandte Beiträge offenbaren eher die Probleme als konkrete Lösungen. Dennoch liegt gerade hier meiner Meinung nach ein sehr großes Potenzial, das vor allem in einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Ökologen und Ökonomen fruchtbar gemacht werden kann.

### **Zusammenfassung**

Die Ökonomik analysiert die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse mit knappen Mitteln. Die biologische Vielfalt befriedigt in vielfältiger Weise menschliche Bedürfnisse. Gleichzeitig ist sie ein knappes Gut. Aus diesen beiden Gründen kann man sie als ökonomisches Gut auffassen und ihr einen ökonomischen Wert zusprechen (vgl. Abs. 1). Im Konzept des

ökonomischen Gesamtwerts kommen die unterschiedlichen Nutzungs- und Wertschätzungsaspekte der Ressource Biodiversität zum Ausdruck (vgl. Abs. 2). Insbesondere umfasst der ökonomische Gesamtwert nicht nur den kommerziellen Wert im Sinne des direkten Gebrauchswerts von auf Märkten gehandelten Produkten, sondern er umfasst auch den Wert der indirekten Nutzung, den Optionswert einer potenziellen zukünftigen Nutzung und den von jeder tatsächlichen oder potenziellen, direkten oder indirekten Nutzung unabhängigen Existenzwert. Mit Hilfe des Konzepts des ökonomischen Gesamtwerts lassen sich die fundamentalen Ursachen des gegenwärtigen Verlusts an Biodiversität identifizieren (vgl. Abs. 3): Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Marktversagen, Staatsversagen und fundamentales Unwissen. Weiterhin kann die Ökonomik mit dem Bewertungsansatz einen methodischen Rahmen zur Verfügung stellen, in dem man die Frage ‚Welche Arten und Populationen sollen in welchem Umfang geschützt werden?‘ diskutieren und auf der Grundlage wissenschaftlicher Kriterien entscheiden kann (vgl. Abs. 4). Dies ermöglicht eine Priorisierung von Schutzziele.

### **Summary**

Economics analyses the use of scarce means for the satisfaction of human needs. Biodiversity satisfies human needs in a variety of ways. At the same time, it is a scarce good. Therefore, one can conceive biodiversity as an economic good which has economic value. The problems of biodiversity loss and biodiversity conservation, thus, include an economic dimension (cf. section 1). The concept of total economic value comprises the different uses and value aspects of biodiversity as a resource (cf. section 2). In particular, its total economic value does not only comprise the direct use value, which shows in the market price, but it also includes the indirect use value, the option value associated with potential future use, and the existence value which is independent of all actual or potential direct or indirect use. Based on the concept of total economic value one can identify the fundamental causes of the currently observed biodiversity loss as (cf. section 3) population and economic growth, market failure, government failure and fundamental ignorance. Furthermore, the concept offers a conceptual framework for discussing and answering on scientific grounds the question ‘Which species and populations should be protected and to what extent should they be protected?’ (cf. section 4). This allows to prioritize different protection goals.

### **Danksagung**

Ich bedanke mich bei FRANK SCHWEGLER, dessen Diplomarbeit „Biodiversität als ökonomisches Gut“ (Universität Heidelberg, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, 1999) mir wertvolle Anregungen für die Aus-

einandersetzung mit diesem Thema gegeben hat. Die Abschnitte 1 und 2 dieses Aufsatzes folgen Teilen dieser Arbeit. Dank auch an die Teilnehmer des interdisziplinären Workshops „Biodiversität als ökologische und ökonomische Ressource“ (Oberflockenbach/Odenwald, Juli 2000) für die stimulierenden Diskussionen sowie an die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG für die finanzielle Förderung dieses Workshops im Rahmen des Graduiertenkollegs Umwelt- und Ressourcenökonomik.

## Literatur

- ARNDT, U.; W. NOBEL & B. SCHWEIZER (1987): Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. Ulmer, Stuttgart.
- ARROW, K. J. & A. C. FISHER (1974): Preservation, uncertainty and irreversibility. *Quarterly Journal of Economics* 88: 312-319.
- BARBIER, E. B.; J. C. BURGESS & C. FOLKE (1994): *Paradise Lost? The Ecological Economics of Biodiversity*. Earthscan Publications, London.
- BERNHOLZ, P. & F. BREYER (1984): *Grundlagen der Politischen Ökonomie*. J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen.
- BINSWANGER, H. C. (1991): Brazilian policies that encourage the deforestation in the Amazon. *World Development* 19: 821.
- BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT) (1992): Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro – Dokumente: Klimakonvention, Konvention über die biologische Vielfalt, Rio-Deklaration, Walderklärung. Bonn.
- BOND, W. J. (1993): Keystone species. In: SCHULZE UND MOONEY (1993: 238-253).
- BROWN, G. M. & J. F. SHOGREN (1998): Economics of the endangered species act. *Journal of Economic Perspectives* 12(3): 3-20.
- CIRIACY-WANTRUP, S. V. (1965): A safe minimum standard as an objective of conservation policy. In: I. BURTON UND R. KATES (eds.) *Readings in Resource Management and Conservation*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 45-70.
- DAILY, G. C. (1997a): Introduction: What are ecosystem services? In: DAILY (1997b: 1-10).
- (ed.) (1997b): *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Islands Press, Washington.
- DASGUPTA, P. (1993): *An Inquiry into Well-Being and Destitution*. Clarendon Press, Oxford.
- (1995): Population, poverty, and the local environment. *Scientific American* 272(2): 40ff.
- (2000): Valuing biodiversity. In: LEVIN (2000).
- EHRLICH, P. R. & A. H. EHRLICH (1981): *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, New York.
- (1992): The value of biodiversity. *Ambio* 21: 219-226.
- EHRLICH, P. R. & J. P. HOLDREN (1971): Impact of population growth. *Science* 171: 1212-1217.
- FABER, M. & J. L. R. PROOPS (1998): *Evolution, Time, Production and the Environment*. 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin.
- FARNSWORTH, N. R. (1988): Screening plants for new medicines. In: WILSON (1988: 83-97).
- FISHER, A. C. & W. M. HANEMANN (1986): Option value and the extinction of species. In: V. K. SMITH (ed.) *Advances in Applied Microeconomics*, JAI Press, Greenwich, pp. 169ff.
- FROMM, O. (2000): Ecological structure and functions of biodiversity as elements of its total economic value. *Environmental and Resource Economics* 16: 303-328.
- FROMM, O. & R. BRÜGGEMANN (1999): „Biodiversität“ und „Nutzenstiftung“ als Bewertungsansätze für ökologische Systeme, *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung*, Sonderheft 10/1999 (Umweltrisikopolitik): 32-49.
- [GBA] WATSON, R. T.; V. H. HEYWOOD et al. (eds.) (1995a): *Global Biodiversity Assessment*. (Published for the United Nations Environment Programme) Cambridge University Press, Cambridge.
- [GBA] WATSON, R. T., V. H. HEYWOOD, I. BASTE, B. DIAS, R. GÁMEZ, T. JANETOS, W. REID, G. RUARK (eds.) (1995b): *Global Biodiversity Assessment. Summary for Policy-Makers*. (Published for the United Nations Environment Programme.) Cambridge University Press, Cambridge.
- GEISENDORF, S. et al. (1998): Die Bedeutung des Naturvermögens und der Biodiversität für eine nachhaltige Wirtschaftsweise: Möglichkeiten und Grenzen ihrer Erfassbarkeit und Wertmessung. (Hrsg. Umweltbundesamt) Erich Schmidt, Berlin.
- GROOMBRIDGE, B. (ed.) (1992): *Global Biodiversity: Status of the World's Living Resources. A Report Compiled by the World Conservation Monitoring Centre*. Chapman & Hall, London.
- HAMPICKE, U. (1991): *Naturschutzökonomie*. Ulmer, Stuttgart.
- (1993): Möglichkeiten und Grenzen der monetären Bewertung von Natur. In: H. SCHNABEL (Hrsg.), *Ökointegrative Gesamtrechnung*. De Gruyter, Berlin.
- HANEMANN, W. M. (1989): Information and the concept of option value. *Journal of Environmental Economics and Management* 16: 23-27.
- HANLEY, N. & C. SPASH (1993): *Cost-Benefit Analysis and the Environment*. Edward Elgar, Aldershot.
- HARDIN, G. (1968): The tragedy of the commons. *Science* 162: 1243-1248.
- HEINTZ, A. & G. A. REINHARD (1993): *Chemie und Umwelt*. 3., neubearbeitete Auflage. Vieweg, Braunschweig und Wiesbaden.
- HENRY, C. (1974): Investment decisions under uncertainty: the irreversibility effect. *American Economic Review* 64: 1006-1012.
- HILL, B. (1997): *Innovationsquelle Natur*. Shaker Verlag, Aachen.

- HOLDREN, J.P. & P.R. EHRLICH (1974):  
Human population and the global environment. *American Scientist* 62: 282-292.
- HOLLING, C.S.; D.W. SCHINDLER, B.W. WALKER & J. ROUGHGARDEN (1995):  
Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis. In: PERRINGS ET AL. (1995a: 44-83).
- HUETING, R. et al. (1998):  
The concept of environmental functions and its valuation. *Ecological Economics* 25: 31-35.
- [IUCN] MCNEELY, J.A. et al. (1990):  
Conserving the World's Biological Diversity. Edited for the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). Gland.
- [IW] INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT (2000):  
Zahlen zur wirtschaftlichen Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland 2000. Deutscher Instituts-Verlag, Köln.
- KRUTILLA, J.V. (1967):  
Conservation reconsidered. *Economic Review* 57: 777-786.
- LAWTON, J.H. & V.K. BROWN (1993):  
Redundancy in ecosystems. In: SCHULZE UND MOONEY (1993: 255-270).
- LEHMAN, C.L. & D. TILMAN (2000):  
Biodiversity, stability, and productivity in competitive communities. *The American Naturalist* 156: 534-552.
- LERCH, A. (1995):  
Biologische Vielfalt – ein ganz normaler Rohstoff? In: J. MAYER (Hrsg.), *Eine Welt – eine Natur? Der Zugriff auf die biologische Vielfalt und die Schwierigkeiten global gerecht mit ihr umzugehen*. Loccumer Protokolle Nr. 66/94: 33-62, Loccum.
- (1996):  
Verfügungsrechte und biologische Vielfalt. Eine Anwendung der ökonomischen Analyse der Eigentumsrechte auf die spezifischen Probleme genetischer Ressourcen. *Metropolis*, Marburg.
- (1998):  
Property rights and biodiversity. *European Journal of Law and Economics* 6: 285-304.
- LEVIN, S. (ed.) (2000):  
*Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, New York.
- MANN, S. (1998):  
Nachwachsende Rohstoffe. Ulmer, Stuttgart.
- MATEO, N.; W.F. NADER & G. TAMAYO (2000):  
Bioprospecting. In: LEVIN (2000).
- MCCANN, K.S. (2000):  
The diversity-stability debate. *Nature* 405: 228-233.
- METRICK, A. & M.L. WEITZMAN (1998):  
Conflicts and choices in biodiversity preservation. *Journal of Economic Perspectives* 12(3): 21-34.
- MORAN, D. & D.W. PEARCE (1997):  
The economics of biodiversity. In: H. FOLMER UND T. TIETENBERG (eds.) *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1997/1998*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 82-113.
- MUNASINGHE, M. (1992):  
Biodiversity protection policy: Environmental valuation and distribution issues. *Ambio* 21: 227-236.
- MYERS, N. (1983):  
*A Wealth of Wild Species: Storehouse for Human Welfare*. Westview Press, Boulder.
- (1989):  
Loss of biological diversity and its potential impact on agriculture and food production. In: D. PIMENTEL UND C.W. HALL (ed.) *Food and Natural Resources*. Academic Press, San Diego. Pp. 49-68.
- (1995):  
Tropical deforestation: population, poverty and biodiversity. In: SWANSON (1995: 111-122).
- (1997):  
Biodiversity's genetic library. In: DAILY (1997b: 255-273).
- NABHAN, G.P. & S.L. BUCHMANN (1997):  
Services provided by pollinators. In: DAILY (1997: 133-150).
- NADER, W.F. & B. HILL (1999):  
Der Schatz im Tropenwald – Biodiversität als Inspirations- und Innovationsquelle. Shaker Verlag, Aachen.
- NAYLOR, R.L. & P.R. EHRLICH (1997):  
In: DAILY (1997: 151-174).
- OLDFIELD, S. (1992):  
Plant use. In: GROOMBRIDGE (1992: 331-358).
- PEARCE, D.W. & D. MORAN (1994):  
The Economic Value of Biodiversity. Earthscan, London.
- PEARCE, D.W. & R.K. TURNER (1990):  
*Economics of Natural Resources and the Natural Environment*. Harvester Wheatsheaf, New York.
- PERRINGS, C. (1995a):  
Biodiversity conservation as insurance. In: SWANSON (1995a: 69-77).
- (1995b):  
Preface. In: C. PERRINGS, K.-G. MÄLER, C. FOLKE, C.S. HOLLING AND B.-O. JANSSON (eds.) *Biodiversity Loss. Economic and Ecological Issues*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. xi-xii.
- PERRINGS, C., K.-G. MÄLER, C. FOLKE, C.S. HOLLING & B.-O. JANSSON (eds.) (1995a):  
*Biodiversity Loss. Economic and Ecological Issues*. Cambridge University Press, Cambridge.
- (1995b):  
Introduction: Framing the problem of biodiversity loss. In: PERRINGS ET AL. (1995a: 1-17).
- PIRSCHER, F. (1997):  
Möglichkeiten und Grenzen der Integration von Artenvielfalt in die ökonomische Bewertung vor dem Hintergrund ethischer Normen. *Europäische Hochschulschriften* 2044. Peter Lang, Frankfurt am Main.
- PLOTKIN, M.J. (1988):  
The outlook for new agricultural and industrial products from the tropics. In: WILSON (1988: 106-116).
- POMMEREHNE, W.W. (1987):  
Präferenzen für öffentliche Güter: Ansätze zu ihrer Erfassung. Mohr Siebeck, Tübingen.
- ROBBINS, L. (1932):  
*An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*. Macmillan, London.
- SCHULZE, E.-D. & H.A. MOONEY (eds.) (1993):  
*Biodiversity and Ecosystem Functions*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- SEDJO, R.A. & R.D. SIMPSON (1995):  
Property rights, externalities and biodiversity. In: SWANSON (1995: 79-88).
- SEIDL, I. & J. GOWDY (1999):  
Monetäre Bewertung von Biodiversität: Grundannahmen, Schritte, Probleme und Folgerungen. *GAIA* 8: 102-112.

- SMITH, F.D.M.; G.C. DAILY & P.R. EHRLICH (1995): Human population dynamics and biodiversity loss. In: Swanson (1995a: 125-114).
- SMITH, K.V. (1996): Estimating Economic Values for Nature: Methods for Non-Market Valuation. Edward Elgar, Cheltenham.
- STRASBURGER, E.; F. NOLL, H. SCHENCK & A.F.W. SCHIMPER (1991): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Auflage neu bearbeitet von P. SITTE, H. ZIEGLER, F. EHRENDORFER & A. BRESINSKY. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- SWANSON, T.M. (1994): The International Regulation of Extinction. Macmillan Press, London.
- (1995b): Why does biodiversity decline? The analysis of forces for global change. In: Swanson (1995a: 1-9).
- (1996): The reliance of northern economies on southern biodiversity: Biodiversity as information. *Ecological Economics* 17: 1-8.
- (ed.) (1995a): The economics and ecology of biodiversity decline. The forces driving global change. Cambridge University Press, Cambridge.
- SWANSON, T.M. et al. (1992): Biodiversity and Economics. In: Groombridge (1992: 407-438).
- SWANSON, T.M. & T. GÖSCHL (2000): Property rights issues involving plant genetic resources: implications of ownership for economic efficiency. *Ecological Economics* 32: 75-92.
- TEN KATE, K. (1995): Biopiracy or Green Petroleum? Expectations and Best Practice in Bioprospecting. Overseas Development Administration, London.
- VAN DER HEIJDEN, M. et al. (1989): Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 336: 69-72.
- WEIKARD, H.-P. (1998): Der Wert der Artenvielfalt: Eine methodische Herausforderung an die Ökonomik. *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* 21: 263-273.
- WEITZMAN, M.L. (1992): On diversity, *Quarterly Journal of Economics* 107: 363-405.
- (1993): What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation, *Quarterly Journal of Economics* 108: 157-183.
- (1998): The Noah's ark problem, *Econometrica* 66: 1279-1298.
- (2000): Economic profitability versus ecological entropy. *Quarterly Journal of Economics* 115: 237-263.
- WILSON, E.O. (ed.) (1988). *BioDiversity*. National Academy Press, Washington.
- (1992): *The Diversity of Life*. W.W. Norton, New York und London.
- [WMPQ] Wood Mackenzie's Pharma Quant. Edinburgh, UK, January 1999.

**Anschrift des Verfassers:**

Dr. Stefan Baumgärtner  
 Alfred Weber-Institut für Sozial-  
 und Staatswissenschaften  
 Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät  
 Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
 Grabengasse 14  
 D-69117 Heidelberg

# BIONIK – was ist das?

Werner NACHTIGALL

## Gliederung

1. Natur und Technik
2. Bionik als Integrationsfaktor
  - 2.1 Bionik – eine Disziplin
  - 2.2 Bionik – ein Werkzeug
  - 2.3 Bionik – ein Denkansatz
  - 2.4 Bionik – eine Lebenshaltung
3. Zusammenfassung
4. Literatur

### 1. Natur und Technik verträgt sich besser als man meint

Früher hat die Technik die Natur gar nicht beachtet. Heute, im Zeitalter der Ausbeutung und Zerstörung unserer Umwelt, wird das anders. Man beginnt einzusehen, dass in der Natur ein ungeheurer Erfahrungsschatz ruht. Er wurde bisher vernachlässigt, aber allmählich beginnt man, ihn zu nutzen. Und dabei ergibt sich ein geradezu phantastischer Vorteil: Verfahrensweisen der Natur stehen von sich aus schon „im Einklang mit der Natur“, sind ja ein Teil des riesigen, weit vermaschten Bio-Systems auf unserer Erde!

Wenn wir Kohle abbauen, daraus Benzin synthetisieren und damit Auto fahren, ist das natürlich keine „naturnahe Strategie“. Wir verschleudern unser geologisches Erbe, reichern die Atmosphäre mit Kohlendioxid an, tragen so zum Treibhauseffekt bei. Würden wir dagegen dem Vorbild der grünen Pflanze folgen, das unsere Ingenieure in geeigneter Weise modifizieren, könnte man daraus eine solarbetriebene Wasserstofftechnologie aufbauen. Das heißt: Das Sonnenlicht könnte dazu benutzt werden, Wasser zu spalten – wie es die grüne Pflanze im Prinzip mit jedem Blatt vormacht. Dann allerdings scheiden sich die Wege. Die Pflanze benutzt den Wasserstoff um Zuckersubstanzen aufzubauen. Die Technik müsste dafür sorgen, dass er aufgefangen und in Druckflaschen abgefüllt wird. Damit könnte man beispielsweise Auto fahren. Und das schadstofffrei. Beim Verbrennen würde sich der Wasserstoff mit Sauerstoff verbinden, und aus dem Auspuff käme nichts als reines Wasser.

Die Natur als Vorbild nehmen: Das nennt man BIONIK. Man kann sich vorstellen, dass sich das Wort aus den Begriffen BIOlogie und TechNIK zusammensetzt. Ein gutes Schlagwort, wie ich finde. Es bedeutet letztlich „Lernen von der Natur für eine Technik von morgen“, die dem Menschen und der Um-

welt mehr nutzt als die heutige Technik. Natur und Technik vertragen sich also wohl. Die Natur gibt Anregungen für besseres technisches Gestalten. Und eine bessere Technik wirkt ihrerseits nicht mehr so zerstörerisch auf Mensch und Umwelt. Dabei muss man allerdings aufpassen. Die Natur einfach nachzuäffen nützt auch nichts.

Natur verstehen und Natur zum Vorbild nehmen bedeutet nicht, die Natur zu kopieren. Das ginge gar nicht. Aber man kann sich von der Natur in tausendfacher Weise anregen lassen. Es zeigt sich, dass ganz komplexe Dinge möglich sind, bei denen sich der Mensch noch außerordentlich schwer tut, oder die er für ganz unlösbar hält. Die schadstofffreie Wasserstofftechnologie zum Beispiel. Das Wirtschaften völlig ohne Abfall, also totales Recyclieren. Auch das macht die Natur vor. Oder das Managen von höchstkomplexen Systemen, ohne dass es zum Kladderadatsch kommt. An den Zusammenbruch ganzer Wirtschaftszweige haben wir uns gewöhnt. Die Natur bringt es aber fertig, noch viel komplexere und vielfältigere Systeme am Laufen zu halten, ohne dass es zur Zerstörung, zur Selbstzerstörung kommt. Wie macht sie das? Auch davon könnte man für die Wirtschaft lernen.

Und natürlich gibt es in der Natur eine Vielzahl von Konstruktionen, die einen Ingenieur geradezu faszinieren können. Wie gesagt: Nicht dass er sie kopieren könnte oder sollte, aber sie bringen ihn auf unkonventionelle Ideen. Nach einem Vortrag hat mir einmal ein Ingenieur gesagt: Das was Sie hier erzählt haben, könnte man ja direkt patentieren lassen! Genau das ist es. Die Natur ist ein riesiges Ingenieurbüro, vollgefüllt mit Problemlösungen. Dieses Ingenieurbüro hatte lang Zeit, gute Lösungen zu entwickeln: mehrere hundert Millionen Jahre. Schaut man sich beispielsweise ein kleines Insekt an, so findet man für alle nur denkbaren mechanischen Probleme Vorbilder. Wir bauen heute immer kleinere Maschinchen. Miniaturisierung nennt man das. Brauchen könnten wir dafür beispielsweise winzig kleine Pumpen, hocheffiziente Antriebssysteme, mit denen sich die Tiere auf dem Land, in der Luft oder im Wasser vorwärtsbewegen, ungeheuer feine Sensoren, die man physikalisch gar nicht weiter verbessern kann, die absolut leichtesten Materialien, die gleichzeitig ungemein zäh und widerstandsfähig sind und tausend Dinge mehr. Für all das liefert die Natur Vorbilder.

Dabei hat sie es fertig gebracht, die vielfältigsten Anforderungen unter einen Hut zu bringen. Davon ist die Technik noch weit entfernt. Eine Regenhaut mit Kapuze, die man sich beim Wandern überstülpt, wenn ein Wolkenbruch kommt, ist eine wasserdichte Folie, weiter nichts. Unter dieser Haut schwitzt man fürchterlich. Die Haut des Fliegeneis ist letztlich auch wasserdicht, lässt kein tropfendes Wasser durchtreten. Aber Gase, darunter auch Wasserdampf, lässt sie ungehindert durch. Gelänge es, eine Folie als „Regenhaut“ so zu gestalten wie die Fliege das mit ihrer Eischale macht, dann würde man sich unter solch einer Regenhaut nicht mehr klatschnass schwitzen.

Oder ein anderes Beispiel aus dem Schatzkästchen natürlicher Konstruktionen. Hauswände verschmutzen bekanntlich, manche Pflanzenblätter wie das schöne Blatt der Indischen Lotusblume verschmutzen aber überhaupt nicht. Man hat den Trick erkannt („Lotus-Effekt“) und auf einen Lack übertragen. Streicht man damit die Hauswand, so bleibt sie viel sauberer als mit konventionellen Lacken. Würde es gelingen Autolacke nach diesem Prinzip zu bauen – und man ist hart daran –, so müsste man nicht mehr so häufig in die Autowaschanlage. Gigantische Mengen an Wasser und Chemikalien ließen sich einsparen, weil man viel seltener waschen muss. Ist das nicht wichtig?

Haie haben bekanntlich eine beschuppte Haut, rau wie Sandpapier. Gestaltet man danach die Oberfläche von großen Verkehrsflugzeugen, so brauchen sie weniger Flugbenzin, weil sie beim Bewegen durch die Luft weniger Reibungswiderstand erzeugen. Genau das ist der Trick, den der Hai auch beim schnellen Schwimmen nutzt. Es sind zwar nur einige wenige Prozente, die da eingespart werden. Aber wenn man überlegt, wie groß alle unsere Luftflotten sind, kommt man zu gigantischen Mengen an Treibstoff, die man nicht mehr nutzlos in die Luft verpulvern muss. Wenn das kein positiver ökologischer Effekt wäre!

Somit ist BIONIK ein gutes Werkzeug für die Konstrukteure von morgen. Die Biologen können immer besser messen und bringen immer wieder neue und erstaunliche Erfindungen der Natur ans Tageslicht. Die Ingenieure auf der anderen Seite sind hellhörig und neugierig geworden. Sie studieren mit großer Begeisterung „die Erfindungen der Natur“ und versuchen, ihre Prinzipien auf die Technik zu übertragen. Noch sind das Einzelfälle, aber die Bionik erlebt zur Zeit eine geradezu rauschhafte Entwicklung. Sie wird sich in wenigen Jahren als Anregungsquelle, als Denkweise und – ja, auch – als Lebenshaltung weitgehend durchgesetzt haben. Und es gibt tausende und zehntausende Möglichkeiten, bionische Effekte mit einzubringen. Selbst das Auto der Zukunft wird ohne Bionik nicht mehr auskommen können. Es gibt keine große Autofirma, die solche Gesichtspunkte nicht testen lässt und zum Teil auch schon mit einbaut. Die großen Firmen geben das nur nicht zu, ent-

wickeln gerne im Geheimen, damit die Konkurrenz das nicht merkt.

Wie dem auch sei. Nachzuforschen wie die Natur baut, konstruiert und Verfahren ablaufen lässt und davon für die Technik zu lernen, ist ein Gebot unserer Zeit.

Heute lassen sich schon prinzipielle Ansätze machen, wie die folgende Kurzzusammenstellung zeigt.

## 2. Bionik als Integrationsfaktor

„Bionik“ könnte man wie folgt definieren:

**„Lernen von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien der Natur für eine positive Verwertung von Mensch, Umwelt und Technik“.**

Vom Menschen aus besehen lässt sich das, was uns umgibt, in zwei Bereiche gliedern: Der vom Menschen nicht oder nicht vollständig beeinflusste Bereich und der vom Menschen beeinflusste, umgestaltete Bereich. Nennen wir den ersteren *sensu strictu* „Umwelt“, den letzteren „Technik“, so ergibt sich zwischen beiden ein Prinzipgefüge mit positiven und negativen Beziehungspfeilen. Die Facetten fügen sich nicht zum Ganzen, weil sie vom Teilgebiet „Technik“ explosiv auseinandergetrieben werden. Das ist die Realität von heute.

Zukunftsvision – auch naturwissenschaftliche Betrachtung kann nicht ohne Visionen auskommen – könnte sein, dass sich die drei Facetten „Mensch“, „Umwelt“ und „Technik“ integrativ zusammenschließen, so dass das Gesamtsystem eher durch positive Beziehungspfeile zwischen allen Teilgebieten beschreibbar ist. Bionik im Sinne dieser Definition könnte nun als ein Band fungieren, das den Zusammenschluss begünstigt. Das ist die Vision von heute.

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich bereits, dass Bionik zwar eine Disziplin (also ein abgrenzbares Fach) ist, aber nicht nur das. Ich sehe vier Ansätze:

- Bionik ist eine Disziplin
- Bionik ist ein Werkzeug
- Bionik ist ein Denkansatz
- Bionik bedeutet eine Lebenshaltung

Die beiden ersteren Facetten werde ich im Folgenden etwas näher beleuchten, die beiden letzteren nur kurz streifen.

### 2.1 Bionik – eine Disziplin

**Bionik ist eine Disziplin, die zu Produkten führt, und in der auszubilden ist.**

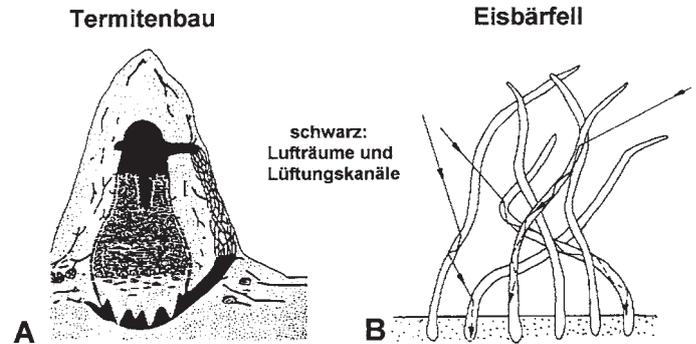
Dazu ein Beispiel aus der eigenen Forschung.

Der Schweizer Biologe M. Lüscher hat den Bau der afrikanischen Termiten *Macrotermes bellicosus* untersucht. Demnach strömt Luft in einem geschlossenen Röhrensystem – angetrieben von der Sonnenwärme und von der Stoffwechselwärme – vom kühlen, feuchten „Keller“ durch das Nest in den oberen Teil des Baues und unmittelbar unter der Außenwand

## Abbildung 1

### Zum Termiten-Eisbär-Effekt.

A: Termitenbau mit induzierter Strömung (nach LÜSCHER). B: Prinzip des Lichtweiterleitens im Eisbärhaar durch Totalreflektion (nach TRIBUTSCH et al.).



wieder zurück. Das Baumaterial ist porös, so dass Sauerstoff eindiffundieren und Kohlendioxid ausdiffundieren kann: Eine in letzter Konsequenz sonnenangetriebene automatische Klimatisierung (Abb. 1 a).

Die Wirkung des Eisbärfells als Lichtfalle haben der Berliner Physikochemiker H. TRIBUTSCH und seine Mitarbeiter untersucht. Durch Totalreflektion werden eingefangene Licht- und Wärmestrahlen innerhalb der weißen Haare nach unten geleitet (Abb. 1 b) und dort von der dunklen Hautoberfläche absorbiert: Wärmegewinn. Wegen der vielen eingeschlossenen Luftpolster kann die Wärme aber nicht mehr entweichen. Dies ist das Prinzip eines transparenten Isolationsmaterials („TIM“), das heute schon vielfach technisch genutzt wird, beispielsweise über die Bündelung enger Glasröhrchen.

Mein Doktorand G. RUMMEL und ich haben die beiden Prinzipien kombiniert und nach eigenen Vorstellungen weiterentwickelt. Es geht um die Konzeption eines Niederenergiehauses, bei dem eine Kombination aus transparenter Wärmedämmung (nach dem Eisbärprinzip) und passiver Porenlüftung (nach dem Prinzip der porösen Termitenbauten) sowohl Wärmeversorgung wie Frischluftzufuhr übernimmt.

Das Grundkonzept dieses Entwurfs für ein Niederenergiehaus besteht im Folgenden. Das Haus hat an der südorientierten Seite eine dicke Absorberwand, die an der Außenfläche schwarz gefärbt ist. Davor wird die transparente Wärmedämmung angebracht, allerdings mit einem Zwischenraum, in dem Luft zirkulieren kann. Diese TIM besteht aus einer sandwichartigen Schicht von eng aneinander gepackten Glas- oder Plastikröhrchen, die außen und innen von einer Glasplatte begrenzt sind. Die Luft in diesem Spalt wird über die schwarz gefärbte Absorberwand erwärmt, steigt auf und wird von der Südseite des Hauses über Deckenrohre zur Nordseite geführt.

Dort wird sie durch dünne, in Schlangenlinie gelegte Kupferrohre geleitet. Die Porenlüftung besteht aus einer Reihe von perforierten Lüftungssteinen, hinterfütert mit einer spongiösen Schicht. Die Frischluft diffundiert dann über die gesamte Innenwand der Nordseite ins Haus.

So können mehrere Fliegen mit einer Klappe geschlagen werden: Solarheizung, zeitverzögerte Wärmeabgabe (Nachtheizung), zugfreie Lüftung, kühlere Frischluftzufuhr, vollautomatisches Abstimmen der Einzelkomponenten.

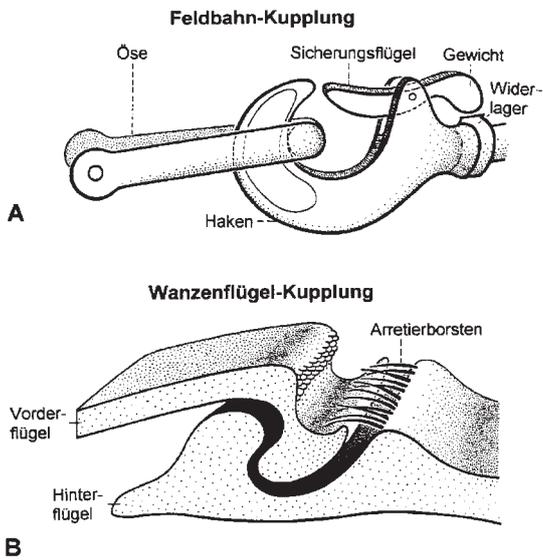
## 2.2 Bionik – ein Werkzeug

Am Beginn einer jeden technisch-biologischen oder bionischen Betrachtung muss zwangsläufig der analoge Vergleich stehen. Analogieforschung – eine auf G. HELMCKE zurückgehende Wortschöpfung – bedeutet, biologische und technische Konstruktionen, Verfahrensweisen oder Entwicklungsprinzipien zunächst „zweckfrei“ einander gegenüberzustellen und auf mögliche Gemeinsamkeiten, Widersprüche oder Anregungspotentiale abzuklopfen.

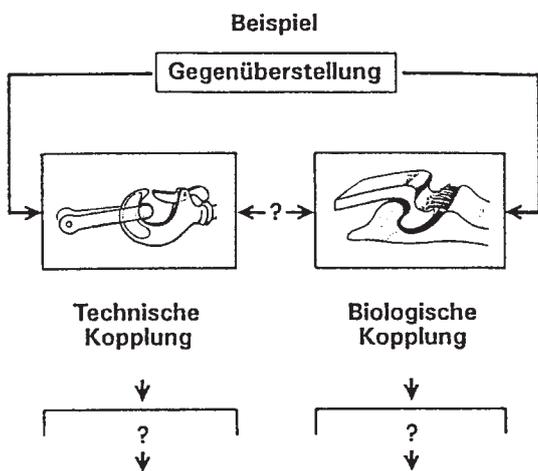
Die Abbildung 2 a,b zeigt im Vergleich eine technische Kupplung, wie sie zwischen den Loren einer Feldbahn üblich ist oder zwischen ziehendem Kraftfahrzeug und Anhänger, und eine biologische Kupplung, die Vorder- und Hinterflügel einer fliegenden Wanze verkoppelt. Es ergeben sich, funktionell betrachtet, prinzipielle Übereinstimmungen in der Funktionsweise, beispielsweise das Prinzip des Kraftschlusses, das Prinzip der Zugsicherung über Sicherungsflügel und so fort. Natürlich baut die Natur ihre mikroskopische Kupplung anders als der Techniker seine makroskopische Kupplung. Wenn es darum geht, Fragen der temporär kraftschlüssigen Verkopplung zweier Einzelelemente im Mikromaßstab anzugehen, Fragen also, wie sie in der aufblühenden Mikrotechnologie zu Dutzenden sich stellen, ist es *möglicherweise sinnvoller vom „Vorbild Natur“ als von bekannten technischen Großausführungen auszugehen*.

Im vorliegenden Fall würde man im Sinne der *Analogieforschung* zunächst die (weiterzuentwickelnde oder im mikroskopischen Maßstab anzupassende) technische Kupplung und die reale mikroskopische Kupplung der Natur gegenüberstellen (Abb. 3).

In einem weiteren Schritt geht es darum, Vergleiche anzustellen. Wenn ein technisches System weiterentwickelt werden soll, wird zunächst sein Istzustand formuliert, dann ein Anforderungskatalog für die zukünftige Entwicklung. Wenn man ein biologisches System beschreibt, formuliert man notwendigerwei-



**Abbildung 2**  
**Kupplungen. A Technische Kupplung bei einer Feldbahn. B Vorder-Hinterflügel-Kopplung bei einer Wanze.** Vergl. den Text (nach NACHTIGALL).



**Abbildung 3**  
**Beginn der Analogieforschung: Analoges Gegenüberstellen, gezeigt am Beispiel technischer und biologischer Kupplungen** (nach NACHTIGALL).

se den Istzustand des gegenwärtigen Evolutionsstandes. Man kann daraus einen detaillierten Beschreibungskatalog entwickeln.

Vergleiche sind nun an zwei Stellen möglich, nämlich im Sinn eines Formvergleichs und eines Funktionsvergleichs (Abb. 4).

Beim **Formvergleich** werden technisches und das biologische System – wie gesagt zunächst im Sinne einer analogen Betrachtung – einander gegenübergestellt und auf Ähnlichkeiten und Differenzen hin durchgemustert.

Beim **Funktionsvergleich** werden die Kataloge verglichen, nämlich der technische Anforderungskata-

log für eine Weiterentwicklung und der biologische Deskriptionskatalog des Istzustands.

Was sich aus den Vergleichen und darauf aufbauenden Querbeziehungen ergeben kann, ist nie ein bionisches Produkt – das gibt es gar nicht. Es handelt sich stets um technische Produkte, die aber – und das ist das Wesentliche – mehr oder minder bionisch mitgestaltet sein können.

### 2.3 Bionik – ein Denkansatz

Wie kann eine Zusammenarbeit zwischen den biologischen und technischen Disziplinen nun im Prinzip vor sich gehen? In Abbildung 5 ist das Grundkonzept skizziert.

Biologische Analyse bedeutet letztendlich immer Grundlagenforschung. Diese kann allerdings problembezogen und damit von einer technischen Frage, einem auftretenden technischen Problem  $x_1$ , ausgelöst worden sein und damit bereits anwendungsorientiert bzw. problembezogen ausgelegt sein. Sie kann aber „zunächst zweckfrei“ ablaufen und dann einen Informationspool  $x_2 - x_n$  füllen, aus dem sich der Techniker für seine Problemlösungen bedienen kann, wenn es nötig ist. Wichtig sind dabei drei Aspekte:

Zum Einen handelt es sich hier um **Grundlagenforschung par excellence** und damit um einen **Zivilisations- bzw. Kulturauftrag**. Es steht einer Zivilisation gut an, Sinfonieorchester oder Opernbühnen zu unterhalten. Dies kostet Geld und bringt keinen unmittelbaren, leicht messbaren Effekt. Mit der Grundlagenforschung verhält es sich genau so. Damit ist die „zunächst zweckfreie Grundlagenforschung“ Politikern und Wirtschaftlern wenig gut nahe zu bringen als eine „problembezogene Grundlagenforschung“.

Zum Zweiten hat die „zunächst zweckfreie Grundlagenforschung“ **sehr starke Ähnlichkeit mit der biologischen Evolution**. Diese reagiert ja auch nicht erst mit der Vorstellung neuer, „besser angepasster“ biologischer Konstruktionen, wenn sich ändernde Umweltbedingungen dies erzwingen. Die Evolution spielt vielmehr jeweils eine sehr große Anzahl von Möglichkeiten durch und verankert sie genetisch. Wenn sich die Umweltbedingungen dann einmal ändern, ist im allgemeinen immer eine genetische Information parat, die dann Entfaltungsvorteile vorfindet, und sich selektiv durchsetzt und somit zu „besser angepassten“ biologischen Konstruktionen führt.

Zum Dritten ergeben sich beide Aspekte als **praktische Notwendigkeiten**. Wenn die Industrie eine Frage hat, die von bionischer Seite angegangen werden kann, wendet sie sich an eine geeignete Institution und vereinbart eine zeitlich terminierte Zweckforschung, gibt also einen Forschungsauftrag. Das ist eine praktische Notwendigkeit, wenn es darum geht, Informationen des „Erkenntnisreservoirs Natur“ zu nutzen. Dieses muss aber gefüllt sein, sonst bekommt

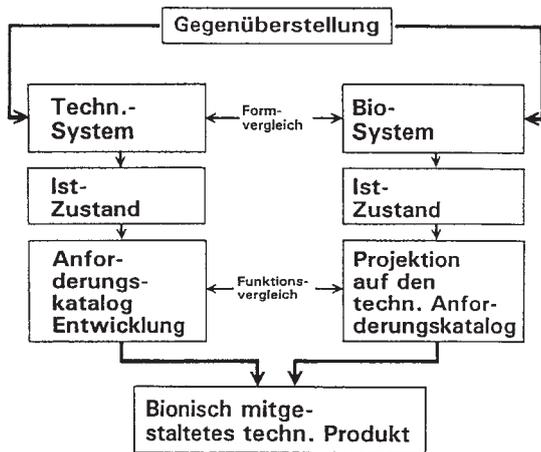


Abbildung 4  
Flussdiagramm der Analogieforschung; Formvergleich und Funktionsvergleich (nach NACHTIGALL).

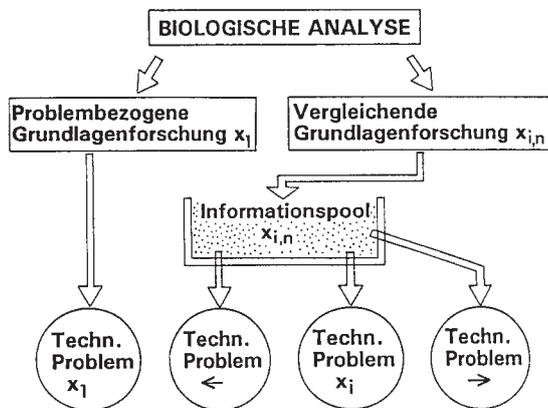


Abbildung 5  
Spezielle und allgemeinere Datensammlung; problembezogene Grundlagenforschung und zunächst zweckfreie Grundlagenforschung (nach NACHTIGALL).

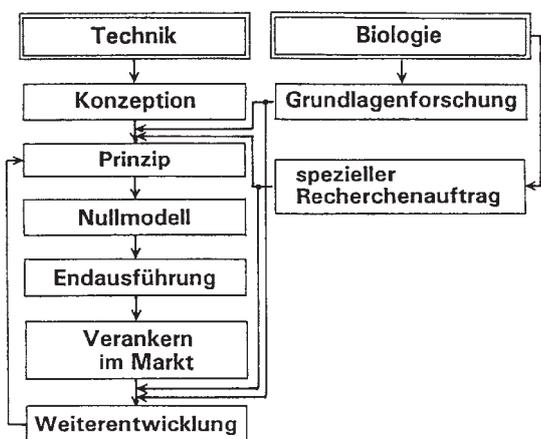


Abbildung 6  
Stufen der Zusammenarbeit; Einspeisen biologischen know how's in die technologische Entwicklungskette (nach NACHTIGALL).

man nicht einmal Anregungen für zweckbehaftetes Weitervorgehen.

Unabdingbar ist also naturwissenschaftlich-biologische Grundlagenforschung. Sie ist darüber hinaus eine zivilisatorische und kulturelle Forderung, die des anwendungsorientierten Deckmäntelchens nicht bedarf. Eine Nation, die sich als Kulturnation bezeichnet, muss einen Teil des Volkseinkommens „zweckfrei“ ausgeben, beispielsweise für Filmförderung, Buchpreise oder eben auch bionische Grundlagenforschung. Die Letztere kann eine sehr wesentliche Kittfunktion zwischen Technik und Biologie erhalten, wird sie denn in geeigneter Weise betrieben.

Wenn also Bionik eine Art Kitt zwischen Technik und Biologie darstellen soll, wie sieht die Zusammenarbeit dann in der Praxis aus? In Abbildung 6 ist die Problematik graphisch verdeutlicht.

Am Beginn der Entwicklung eines technischen Produkts steht die Konzeption, dann die Ausarbeitung des Form- und Funktionsprinzips, des weiteren die Herstellung eines Nullmodells. Dieses entwickelt sich in vielerlei Änderungen zu einer Endausführung, die nun auf dem Markt verankert werden soll. Dies gelingt meist nicht auf Anhieb, so dass weitere Modifikationen gemacht werden müssen; die Endausführung wird wieder an der Prinzipkonstruktion gespiegelt, leicht verändert und wieder dem Markt angeboten. Es läuft also ein Iterationsprozess eines einmal angestoßenen Vorgangs ab.

Die Biologie kann im Sinne der Grundlagenforschung und eines speziellen Forschungsauftrags an der Entwicklung und Weiterentwicklung eines technischen Produkts Anteil nehmen. Die Informationen fließen einerseits in die *Schnittstelle zwischen Konzeption und Prinzipmodell*, andererseits – in der Weiterentwicklung – in die *Iterationsschleife der Marktverankerung*. Somit kann Bionik nicht nur bei der Prinzipentwicklung, sondern – was mindestens ebenso wesentlich erscheint – bei der Detailänderung und Anpassung mithelfen. Insbesondere die Marktakzeptanz wird in Zukunft sehr stark davon abhängen, ob ein Gerät oder eine Verfahrensweise Mensch und Umwelt sehr viel stärker einbezieht, als das bisher der Fall ist. Das wird von Waschmitteln bis zu Autos, von Klebstoffen bis zu biochemischen Verfahrensweisen so sein.

*Bionische Kenntnisse und Erkenntnisse werden in sehr absehbarer Zeit für die Marktverankerung fast ebenso wichtig werden wie die technologischen Grundkonzepte*, gerade wegen dieser vom Käufer ausgehenden Akzeptanz-Problematik. Die Industrie hat sich darauf bereits eingestellt. Eigentümlicherweise erfährt das machtvolle Mittel der Bionik aber von Politik und Wirtschaft nur zögerlich die nötige Unterstützung: das Beharrungsvermögen des Eingefahrenen ist überall stark.

Wenn man näher darüber nachdenkt, finden sich eine Reihe von Grundprinzipien natürlicher Systeme,

die man wohl auch als **Grundelemente eines naturnahen Konstruierens** bezeichnen kann. (In einem auf Design im Sinne einer funktionellen Formgestaltung ausgerichteten Ansatz habe ich diese 1997, vielleicht ein wenig leichtfertig, als „Zehn Gebote bionischen Designs“ bezeichnet.) Ich will sie hier nur nennen, aus Platzgründen aber nicht mit Beispielen belegen.

**Prinzip 1:** Integrierte statt additiver Konstruktion

**Prinzip 2:** Optimierung des Ganzen statt Maximierung eines Einzelements

**Prinzip 3:** Multifunktionalität statt Monofunktionalität

**Prinzip 4:** Feinabstimmung gegenüber der Umwelt

**Prinzip 5:** Energieeinsparung statt Energieverschwendung

**Prinzip 6:** Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie

**Prinzip 7:** Zeitliche Limitierung statt unnötiger Haltbarkeit

**Prinzip 8:** Totale Rezyklierung statt Abfallanhäufung

**Prinzip 9:** Vernetzung statt Linearität

**Prinzip 10:** Entwicklung im Versuchs-Irrtums-Prozess

## 2.4 Bionik – eine Lebenshaltung

Erweitert gesagt: *Bionik ist eine Lebenshaltung, die sich ethischen Leitlinien unterwirft.*

Vertieftes Wissen über die belebte Welt kann eine Lebenshaltung – des Praktikers, Wirtschaftlers, konstruierenden Ingenieurs, von uns allen – induzieren, die sich ethischen Randbedingungen unterwirft. Kurzgefasst eben: „Naturstudium verleiht Einsichten“.

Die zu erwartenden Einsichten bestimmen mit Sicherheit zumindest und zunächst die „konstruktive Lebenshaltung“ eines gestaltenden Ingenieurs.

Derartige Einsichten kommen aber nicht von selbst. *Ausbildung* muss lehren, das „konstruktive und systemerhaltende Potential“ der belebten Welt zur Kenntnis zu nehmen und aufzuschlüsseln.

Einsichten setzen sich auch nicht von selbst konstruktiv um. Dazu bedarf es eines *Interesses der Wirtschaft*, die in eine Grundorientierung münden sollte. Diese Grundorientierung muss allerdings in Einklang mit verbindlich eingebundenen *ethischen Leitlinien* stehen.

Es geht gar nicht so sehr um Konstruktion, Naturwissenschaft und Wirtschaft, wenn wir weiterkommen wollen. Vielmehr muss Ethik an der Basis eines Systemwandels stehen. Sie darf eben nicht nur a posteriori als ethisches Mäntelchen umgehängt werden. Auch darauf führt Nachdenken über Bionik. Der Aspekt wird an anderer Stelle näher beleuchtet (NACHTIGALL 2000).

## 3. Zusammenfassung und Ausblick

*Bionik sollte richtig eingeschätzt werden.* Die Grundaussagen, um es nochmals zusammenzufassen, sind:

- Bionik ist keine Heilslehre und keine Naturkopie.
- Bionik ist ein Werkzeug, das benutzt werden kann, aber nicht benutzt werden muss.
- Bionik ist kein allgemeiner Problemlöser, aber fallweise ein machtvolles Hilfsmittel.

Bionik favorisiert Höchsttechnologien – aber solche, die Mensch und Umwelt wirklich dienen. Das schließt low tech dort, wo anwendbar und sinnvoll, natürlich nicht aus. Gemeint ist nicht ein schwärmerisches Zurück-zur-Natur im Sinne von Rousseau. Vielmehr geht es um ein geduldiges Bemühen, *die drei Facetten „Mensch“, „Technik“ und „Umwelt“ zu einem möglichst nur positiv vernetzten Beziehungsgefüge zusammenzufassen.* Hierfür sind tausend Dinge einzubeziehen. Bionik betreiben bedeutet also auch geduldiges Erforschen, Vernetzen, Einflussnehmen und Weiterentwickeln.

Früher und zum Gutteil bis heute war Folgendes Realität:

Biologie und Technik sind nicht aufeinander bezogen, stellen sozusagen getrennte Hemisphären einer Kugel dar (Abb. 7a). Es waren keine oder kaum Querverbindungen erkennbar. Die technische Vorgehensweise ging von einem Problem aus, das es zu bearbeiten und einer technischen Lösung zuzuführen galt – technische Problemlösung lege artis der Ingenieurwissenschaften.

Mögliches zukünftiges Vorgehen fordert eine neue Realität, neue Querbeziehungen, die diese beiden scheinbar getrennten Welten besser und besser aneinanderkoppelt (Abb. 7b).

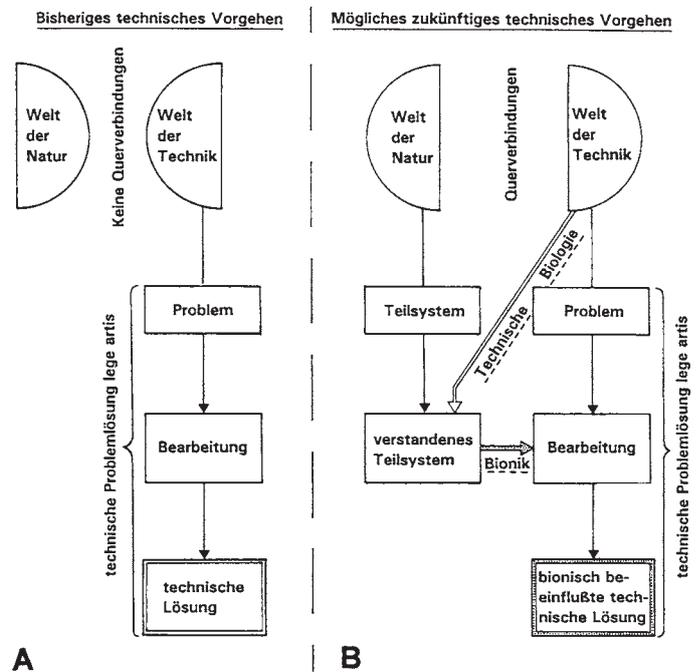
Die Welt der Technik kann helfen, die Welt der Natur besser zu verstehen, zu erforschen und zu beschreiben (Aspekte der „Technischen Biologie“). Der Biologe zerlegt die Natur ja in Teilsysteme, die es zu verstehen gilt. Technisches know how kann ihm hier in vielerlei Hinsicht ganz ausgezeichnete Hilfen geben. Wenn er sie nicht annimmt, begeht er eine Todsünde der naturwissenschaftlichen Forschung, nämlich bewussten Wissensverzicht.

*Die konstruktive Welt der Technik wird sich durch die Biologie nicht ändern.* Nach wie vor werden Probleme lege artis der ingenieurwissenschaftlichen Problemlösungsstrategien bearbeitet und einer Lösung zugeführt werden. Ergebnisse biologischer Forschung können aber über die Facette der Bionik dort eingebracht werden, wo es um technische Problembearbeitung geht.

*Das Endprodukt wird stets ein technisches bleiben.* Es gibt keine bionischen Produkte. *Das Endprodukt kann aber bionisch mitbeeinflusst, mitgestaltet sein.* Dies kann sich auf kleine Facetten beschränken, so

**Abbildung 7**

**Interaktion biologisches Verstehen – technisches Gestalten. Bisheriges technisches Vorgehen (A) und mögliches zukünftiges technisches Vorgehen (B)** (nach NACHTIGALL).



dass rasch vergessen wird, dass die Natur eigentlich Pate gestanden hatte. Auf der anderen Seite kann das Einbringen eines bionischen know how aber auch die Gesellschaft verändern und Ansätze für eine Überlebensstrategie der Menschheit geben.

#### 4. Literatur

Angegeben ist neben einigen wichtigen klassischen und neueren zusammenfassenden Werken nur diejenige Literatur, auf die sich Text und Bildlegenden direkt beziehen.

ANONYMUS (1993):

Bionics symposium. Living proto-types, the key to new technology. Wadt technical report 60-600, 5,00 - März 1961 - 23-899. United States airforce Wright - Paterson Airforce Base, Ohio.

BARTHLOTT, W. & C. NEINHUIS (1997):

Purity of the sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202, 1-8.

BECHERT, D.W. & W.E. REIF (1985):

On the drag reduction of shark skin. AIAA-85-0546 report. AIAA conference, March 12-14, Boulder/Colorado.

HELMCKE, G. (1972):

Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Analogieforschung. Mitt. Inst. leichte Flächentragwerke Univ. Stuttgart (IL), 4, 6-15.

LÜSCHER, M. (1955):

Der Sauerstoffverbrauch bei Termiten und die Ventilation des Nestes bei *Macrotermes nataliensis* (Haviland). *Acta Tropica* 12, 289-307.

MÜLLER, M. (1997):

Brauchen wir eine neue Moral? Beiträge zur philosophischen Anthropologie. Denk-Anstöße, Heft 8, Kath. Akad., Trier, Abt. Saarbrücken, Mainzer Str. 30, 66111 Saarbrücken.

NACHTIGALL, W. (1974):

Phantasie der Schöpfung. Faszinierende Entdeckung der Biologie und Biotechnik. Hoffmann und Campe, Hamburg.

Holländische Ausgabe (Fantasé van de schepping) Meulenhoff, Baarn 1976. Taschenbuchausgabe Heyne, München 1983. Französische, aktualisierte Ausgabe (unter Mitarbeit von A. Bourgrain-Dubourg und B. Kresling) *La nature réinventée*. Plon, Paris 1987.

——— (1997):

Vorbild Natur. Bionik – Design für funktionelles Gestalten. Springer, Berlin etc.

——— (1998):

Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieur und Naturwissenschaftler. Springer, Berlin etc.

NACHTIGALL, W. & K.G. BLÜCHEL (2000):

Bionik. Neue Technologien nach dem Vorbild der Natur. DVA, München.

NACHTIGALL, W. & G. RUMMEL (1996):

Ventilation of termite nests, insulation principle of a polar bear's skin, ventiation through pores in buildings above ground. *Proceedings 4th European Conference on Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, paper P 1.9, page 1-3.

TRIBUTSCH, H.; H. GOSLOWSKY, U. KÜPPERS & H. WETZEL (1990):

Light collection and solar sensing through the polar bear pelt. *Solar Energy Materials* 21, 219-236.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Werner Nachtigall  
 FB 13.4 Zoologie  
 Universität des Saarlandes und Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik e.V.  
 Postfach 15 11 50  
 D-66041 Saarbrücken  
 Tel. 0681/302-2411  
 Fax 0681/302-6651  
 e-mail: W.Nachtigall@rz.uni-sb.de



# Chemische, biologische und bionische Prospektion: Neue Wege zum Schutz biologischer Vielfalt

Werner NADER

## Gliederung

1. **Biologische Vielfalt – ein Wirtschaftsfaktor**
2. **Zerstörung biologischer Vielfalt – Modellfall Costa Rica**
3. **Wirtschaftliche Bedeutung biologischer Vielfalt – Ein Rückblick**
4. **Das technologische Potential der belebten Natur: Strukturen, Naturstoffe und Gene**
  - 4.1 Biologische Vielfalt – Schlüssel zur Bewältigung gegenwärtiger und zukünftiger Probleme
    - 4.1.1 Das Minimum-Maximum Prinzip – Grundprinzip der belebten Natur
    - 4.1.2 Beispiel Phytase – Bewältigung eines Umweltproblems
  - 4.2 Strukturen und Mechanismen
    - 4.2.1 Anwendungen aus der Bionik in der Technik
    - 4.2.2 Das Potential tropischer Insekten in der Bionik
  - 4.3 Chemische Vielfalt durch chemische Kriegsführung
    - 4.3.1 Schlangengifte für die Medikamententwicklung
    - 4.3.2 Cholesterinsenkung mit Antibiotika
    - 4.3.3 Ein Gottesurteil als Inspiration für die Insektizidentwicklung
    - 4.3.4 Fungizidentwicklung: Pilze gegen Pilze
    - 4.3.5 Das Herbizid Basta – ein Naturstoff
  - 4.4 Gentechnik und biologische Vielfalt
    - 4.4.1 Herzinfarktmittel aus der Vampirfledermaus
    - 4.4.2 Pilzresistenzen aus der Froschhaut
    - 4.4.3 Koevolution und genetische Vielfalt bei *Bacillus thuringesis*
    - 4.4.4 Palmkernöl aus Raps von den Feldern des Mittleren Westens
    - 4.4.5 Die Bedeutung des Yellowstone Parks bei der Erfindung der PCR
5. **Bioprospektion – neue unkonventionelle Wege im Naturschutz**
  - 5.1 Chemische Prospektion – Eisners Vision
  - 5.2 Bioprospektion – eine Begriffsbestimmung
  - 5.3 Märkte für die Bioprospektion
  - 5.4 Bioprospektion und Naturschutz
  - 5.5 Royalties zur Finanzierung des Naturschutzes?
  - 5.6 Die Bedeutung der Bewusstseinsbildung
  - 5.7 Fallbeispiel INBio-Merck
  - 5.8 Fallbeispiel INBio-International Cooperative Biodiversity Groups
  - 5.9 Fallbeispiel Nematicidentwicklung
  - 5.10 Fallbeispiel Genprospektion
6. **Ausblick**

**Literatur**

## 1. Biologische Vielfalt – ein Wirtschaftsfaktor

Der Verlust biologischer Artenfülle, die Abholzung der tropischen Regenwälder, das Waldsterben auf der nördlichen Halbkugel und die Klimaveränderung sind miteinander verknüpfte Probleme, die sich heute in Form einer Exponentialfunktion entwickeln und globale Ausmaße annehmen. Sie bedrohen die Menschen in den Entwicklungsländern genauso wie in den Industriestaaten. Naturschutz und entwicklungspolitische Zusammenarbeit werden Bestandteil der Überlebensstrategie der Menschheit insgesamt. Das Problem lässt sich nicht mehr mit den Almosen abspeisen, welche die Politik derzeit für diese Aufgaben bereit hält. Neue Konzepte sind jetzt gefragt, die auf die Wirtschaftskraft und wissenschaftlich-technologische Leistungsfähigkeit der Industrienationen bauen. Dies ist aber nur möglich über eine Beteili-

gung der Privatwirtschaft weit über Spenden hinaus. Deren ureigene gewinnorientierte Interessen müssen zur Lösung des Problems genutzt werden.

**Biologische Vielfalt ist ein Wirtschaftsfaktor von enormer Bedeutung** – wesentlicher Grund für den Erfolg von Milliardenunternehmen wie Velcro Industries, Merck & Co., Bayer, BASF etc.. Neue Milliardenunternehmen entstehen zur Zeit aus der Biotechnologie. Wiederum wird biologische Vielfalt der wesentliche Erfolgsfaktor sein.

## 2. Zerstörung biologischer Vielfalt – Modellfall Costa Rica

Costa Rica ist eines der artenreichsten Länder dieser Welt. Trotz seiner Größe von nur 51.000 km<sup>2</sup> werden im Land 5 bis 7% der Arten dieser Welt vermutet.

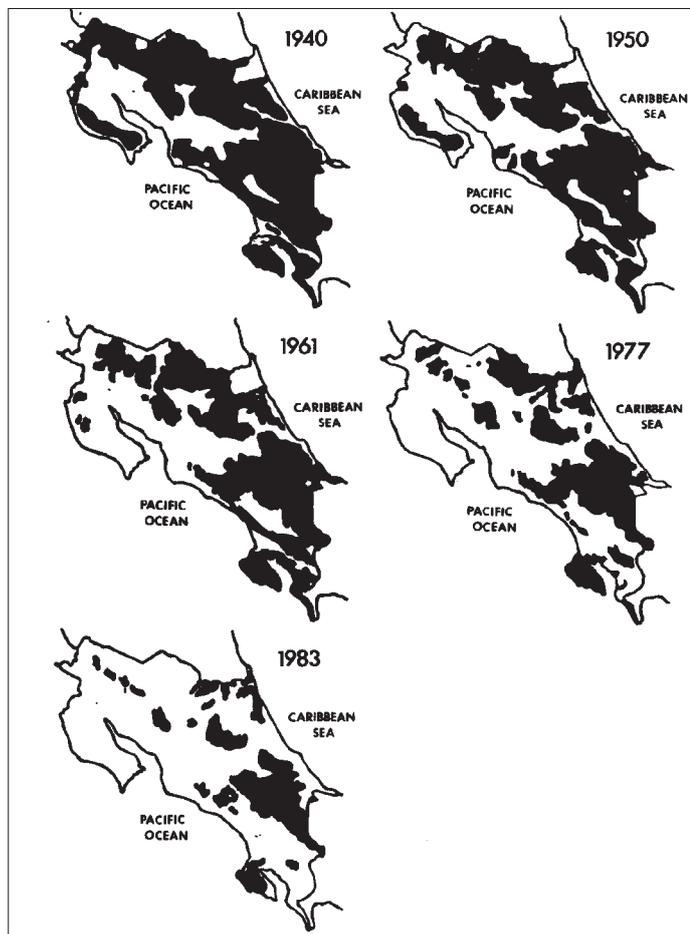
Noch in den vierziger Jahren war etwa 75% des Landes mit dichtem Tropenwald bedeckt (Abb. 1).

Diese Waldfläche wurde innerhalb von 44 Jahren von 38.250 km<sup>2</sup> auf 14.759 km<sup>2</sup> reduziert, ein Verlust also von 74% (ROPETTO 1992<sup>1)</sup>). Die heute übrig gebliebenen Forstflächen liegen in staatlichen und privaten Naturschutzgebieten, die die Regierung seit Anfang der siebziger Jahre eingerichtet hat. Nur 200.000 ha Wald befindet sich außerhalb dieser Gebiete. Die Hälfte dieser Waldflächen, also etwa 12.000 km<sup>2</sup>, sind der Hamburger Connection zum Opfer gefallen (Abb. 2). Costa Rica war unter den ersten Ländern, das den steigenden Bedarf der Hamburger Ketten in den USA an billigem Hackfleisch ausglich. Noch im Jahre 1950 machten Rinderweiden in Costa Rica nur ein Achtel der Landesfläche, also etwa 6.400 km<sup>2</sup> aus. 1960 war diese Fläche auf 9540 km<sup>2</sup> angestiegen und erreichte im Jahre 1980 18.650 km<sup>2</sup>, also nahezu ein Drittel des Staatsgebiets. Die Anzahl der Rinder war von 900.000 im Jahre 1960 auf 2,2 Millionen 1980 angeschwollen. Obwohl die Versorgung mit billigem Rindfleisch aus Zentralamerika nur etwa 1% des Gesamtverbrauchs der US-Amerikaner entsprach, sparte der US-Konsument doch etwa 10 Cent pro Hamburger ein (MYERS 1992<sup>2)</sup>).

Die Auswirkungen der Waldvernichtung auf die Ökologie des Landes waren verheerend. Durch Erosion wurden zwischen 1970 und 1989 2,2 Milliarden Tonnen Erde abgeschlemmt, die ausreichen würden, um die Hauptstadt San Jose unter einer 12 m hohen Schlammschicht verschwinden zu lassen. Dies konnte akribisch genau nachgemessen werden, da der Schlamm sich in den Stauseen absetzte und dort ausgebagert werden musste. Holz wurde im Land während dieser Zeit weit unter dem Weltmarktpreis angeboten und bei den Rodungen zumeist verbrannt, da es sich nicht lohnte, es abzutransportieren. Nur im Jahre 1989 wurden so 3,2 Millionen Kubikmeter zum Weltmarktpreis von \$ 400 Millionen vernichtet. Die Erosionsschäden waren deshalb so verheerend, weil in dem gebirgigen Land die Weideflächen zumeist in Hanglagen angelegt wurden und die dünne Humusschicht des Tropenwaldes schnell durch die extremen Regenfälle abgewaschen wurde und das Land damit unbrauchbar wurde.

Die Waldvernichtung in Costa Rica ist heute wesentlich geringer als in den Nachbarstaaten. Dennoch hat die heutige Abholzung zur Schaffung neuer landwirtschaftlicher Nutzflächen und zur Holzgewinnung eine neue zerstörerische Qualität erreicht.

Abbildung 3 zeigt einen Vergleich von Satellitenaufnahmen zwischen 1976 und 1996 im Gebiet von Pu-

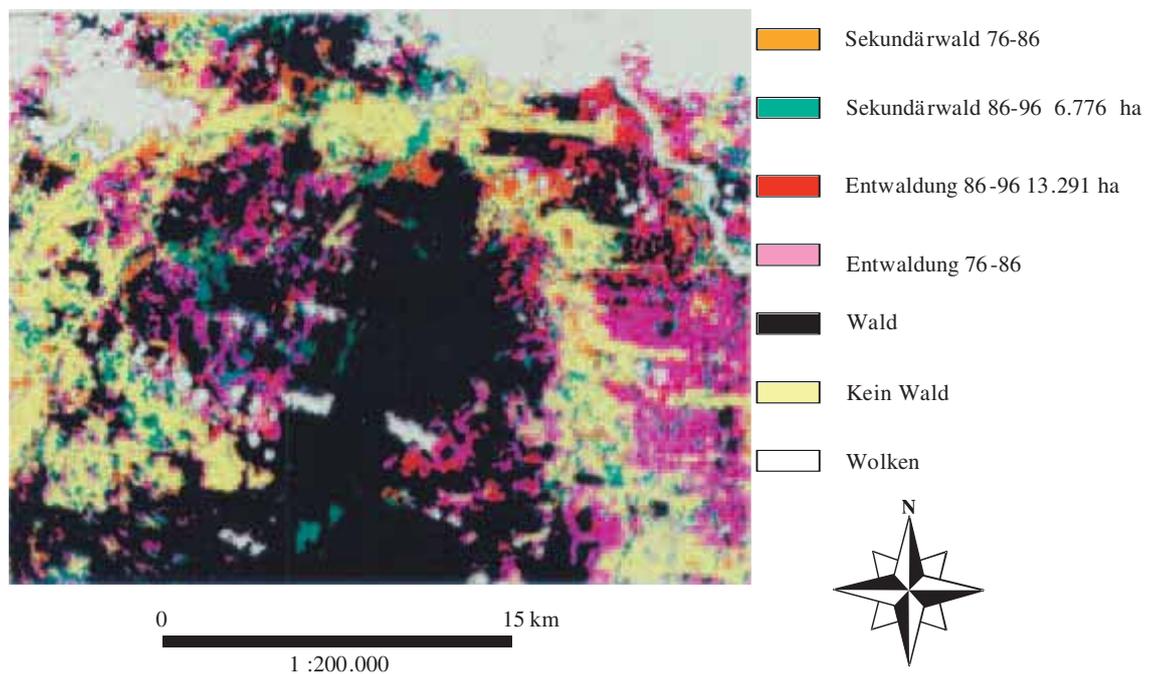


**Abbildung 1**

**Waldvernichtung in Costa Rica von 1940 bis 1983** (dunkle Flächen bedeuten Waldflächen, Quelle: C. QUESADA-MATEO).

**Abbildung 2**

**Typisches Schadensbild einer Rinderweide im Bergland Costa Ricas.**



**Abbildung 3**

**Habitatfragmentierung am Beispiel der Region „Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica** (Aufnahmen der Satelliten Landsat MSS (1976) und TM (1986, 1991 und 1996. Arturo Sanchez AZOFEIFA und C. QUESADA-MATEO, Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible, Universität von Costa Rica).

erto Viejo de Sarapiquí mit der privaten Schutzzone La Selva der Organisation Tropischer Studien (OET) nördlich des Nationalparks Braulio Carrillo. Die geschützte Waldzone (schwarz dargestellt) ist deutlich abgesetzt. Obwohl in einigen Gebieten zwischen 1986 und 1996 6776 ha Sekundärwald (türkis) nachgewachsen ist, war die Entwaldung in dieser Zeit mit 13.291 ha deutlich größer. Schlimmer noch, die Waldzerstörung von 1976 und 1996 fraß sich wie ein Krebs in die Primärwaldbestände hinein und fragmentierte die Habitate, die so zu bewaldeten Inseln auf landwirtschaftlichen Flächen wurden, über die

kein Genaustausch mehr stattfindet (Arturo Sanchez-Azofeifa, persönliche Mitteilung).

Besonders auffällig im Satellitenbild ist die Aufspaltung von drei Waldflächen im oberen rechten Bildausschnitt. Durch Abholzung von Uferregionen des Flusses Rio Frio wurden diese Gebiete nicht nur voneinander getrennt, sondern auch vom Fluss isoliert. Die Rodung war in diesem Fall auf die Ausdehnung einer Bananenplantage (gelbe Fläche in der Form eines Beils) zurückzuführen.

Ein Beispiel für die Auswirkungen der Habitatfragmentierung ist der rote Ara (*Ara macao*). Dieser

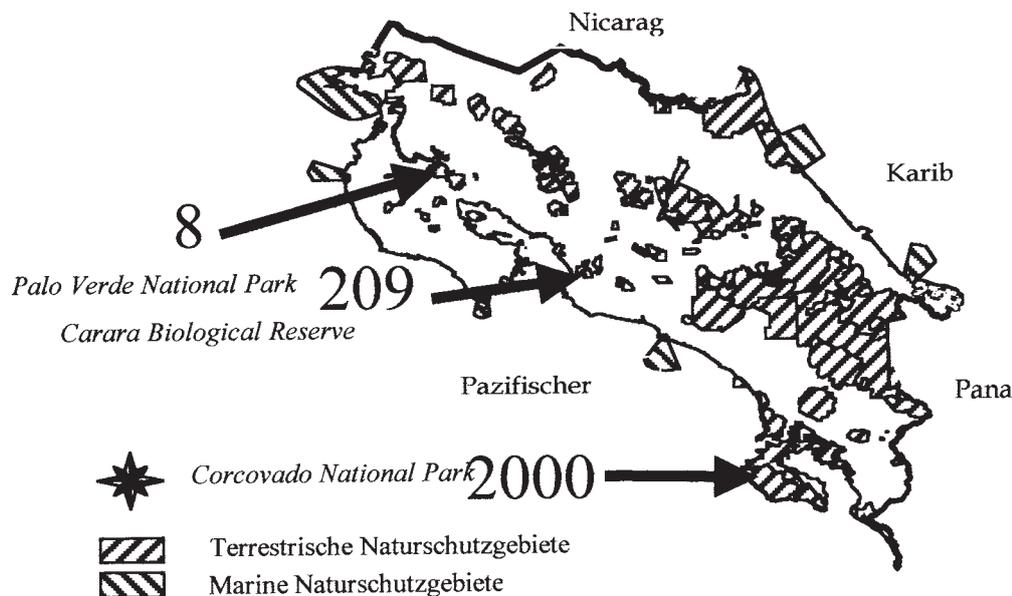


Abbildung 4

Heutige Restbestände des roten Aras (*Ara macao*) in Costa Rica (nach NADER et al. 1998<sup>12)</sup>).

prächtige rot, blau und gelb gefiederte Papagei ist von Mexiko bis nach Bolivien verbreitet und trat einst in ganz Costa Rica bis zu einer Höhe von 1.200 m auf.

Noch Ende der achtziger Jahre wurden Tiere in den meisten Naturschutzgebieten beobachtet, die zwischen diesen bewandelten Inseln pendelten. Davon sind heute nur noch eine nicht überlebensfähige Gruppe von 3 bis vier Paaren im Nationalpark Palo Verde (nördliche Pazifikzone), ein Bestand von 200 Tieren in dem biologischen Reservat Carara (mittlere Pazifikzone) und eine größere Population von 2000 Tieren im Nationalpark Corcovado (südliche Pazifikzone) übrig (NADER et al. 1999<sup>3)</sup>), Abb. 4). Es ist nur noch eine Frage der Zeit, wann die überalterte Carara-Population durch Überalterung und Inzucht zusammenbricht, da nach wie vor Nester gewildert werden und die Jungtiere trotz CITES in den illegalen Tierhandel wandern.

Aber auch globale Veränderungen wie höhere UV-Einstrahlungen durch die Verringerung der Ozonschicht und die globalen Klimaänderungen dürften zusätzlich zur Waldvernichtung zum Artenrückgang beitragen. Amphibien und hier vor allem die Eier sind besonders anfällig gegen die mutagene UV-Strahlung, die durch das Ozon-Problem zugenommen hat. Es häufen sich die Hinweise, dass der vielerorts beobachtete Rückgang von Lurchen, Fröschen und Kröten darauf zurückzuführen ist (BLAUSTEIN et al. 1994<sup>4)</sup>). In Costa Rica wurden vor sieben Jahren die letzten Exemplare der bis dahin vor allem im Nebelwaldgebiet Monteverde auftretenden Goldkröten (*Bufo periglenes*) beobachtet. In diesem Fall werden globale Klimaänderungen für das Verschwinden dieser Art verantwortlich gemacht, die tropische Ne-

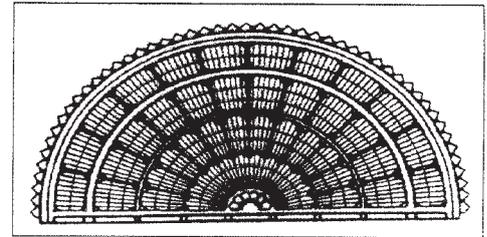
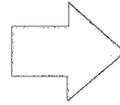
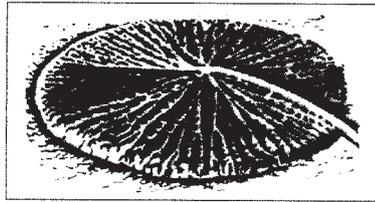
belwaldgebiete weltweit bedrohen (POUNDS & CRUMB 1994<sup>5)</sup>, POUNDS et al. 1999<sup>6)</sup>.

### 3. Wirtschaftliche Bedeutung biologischer Vielfalt – Ein Rückblick

Biodiversität beschreibt die Vielfalt und Veränderlichkeit von lebendem Material und ökologischen Komplexen und umfasst die Vielfalt der Arten, der genetischen Information und der Ökosysteme. Biologische Vielfalt ist nicht nur Basis des Lebens und der Evolution auf Erden, sondern Ausgangspunkt für die menschliche Zivilisation und Entwicklung. Die Entwicklung von Sammlern und Jägern zu Hochkulturen wurde erst durch Züchtung von Pflanzen und Tieren für die landwirtschaftliche Intensivnutzung möglich. Die ersten Medikamente entstammten allesamt wildlebenden Tieren und Pflanzen. Bis zum Aufkommen von DDT wurde Pflanzenschutz ausschließlich mit pflanzlichen Inhaltsstoffen wie Rotenon, Nikotin und Azadirachtinen betrieben (WINK 1993<sup>7)</sup>).

#### In der Landwirtschaft

Der Mensch hat immer auf das reichhaltige genetische Potential der belebten Natur zurückgegriffen. Wenn dieses nicht zur Verfügung stand, hatte dies Mißernten und Hungersnöte zur Folge. Das größte Desaster der modernen irischen Geschichte war der „Great Hunger“, eine Hungerkatastrophe zwischen 1845 und 1849, die einer Million Menschen das Leben kostete und weitere eineinhalb Millionen in die Auswanderung trieb. Sie war das Ergebnis der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) der Kartoffel und einer sträflichen Nachlässigkeit. Die in Europa angebauten Kartoffeln waren von nur wenigen Ursprungsorten



**Abbildung 5**

**Konstruktion des Londoner Kristallpalastes nach der radialen Verrippung der Riesenseerose (*Victoria regia*, HILL 1997<sup>12)</sup>).**

abgeleitet und man hatte sich nicht die Mühe gemacht, ihre genetische Basis zu verbreitern oder ein breites Angebot an Sorten für derartige Katastrophen bereit zu halten. Erst als Resistenzgene gegen den Pilz aus Sorten der südamerikanischen Ursprungsländer eingekreuzt wurden, wurde das Problem kontrollierbar. Ähnliche genetische Gratwanderungen führten in vielen anderen Fällen wie beim Rice-grassy-stunt-Virus in Asien und beim Kaffeerost in Brasilien zu Missernten und häufig zu Not und Elend.

Gene erhalten durch die moderne Biotechnologie eine revolutionäre neue Bedeutung. 1992 entdeckte ein Forschungsteam des Unternehmens Calgene im wildwachsenden Lorbeerbaum *Umbellularia californica* ein Gen, mit dem Kokosnuss- und Palmkernöl im Raps hergestellt werden kann (VOELKER et al. 1992<sup>8)</sup>). Die Produktion dieser weltwirtschaftlich bedeutenden Öle könnte schon in einem Jahrzehnt von den Ölplantagen der Tropenländer auf die Rapsfelder im Mittelwesten der USA und Kanada verlagert sein. Die sozialen, politischen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf Länder wie Indonesien und Malaysia werden schwerwiegend sein.

#### **In der Chemie und Pharmaentwicklung**

Chemiegiganten wie die Bayer AG und die ehemalige Hoechst AG basieren auf chemischen Naturstoffen. Sie entstanden im Jahre 1863 als Farbwerke und benutzten zu Anfang Naturfarbstoffe wie das Indigo aus der ostasiatischen *Indigofera tinctoria*. Die Bayer AG begründete um die Jahrhundertwende ihre Macht und Bedeutung und den Wohlstand einer ganzen Region durch die Entwicklung des Aspirins, dem Essigsäureester der Salicylsäure, welche zuerst aus der Rinde der Weidengewächse (*Salix*) isoliert wurde. Die traditionelle Medizin in Europa nutzte die *Salix*-Rinde gegen Fieber und Schmerzen und gab den entscheidenden Hinweis zur Entwicklung dieses meistbenutzten Medikamentes des 20. Jahrhunderts.

Städte wie Erfurt gelangten zu Wohlstand durch den Anbau und Handel mit Färberwaid, *Isatis tinctoria*, das Indigo enthält. Bei der Destillation von Indigo (im Portugiesischen „anil“ genannt) entdeckte Unverdorben 1826 das Anilin, Ausgangssubstanz für die Anilinfarbstoffe, Arzneimittel und Pestizide. Anilin

war auch ein Grundstein für die Badischen Anilin und Soda Fabriken (BASF) in Ludwigshafen.

#### **In der Technik und Architektur**

Nach Prototypen aus der Natur wurden und werden Gebäude, Schiffe und Flugzeuge konstruiert und Waffenleitsystem entwickelt. Die radiale Verrippung der Kuppel des Kristallpalastes in London ist der Riesenseerose *Victoria regia* vom Amazonas abgeschaut (Abb. 5) und das Echolot, mit dem die britische Marine im 2. Weltkrieg deutsche Unterseeboote versenkte und damit den Seekrieg für sich entschied, der Echoortung der Fledermäuse nachempfunden. Gleichzeitig entwickelte die deutsche Wehrmacht Infrarotsensoren nach dem Vorbild des Grubenorgans der Grubenottern (*Crotalidae*, siehe unten). Biodiversität hat somit schon immer die Geschicke des Menschen bestimmt und Politik und Wirtschaft beeinflusst.

#### **4. Das technologische Potential der belebten Natur: Strukturen, Naturstoffe und Gene**

Kreativität braucht Diversität. Dies gilt nicht nur für die Natur, sondern für alle Aspekte menschlichen Lebens inklusive der Politik, Wirtschaft und Kultur. Um kreativ zu sein braucht der Mensch eine Vielfalt von Inspirationen und diese kommen aus den Traditionen, Kulturen, Geschichte, Wissenschaft, Technologie und vor allem aus der belebten und unbelebten Natur. Je vielfältiger diese Ressourcen sind, um so größer ist unsere Kreativität.

##### **4.1 Biologische Vielfalt – Schlüssel zur Bewältigung gegenwärtiger und zukünftiger Probleme**

Die Menschheit wird in den nächsten Jahrzehnten sehr kreativ sein müssen, denn ihre Probleme in der Seuchenbekämpfung, Ernährung und Umwelt werden bedingt durch weiteres Bevölkerungswachstum bei gleichzeitig abnehmenden Ressourcen und steigenden Umweltbelastungen dramatisch zunehmen. Nur wenn die Geburten und die Produktion drastisch eingeschränkt und neue bahnbrechende Technologien zur Emissionsbekämpfung, Erosionsverhütung, Ressourcenschonung und Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität entwickelt werden, könnten die drohen-

den Katastrophen vermieden oder zumindestens abgeschwächt werden (MEADOWS et al. 1992<sup>9)</sup>). Die Entwicklung dieser neuen Technologien setzt aber das Vorhandensein der nötigen Inspirations- und Innovationsquellen für die Erfinder und Entwickler voraus, wobei die biologische Vielfalt eine wichtige Quelle darstellt.

#### 4.1.1 Das Minimum-Maximum Prinzip – Grundprinzip der belebten Natur

Wesentlichen Anteil an den Problemen der Menschheit hat der verschwenderische Umgang mit den natürlichen Ressourcen. Das Grundprinzip der belebten Natur, das Minimum-Maximum Prinzip, bedeutet aber Sparsamkeit im Umgang mit den Ressourcen: mit einem Minimum an Material und Energie muss ein Maximum an Leistung erreicht werden. Inspirationen aus der belebten Natur können uns in die Lage versetzen, unsere Technologien wirtschaftlicher und umweltschonender zu gestalten bzw. neue Technologien zu entwickeln, mit denen Umweltschäden beseitigt und vermieden werden können.

#### 4.1.2 Beispiel Phytase – Bewältigung eines Umweltproblems

Ein Beispiel ist der Einsatz des Enzyms Phytase in der Futtermittelherstellung (WODZINSKI & ULLAH 1996<sup>10)</sup>). Die Massentierhaltung von Schweinen und Geflügel stellt durch die Abwasserbelastung ein großes Problem für die Umwelt dar. Stickstoff- und Phosphorverbindungen gelangen in die Binnengewässer und führen zur Eutrophierung. Das Tierfutter enthält vor allem pflanzliche Bestandteile, die für

Allesfresser und nichtwiederkäuende Paarhufer wie Schweine nicht vollständig verwertbar sind. Pflanzen speichern Phosphate in Form des Phytins, das für Schweine und Hühner gänzlich unverdaulich ist. Ihr Futter muss mit Phosphaten künstlich angereichert werden und das Abwasser aus den Hühner- und Schweinefarmen ist hochgradig damit belastet. Die belebte Natur hat das Problem gelöst, denn Wiederkäuer können mit der Mikroflora in ihrem Pansen Phytin abbauen und sind auf keine zusätzlichen Phosphatquellen angewiesen. Ihre Mikroflora produziert ein Enzym, Phytase, das Phytin zerstört und die Phosphate freisetzt. Durch eine enzymatische Behandlung des Hühner- und Schweinefutters wäre somit das Abwasserproblem gelöst. Mit Hilfe der Gentechnik gelang es, das Phytase-Gen aus Pilzen aus dem Rinderpansen zu klonieren und das Enzym in Bioreaktoren so preiswert herzustellen, dass die Vorbehandlung des Tierfutters wirtschaftlich wird und auf den Zusatz von Phosphaten zum Futter gänzlich verzichtet werden kann. Allein in den USA würde der konsequente Einsatz von Phytase in der Schweine- und Geflügelmast verhindern, dass jährlich 82.000 Tonnen Phosphat die Gewässer belasten. Die holländische Regierung machte die Behandlung von Schweine- und Hühnerfutter mit Phytase zum Schutz der Gewässer mittlerweile gesetzlich verpflichtend.

#### Drei Quellen der Inspiration

Die belebte Natur bietet dem Menschen drei Quellen der Inspiration: Strukturen und Mechanismen, chemische Naturstoffe und genetische Information (Abb. 6).

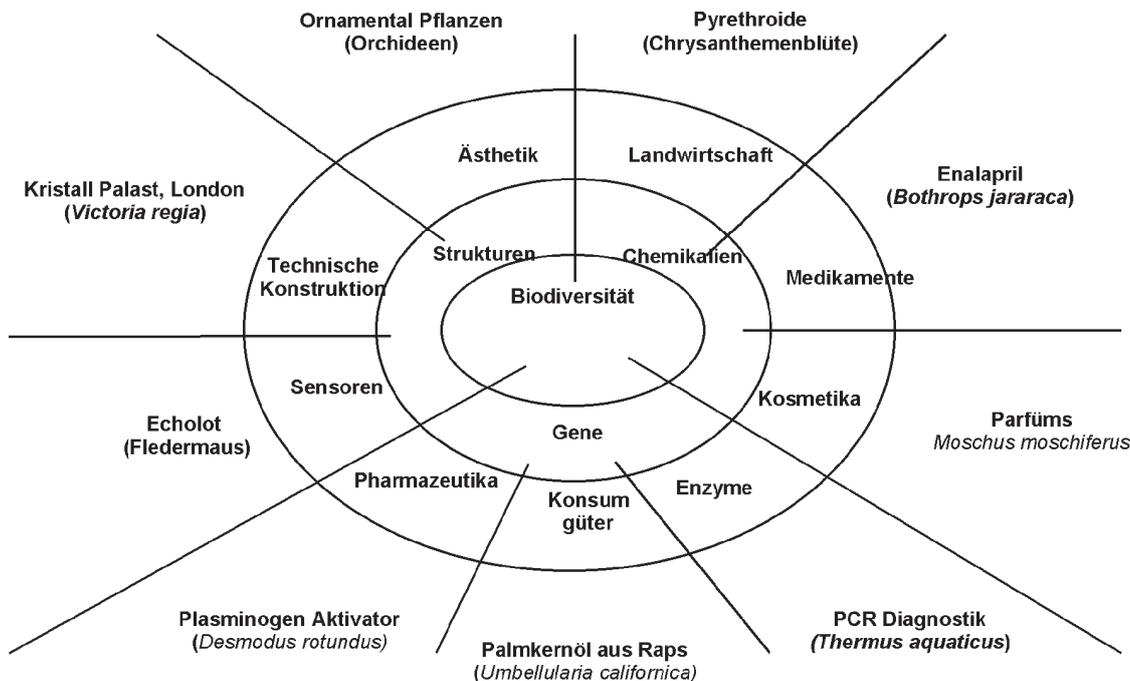


Abbildung 6

Die drei Quellen der Inspiration und Innovation aus der biologischen Vielfalt und einige Produktbeispiele (für Details siehe Text).

## 4.2 Strukturen und Mechanismen

### 4.2.1 Anwendungen aus der Bionik in der Technik

Seit Urzeiten nutzen die Menschen Vorlagen aus der belebten Natur für die Entwicklung von Werkzeugen und Konstruktionsprinzipien. Dem ersten Gleitflug eines Menschen ging ein intensives Studium der Auftriebskräfte am Vogelflügel voraus (LILIENTHAL 1889<sup>11</sup>). Im Rahmen des Wissenschaftszweigs Bionik suchen Ingenieure und Entwickler systematisch biologische Vorlagen oder Prototypen für die Lösung technischer Probleme (HILL<sup>12</sup>).

Haifische erreichen Geschwindigkeiten von über 60 Stundenkilometern, obwohl ihre Haut äußerst rauh ist und deshalb den Widerstand im Vergleich zu einer glatten Oberfläche eigentlich erhöhen sollte. Die Mikrostruktur der Haifischschuppen reduziert infolge von Grenzschichtführung Turbulenzen. Diese Erkenntnis aus der Biologie diente zum Vorbild für die Gestaltung von widerstandsmindernden Häuten für Flugzeugrümpfe (Abb. 7, NACHTIGALL 1992<sup>13</sup>). Beim Airbus können dadurch Treibstoffeinsparungen von ca. 2% erreicht werden. Die Kopfform des Delphins ist ebenfalls auf eine Reduzierung von Turbulenzen ausgelegt und diente als Prototyp bei der Entwicklung des Wulstbugs.

Bei den meisten aus der Biologie entwickelten technischen Anwendungen lässt sich der Prototyp aus der Natur nicht mehr erkennen. Wir schreiben die Entwicklung ausschließlich dem menschlichen Genius zu und verkennen die Bedeutung biologischer Vorlagen.

### 4.2.2 Das Potential tropischer Insekten in der Bionik

Die Eroberung des Weltraums wurde möglich durch systematische Erforschung von Greif- und Schreitmechanismen von Insekten durch die NASA. Auf der

Basis dieser ausgereiften Konstruktionsprinzipien wurden Mondfahrzeuge, Mondlandegeräte und Greifarme entwickelt.

Die Insekten sind vermutlich die artenreichste Gruppe von Organismen auf diesem Planeten. Über 751.000 Arten sind taxonomisch charakterisiert. Ihre wirkliche Artenzahl sollte jedoch bei über 10 Millionen liegen und der Großteil davon lebt in den Trocken-, Nebel- und Regenwäldern der Tropen.

Diese Ressource ist durch die Bionik weitgehend unerschlossen. Eine einzige Exkursion des Bionikprofessors Bernd Hill nach Costa Rica führte zur Entdeckung eines neuartigen Koppelungsprinzips bei Deckflügeln einer Fangschreckenart, welches zur Entwicklung von Kniehebel-Gelenkscharnieren mit horizontalem Heranholvermögen von Nutzen sein kann. Im Fahrzeugbau bei Verschlüssen von Ladebordwänden könnten solche Scharniere Verwendung finden. Die Analyse der Begattungsorgane von drei Arten und zwei Unterarten der Familie Diopidae erbrachte auf Anhieb vier verschiedene Koppelungsmechanismen mit Anwendungsmöglichkeiten z.B. bei Druckknopfverbindungen (HILL & NADER 2000<sup>14</sup>).

### 4.3 Chemische Vielfalt durch chemische Kriegsführung

Die Biomasse pro Hektar Regenwald wird auf ca. 900 Tonnen geschätzt. Davon machen Tiere jedoch nur knappe 0,2 Tonnen aus, also 0,0002% (KRICHER 1989<sup>15</sup>). Die Untersuchung eines Regenwaldes im Amazonasgebiet ergab, dass von den untersuchten Tierarten nur 7% lebendes Pflanzenmaterial wie Blätter und Stengel fraßen, 19% (hauptsächlich Termiten) lebendes und totes Holz und 50% sich ausschließlich von totem pflanzlichen Material ernährten. Der Rest der Arten waren Carnivoren (FITTKAU & KLINGE 1973<sup>16</sup>). Pflanzen haben Tiere also sehr wohl unter Kontrolle und schützen sich vor allem mit Chemie. Daniel JANZEN (1975<sup>17</sup>) hat es einmal sehr

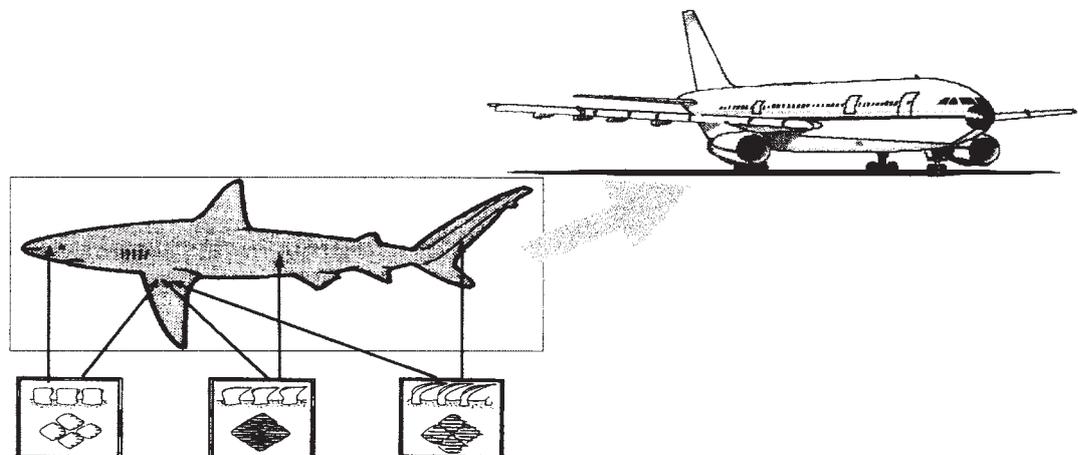


Abbildung 7

Die Haifischhaut als Vorlage für strömungsgünstige Flugzeugoberflächen (nach NACHTIGALL 1992<sup>13</sup>) und HILL 1997<sup>12</sup>).

treffend so ausgedrückt: „Durch die Augen des Pflanzenfressers ist die Welt nicht grün, sondern angestrichenes Morphin, L-DOPA, Kalziumoxalat, Cannabinol, Koffein, Senföl, Strychnin, Rotenon, etc.“ Der größte Teil der Insekten, die sich von lebendem Pflanzenmaterial ernähren, sind auf nur eine oder einige wenige Pflanzenarten und Gewebe spezialisiert. Jede Art hat dabei spezifische auf die Chemie des Wirtes zugeschnittene Methoden entwickelt, die Giftstoffe der Pflanzen durch chemische Derivatisierung oder Abbau zu entgiften oder dagegen resistent zu werden. Eine Ausnahme stellen die Blattschneiderameisen (*Atta*) dar, die sich von mehreren Pflanzenarten gleichzeitig ernähren können. Sie nutzen Pilze, um pflanzliches Material zu kompostieren und damit genießbar zu machen.

#### 4.3.1 Schlangengifte für die Medikamentenentwicklung

Der schwäbische Arzt und Naturforscher Paracelsus (1493-1541) ist der Begründer einer auf Naturbeobachtung und Erfahrung beruhenden Medizin. Er erkannte, dass jedes Gift in geringen Konzentrationen als Heilmittel eingesetzt werden kann und die Herzglykoside sind ein gutes Beispiel dafür. Getrocknete Blätter des roten (*Digitalis purpurea*) und des wolligen (*Digitalis lanata*) Fingerhuts waren seit Jahrhunderten wichtige pflanzliche Drogen zur Stärkung der Kraft des Herzmuskels. Nach dieser Regel steckt die Pflanzenwelt der Neotropen voll von bisher unentdeckten Medikamenten. Aber nicht nur die Pflanzenwelt – es war das Gift der Lanzenotter *Bothrops asper* (oder *atrox* oder *jararaca*), das eine ganze Generation von Medikamenten gegen den Bluthochdruck, die sogenannten ACE-Hemmer, entstehen ließ.

Über 6 Millionen Menschen allein in Deutschland leiden an Bluthochdruck, der in Konsequenz zur Herzschädigung, Herzinfarkt und Schlaganfall führt. In den letzten 20 Jahren ist die Zahl der Todesfälle in den USA durch Herzinfarkt um 53% und die des Schlaganfalls um 59% zurückgegangen. Dies ist auf die Einnahme von blutdrucksenkenden Medikamenten zurückzuführen und die wichtigsten gehören zur Gruppe jener ACE-Hemmer.

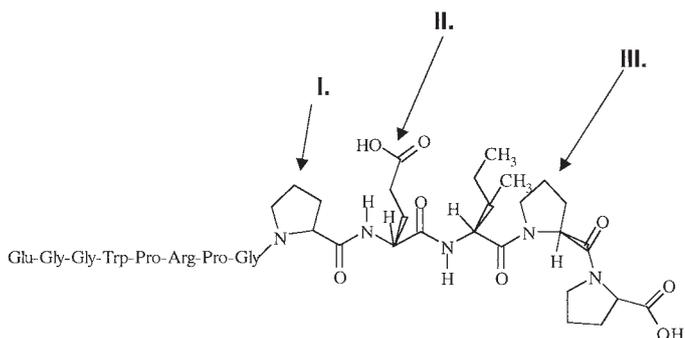
Im Gift der *Bothrops jararaca* wurde ein Peptid gefunden (Abb. 8), welches das Angiotensin konvertierende Enzym (ACE) hemmt. ACE wandelt das Peptid Angiotensin I in Angiotensin II um und Angiotensin II ist ein Peptidhormon, das den Blutdruck steigen lässt. Das Gift enthält gleichzeitig ein Enzym, welches aus Bluteiweiß Bradykinin freisetzt, ein weiteres Peptidhormon, welches den Blutdruck senkt. Damit senkt das Schlangengift den Blutdruck des Beutetiers soweit herab, bis dass der Tod eintritt.

Das Schlangenpeptid ist allerdings zum Einsatz als Arzneimittel kaum geeignet. Es kann nicht oral verabreicht werden, sondern müsste gespritzt werden. Seine chemische Synthese ist möglich, aber äußerst kompliziert. Es diente allerdings als Leitstruktur für die Entwicklung neuer synthetischer Arzneimittel. Dabei wurden die für die biologische Aktivität verantwortlichen funktionellen Gruppen des Peptids identifiziert (I., II. und III., Abb. 8) und in kleinen Molekülen wie dem Captopril (Abb. 9) und dem Enalapril (Abb. 10) (WYVRATT 1988<sup>18</sup>) nachgebaut.

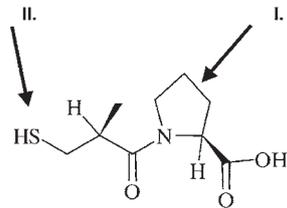
Eine Analyse dieser Entwicklungsarbeiten zeigt die außerordentliche Bedeutung von Vorlagen aus der Natur für den menschlichen Erfindergeist. Letztendlich handelt es sich bei dem Peptid der Grubenotter um eine chemische Struktur. In seiner Komplexität ist die verblüffend einfache Leitstruktur versteckt, die allein für die biologische Funktion ausreicht.

Beide Medikamente sind wirtschaftlich äußerst bedeutend. Im Jahre 1995 betragen die Umsätze mit Enalapril 2,31 Milliarden US-Dollar und die mit Captopril 1,54 Milliarden Dollar (PharmaPipelines, 1996<sup>19</sup>).

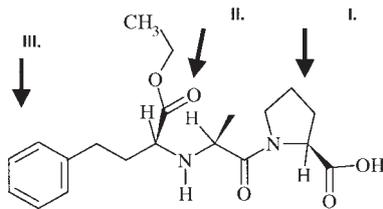
Das Gift der Lanzenotter enthält aber weitere Faktoren, die für die Arzneimittelherstellung von Bedeutung sind. Proteasen vom Thrombintyp hemmen in niedrigen Konzentrationen die Blutgerinnung und fördern sie in hohen. Daraus lassen sich gerinnungsbeschleunigende Medikamente z.B. für den Einsatz nach operativen Eingriffen entwickeln. Oder sie können zur Blutverdünnung bei peripheren Durchblutungsstörungen eingesetzt werden. Beispiele für am Markt befindliche Medikamente sind Batroxobin



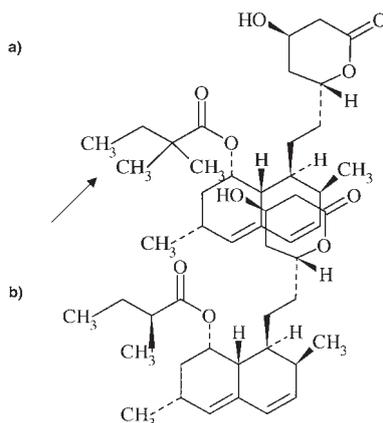
**Abbildung 8**  
Das ACE-hemmende Peptid im Lanzenottergift



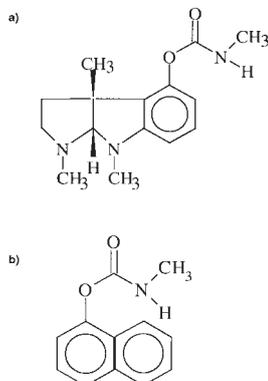
**Abbildung 9**  
**Captopril, ein Medikament zur Senkung des Blutdrucks** (Die Pfeile I und II deuten auf die aus dem Schlangenpeptid abgeleiteten Leitstrukturen hin.)



**Abbildung 10**  
**Enalapril, Prodrug**



**Abbildung 11**  
**Simvastatin aus dem Pilz *Aspergillus terrestris* und das chemische Derivat Lovastatin**



**Abbildung 12**  
**Physostigmin aus der Calabar Bohne (a) und das daraus entwickelte Insektizid Carbaryl (b)**

oder Defibrase® aus dem Gift der amerikanischen Lanzenotter (*Bothrops atrox*) oder Ancrod (Arwin®) aus dem Gift der malaisischen Grubenotter *Agkistrodon rhodostoma*.

### 4.3.2 Cholesterinsenkung mit Antibiotika

Wie die Pflanzen sind die Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien Meister der chemischen Kriegsführung. Beispiele sind die Antibiotika, die gegen mikrobielle Krankheitserreger ihren Einsatz finden. Aber auch gegen Krankheiten wie einem zu hohen Cholesterinspiegel finden Antibiotika ihren Einsatz. Ein Beispiel ist das Zocor oder Simvastatin der Firma Merck & Co. (Abb. 11a). Es wurde in einem Bodpilz, einem *Aspergillus terrestris*, gefunden und wird durch Fermentation hergestellt. Durch eine einfache chemische Veränderung, die Entfernung eines Methylrestes an der Dimethylbuttersäure (Pfeil I.), wurde mit Mevacor oder Lovastatin ein zweites Medikament entwickelt (Abb. 11b). Im Magen-Darm Trakt wird der Lactonring gespalten und es entsteht aus den Prodrugs eine Verbindung mit entzündiger  $\beta$ ,  $\delta$ -Dihydroxysäuregruppierung, die die Biosynthese von Cholesterin hemmt. Für Merck & Co. bedeutet allein Lovastatin einen jährlichen Jahresumsatz von US \$ 1,25 Milliarden.

Konkurrenz bekam Merck & Co. kürzlich durch ein weiteres Naturprodukt. Das US-Unternehmen Nature's Way brachte den Extrakt aus einer Hefe aus dem chinesischen fermentierten roten Reis auf den Markt. Diese Hefe produziert exakt das gleiche Antibiotikum Simvastatin und chinesischer roter Reis wirkt somit ebenfalls senkend auf den Cholesterinspiegel

### 4.3.3 Ein Gottesurteil als Inspiration für die Insektizidentwicklung

In Westafrika wurde die Calabar Bohne der Rankenpflanze *Physostigma venenosum* für ein Gottesurteil benutzt. Wenn der Angeklagte nach einer halben Stunde die Bohne erbrach, war er unschuldig. Wenn er aber mit Schaum vor dem Mund, zuckend und gelähmter Atmung zusammenbrach, so war die Schuld erwiesen und das Todesurteil damit vollstreckt. Atemlähmung, extremer Speichelfluss und Muskelzuckungen sind die typischen Symptome bei Vergiftungsunfällen mit auf Phosphorsäureestern basierenden Insektiziden in der Landwirtschaft. Verursacht werden sie durch die Hemmung der Acetylcholinesterase, einem Enzym, das den Neurotransmitter Acetylcholin inaktiviert. In Folge reichert sich der Transmitter im Körper an mit dem oben beschriebenen breiten Spektrum von Symptomen.

Dieses Gottesurteil brachte Chemiker auf die Spur einer neuen Leitstruktur für die Entwicklung einer neuen Insektizidgruppe. Die Calabar Bohne enthält das Alkaloid Physostigmin (Abb. 12 a), ein Ester der Carbaminsäure. Aus der Vorlage aus der Natur wurden hochaktive neue Insektizide wie das Carbaryl, Proxopur oder Bendiocarp gewonnen, denen man teilweise die Vorlage aus der Natur kaum noch ansieht (Abb. 12 b).

Entscheidend für die Wirkung ist somit wieder nur eine unscheinbare und einfache Leitstruktur, die am komplexen Molekül zunächst gar nicht auffällt.

Die Firma Bayer AG brachte kürzlich das neue Insektizid Imidacloprid auf den Markt (Abb. 13) Von den Chemikern wird behauptet, dass man sich bei der Entwicklung dieses Moleküls auf keine Vorlage aus der Natur gestützt hätte. Ein Vergleich von Imidacloprid mit dem Nikotin, das früher in der Landwirtschaft als natürliches Insektizid lebhaft Anwendung fand, zeigt jedoch klare strukturelle Ähnlichkeiten.

#### 4.3.4 Fungizidentwicklung: Pilze gegen Pilze

In dem Pilz *Strobilurus tenacellus*, dem Kiefernzapfenrübbling fand Prof. Timm Anke von der Universität Kaiserslautern das Strobilurin (Abb. 14a), ANKE et al. 1977<sup>20</sup>). Mit ihm verteidigt sich der Rübbling gegen andere Pilze, die ihm seine Nahrung, die Kiefern-

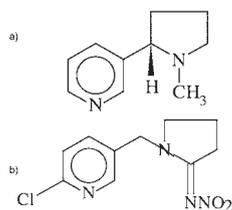


Abbildung 13  
Nikotin (a) und das Insektizid Imidacloprid (b)

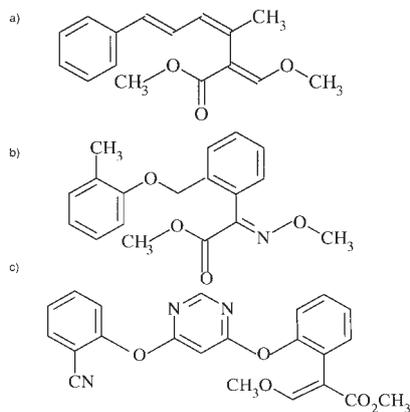


Abbildung 14  
Strobilurin (a) und die synthetisch daraus abgeleiteten Fungizide Kresoxim-methyl (b) und Azoxystrobin (c)

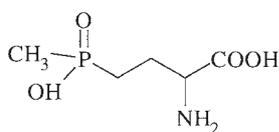


Abbildung 15  
Das natürliche Herbizid Phosphinotricin

zapfen, streitig machen wollen. Bei der BASF AG wurde aus diesem Naturstoff ein neues Fungizid entwickelt, das seit 1996 weltweit in Getreide, Obst und Reben mit großem Erfolg eingesetzt wird, das Kresoxim-methyl (Abb. 14b). Während dieses Fungizid der BASF der Vorlage aus der Natur noch relativ ähnlich ist, ist im Fungizid Azoxystrobin der Konkurrenz Zeneca die Leitstruktur, die Methoxymethylen-gruppe, kaum noch zu erkennen (Abb. 14c).

#### 4.3.5 Das Herbizid Basta – ein Naturstoff

Mikroorganismen müssen ihren Lebensraum gegen Konkurrenz aus den eigenen Reihen verteidigen und sind deshalb eine wichtige Quelle für Antibiotika und Cytostatika für die Krebstherapie. Sie müssen sich aber auch gegen Pflanzen und hier vor allem Algen zur Wehr setzen. Ein Beispiel sind Bakterien der Gattung *Streptomyces*, die Pflanzen durch den Naturstoff Phosphinotricin (Abb. 15) bekämpfen. Phosphinotricin hemmt die Glutamin Synthetase in den Chloroplasten, mit denen sich die Pflanze einen Stickstoff-speicher verschafft. Synthetisch hergestellt ist der Naturstoff unter dem Namen Basta ein äußerst erfolgreiches Herbizid, das biologisch gut abbaubar und damit umweltverträglich ist.

#### 4.4 Gentechnik und biologische Vielfalt

Anfang der siebziger Jahre wurden die Grundlagen für die Gentechnik gelegt, die die Medizin, Landwirtschaft, Lebensmitteltechnologie und technische Chemie revolutioniert. Viele Lösungen für die Probleme der Menschheit werden von ihr erwartet wie neue Nutzpflanzen und Nutztiere mit verbesserten Eigenschaften, umweltfreundliche Methodologien z. B. in der chemischen Industrie, neue Impfstoffe gegen Malaria und AIDS und Heilung von bisher als unheilbar erklärten Krankheiten wie AIDS und Krebs. In der AIDS Bekämpfung konnten bereits wichtige Medikamente mit Hilfe der Gentechnik entwickelt werden, die zumindest ein Überleben der Infizierten ermöglichen. Viele Krebsarten gelten heute als heilbar und ohne die Gentechnik wäre dies nicht denkbar gewesen.

Die Stärke dieser Technologie hängt vom verfügbaren Genpotential vor allem von wildlebenden Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen ab. Man muss kein Prophet sein, um zu behaupten, dass gerade die biologische Vielfalt der Tropen eine besondere Bedeutung durch die Gentechnologie bekommen wird.

##### 4.4.1 Herzinfarktmittel aus der Vampirfledermaus

Wie bei der Entwicklung von Insektiziden und Medikamenten sind es die Verteidigungs- und Angriffsstrategien von wildlebenden Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen, die für die Gentechnik interessant sind. Ein Beispiel ist der Speichel der Vampirfledermaus. In der Liste der Todesursachen steht in Europa und den USA der Herzinfarkt ganz oben. Er wird verursacht durch Blutgerinnsel in den Herzkranzge-

fäßen. Wenn kurz nach dem Infarkt Enzyme gespritzt werden, die diese Gerinnsel auflösen, ist der Patient gerettet. Blutgerinnsel bestehen aus quervernetztem Fibrin, einem Eiweiß also. Das Eiweißnetz kann durch Proteasen verdaut und aufgelöst werden. Eine erste Protease mit diesen Eigenschaften, die sogenannte Streptokinase, wurde aus einem gefährlichen Krankheitserreger gewonnen, dem Scharlachbakterium *Streptococcus pyogenes*. Unter dem Handelsnamen „Streptase“ der Behringwerke hat es viele Leben gerettet. *Streptococcus pyogenes* bahnt sich mit diesem Wirkstoff seinen Weg durch die Barrieren, die sein Opfer zu seiner Verteidigung aufbaut.

Aber die biologische Vielfalt der Neotropen hat Besseres zu bieten. Die Vampirfledermäuse (*Desmodus rotundus*) geben im Speichel das Enzym Desmodus Saliva Plasminogen Activator (DSPA) in die Wunde ab, das Blutgerinnsel auflöst. Es ist verwandt mit den im Menschen natürlich vorkommenden Tissue Plasminogen Activatoren (tPA). Wir schützen uns damit selber gegen Blutgerinnsel und sind somit unter normalen Umständen gegen Herzinfarkte, Thrombosen und Schlaganfälle gefeit. Gentechnisch hergestelltes humanes tPA ist seit geraumer Zeit als Mittel gegen den Herzinfarkt auf dem Markt und erzielt Umsätze, die weit über 200 Millionen Dollar pro Jahr liegen dürften. Das ebenfalls gentechnisch hergestellte Enzym aus dem genetischen Informationsarsenal der Vampirfledermaus befindet sich noch in der klinischen Prüfung, zeigt aber schon jetzt wesentliche Vorteile gegenüber der humanen Variante (SCHLEUNING et. al. 1992<sup>21</sup>).

#### 4.4.2 Pilzresistenzen aus der Froschhaut

In der Landwirtschaft hatte genetische Vielfalt schon immer eine große Bedeutung. Wenn sie vernachlässigt wurde, dann hatte das katastrophale Konsequenzen wie beim „Great Hunger“ in Irland mit einer Million Toten (siehe oben). Das Einkreuzen genetischer Resistenz in die gängigen Zuchtsorten ist jedoch langwierig. Die Gentechnik macht es möglich, Resistenzen ohne aufwendige Kreuzungen direkt in solche Zuchtsorten einzubringen. Die Resistenzen stammen dabei aus recht eigenartigen Quellen. Gegen Pilze und Bakterien sind heute Peptidtoxine in der Entwicklung, die aus der Froschhaut (Magainine),

dem Bienengift (Melittin), Pflanzensamen (Thionine), den Makrophagen aus der Immunabwehr von Säugetieren (Defensine) und der Hämolymphe der Seidenspinnerraupe (Cecropine) stammen. Diese Peptide vermitteln in den Tier- und Pflanzenorganen eine natürliche Resistenz und lassen sich über genetische Manipulation in Nutzpflanzen einbringen (EVERETT 1994<sup>22</sup>)

Magainin 2 ist ein Peptid aus der Froschhaut mit fungiziden Eigenschaften. Seine Aminosäuresequenz (Abb. 16a) besteht aus 5 positiv geladenen und einer negativ geladenen Aminosäure.

Die Wirkung beruht vermutlich darauf, dass das Molekül an die negativ geladenen Membranen der Pilze bindet und dann wegen seiner zahlreichen lipophilen Aminosäuren in die Membran integriert wird, eine stabile alpha-Helix ausbildet und somit die Membranstruktur zerstört. Magainin 2 ist ohne Veränderungen jedoch nicht als Resistenzfaktor für Pflanzen geeignet, da diese Proteasen besitzen, die das Peptid zerstören würden. Der Erfindergeist des Menschen wandte einen einfachen Trick an. Die Aminosäuresequenz verliert, wenn man sie rückwärts liest (Abb. 16b), ihre Empfindlichkeit gegen die pflanzlichen Proteasen und behält ihre biologische Aktivität gegen Pilze trotzdem bei (MAPELLI et al. 1993<sup>23</sup>)

#### 4.4.3 Koevolution und genetische Vielfalt bei *Bacillus thuringensis*

Bakterien der Art *Bacillus thuringensis* töten ihre Beutetiere ab, um sich auf dem Kadaver zu vermehren. Sie enthalten neben einer hitzeresistenten Spore, die erst unter Druck bei Temperaturen von über 110° C abgetötet werden kann, einen Proteinkristall. Spore und Kristall befindet sich z.B. im Boden oder auf Blättern und warten darauf, von Beutetieren gefressen zu werden. Im Darm entwickeln die Proteine, sogenannte Endotoxine, dann ihre toxische Eigenschaften. Die Spore keimt zum sich vermehrenden Bakterium aus.

Für jede Beutetiergruppe hat *Bacillus thuringensis* ein spezifisches Endotoxin entwickelt. Endotoxine binden an Rezeptoren auf den Zellen der Darmwand und perforieren danach die Zellmembran. Die Gene für die Rezeptoren des Wirtes und die Endotoxine des Angreifers sind vermutlich koevolutioniert und

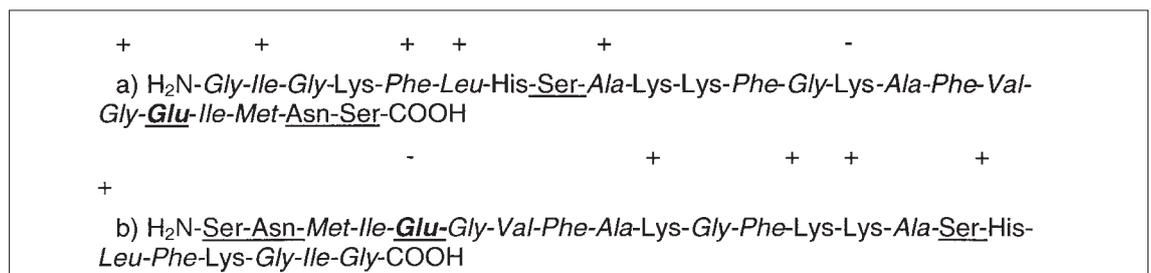


Abbildung 16

Das fungizide Peptid Magainin 2 aus der Froschhaut und synthetisches reverses Magainin 2

entsprechend haben die Endotoxine eine hohe genetische Vielfalt entwickelt. Allein das Gentechnikunternehmen Mycogen hat eine Sammlung von über 5000 *Bacillus thuringensis*-Stämmen mit verschiedenen Delta-Endotoxinen aufgebaut. Zu den Beutetieren zählen Pantoffeltierchen, Amöben, Plattwürmer, Fadenwürmer, Blattläuse, Fliegen, Schmetterlinge und Käfer (FEITELSON et al. 1992<sup>24</sup>). Die Bakterien können im Bioreaktor, im Fermenter, angezogen werden und erfreuen sich als biologische Mittel zur Schädlingsbekämpfung allgemeiner Beliebtheit. Sie werden eingesetzt gegen Moskitolarven in den Rheinauen und gegen den Kartoffelkäfer. Sie sind 80.000 mal wirksamer als Organophosphate und müssen nur in einer Konzentration von 2,5 Billionen Molekülen pro cm<sup>2</sup> gespritzt werden. Für die auch für den Menschen hochtoxischen Organophosphate benötigt man dagegen 200 Milliarden und für die weniger toxischen Pyrethroide 750 Billionen Moleküle pro cm<sup>2</sup>.

Neben dem Einsatz als Sprühinsektizid können die Delta-Endotoxine in Pflanzen gentechnisch zur Expression gebracht werden. Wegen ihrer hohen Spezifität gegen den tierischen Wirt sind die Proteine bei Verzehr für den Menschen unbedenklich und Resistenz gegen eine Vielzahl von Schadinsekten kann auf gentechnische Weise in Kulturpflanzen eingebracht werden.

Seit kurzem sind gegen Herbizide resistente Raps-, Baumwoll- und Soyasorten auf dem Markt und dominieren mittlerweile in Kanada, den USA und Argentinien die Anbauflächen. Resistenz gegen das Herbizid Basta wird dabei durch ein Enzym aus einem Bodenbakterium der Gattung *Streptomyces* aus Kamerun vermittelt. Eine Phosphinotricin-Acetylase inaktiviert durch Veresterung mit Essigsäure das oben beschriebene Herbizid Phosphinotricin oder Basta. Durch die Resistenz kann das Herbizid erheblich flexibler und sparsamer eingesetzt werden.

#### 4.4.4 Palmkernöl aus Raps von den Feldern des Mittleren Westens

Dass es sich bei der modernen Agrobiotechnologie um ein zweischneidiges Schwert handelt, bleibt unbestritten. Ein prominentes Beispiel betrifft die gentechnische Herstellung von Kokosnuss- und Palmkernöl im Raps. Diese Öle sind von großer industrieller Bedeutung bei der Herstellung von Seifen, Schokolade und Cremes, weil sie sich durch einen hohen Gehalt der kurzkettigen gesättigten Fettsäure Laurinsäure auszeichnen. Allein 1992 importierten die USA über 600.000 Tonnen dieser Öle vor allem aus Südostasien. Der Markt wächst wegen der Ausweitung der Anwendung dieser Öle weiterhin kräftig an. Die besondere ökonomische Bedeutung dieses Exportproduktes für Länder wie Malaysia und Indonesien ergibt sich aus der Tatsache, dass die meisten der oben erwähnten Brände in den Wäldern Indonesiens gelegt wurden, um Platz zu schaffen für Ölpalmlantagen. Dem kalifornischen Biotechnologie-

unternehmen Calgene, das mittlerweile vom Konzern Monsanto aufgekauft wurde, gelang es vor 6 Jahren aus der DNA einer wild wachsenden Lorbeerart Kaliforniens (*Umbellularia californica*) ein Gen für das Enzym Thioesterase zu klonieren und gentechnisch in Raps einzubringen. Das so in den Samen des Raps gebildete Canola Öl ist ein perfekter Ersatz für die Öle aus den Tropen und gedeiht prächtig im mittleren Westen der USA und Kanada. Sogar die Herstellung eines biologischen Treibstoffes, dem Biodiesel, lässt sich mit Raps realisieren. Über 70.000 Hektar mit der neuen Sorte waren 1997 bereits bepflanzt und in der Werbung von Monsanto für die neue Sorte, Laurical, heißt es: „*Bis vor Kurzem waren die Produzenten von Industrie- und Konsumgütern vom Import von Kokosnuss- und Palmkernöl aus den Tropen abhängig. Laurical (Handelsname der neuen Rapsorte) bietet eine Alternative zu Kokosnuss- und Palmkernöl zu reduzierten Kosten. Canola Öl mit hohem Anteil an Laurinsäure kann in verschiedenen geographischen Bereichen dieser Erde kultiviert werden, was die Saisonabhängigkeit und den Druck auf die tropischen Regenwälder eliminiert.*“ (Plant Biotechnology Performance Report, Monsanto, 1997, St. Louis). Mit Blick auf die brennenden Wälder Indonesiens hat diese Werbung etwas für sich. Es ist jedoch zu befürchten, dass die Auswirkungen auf die Wirtschaft und die Existenz der Menschen in vielen Tropenländern weit verheerendere Konsequenzen nach sich ziehen.

#### 4.4.5 Die Bedeutung des Yellowstone Parks bei der Erfindung der PCR

Die spektakulärste Erfindung der letzten 20 Jahre ist die Polymerase Kettenreaktion (PCR) in der Molekularbiologie (MULLIS 1987<sup>25</sup>). Das Patent war dem Schweizer Pharmakonzern Hoffmann La Roche über 450 Millionen Dollar wert. Die PCR revolutionierte nicht nur Gentechnik und Molekularbiologie, sondern auch die medizinische Diagnostik und Kriminologie. Während Patienten mit Tuberkuloseverdacht früher über einen Monat auf das Diagnoseergebnis warten und sich in Quarantäne begeben mussten, und außerdem ein hohes Risiko bestand, dass der Erreger gegen die Antibiotikabehandlung resistent war, kann die Diagnose heute innerhalb weniger Stunden inklusive von Angaben zu möglicher Resistenz gestellt werden. Schon geringe Spuren von Blut oder Sperma am Tatort erlauben über die PCR eine nahezu einhundertprozentige Täteridentifizierung über die PCR. Genetische Defekte wie hohes Brustkrebsrisiko lassen sich über die PCR innerhalb weniger Stunden diagnostizieren.

Bei der Erfindung der PCR stand ein Naturschutzgebiet Pate, der Yellowstone Park mit seinen Geysiren und heißen Quellen. In dem Bakterium *Thermus aquaticus* aus einem Geysir wurde die Taq Polymerase entdeckt, ein Enzym, das die PCR zum Laufen brachte. Dieses Enzym übersteht Temperaturen im Kochbereich und genau dies ist bei der PCR gefragt,

die aus mehreren Temperaturzyklen zwischen 40° und 96° C besteht.

In anderen Fällen sind Enzyme gefragt, die bei Temperaturen unter 10° C erst ihre volle Leistung erzielen. Hausfrauen gerade in den USA waschen heute mit kaltem Leitungswasser und nicht mehr mit Warmwasser. Das spart Energie. Leider sind die Enzyme in den Waschmitteln wie Lipasen und Proteasen hierauf nicht eingestellt und benötigen sämtlich Temperaturen oberhalb von 30° C, um fettige und eiweißhaltige Flecken zu entfernen. Nach einem U-Boot Unfall vor der kalifornischen Küste entdeckten die Sonarmessgeräte der amerikanischen Marine mehrere Walkadaver, die in der Tiefsee auf 1000 m unter dem Meeresspiegel verwesen. Kurz darauf stiegen Wissenschaftler in U-Booten hinab, um die Flora und Fauna auf diesen Leichen zu untersuchen. Die Wassertemperaturen dort unten sind niedrig und entsprechend hat sich auf den Kadavern eine ganz besondere Flora und Fauna angesiedelt, die Jahrzehnte benötigen, um die Wale bis auf die Knochen abzubauen. Sie geben spezielle Lipasen und Proteasen ab, die bei diesen niedrigen Temperaturen ihre optimale Leistung erreichen, gerade also richtig für den Vollwaschgang der heutigen Hausfrau.

## 5. Bioprospektion – neue unkonventionelle Wege im Naturschutz

### 5.1 Chemische Prospektion – Eisners Vision

Vor zehn Jahren entwickelte Tom Eisner, Professor an der Cornell Universität und Mitbegründer der chemischen Ökologie, das Konzept der chemischen Prospektion (EISNER 1989<sup>26</sup>). Er verband damit einen dramatischen Aufruf zur Rettung der Tropenwälder (EISNER 1992<sup>27</sup>). Der chemische Reichtum, der mit den Wäldern in Flammen aufgeht, ist nur einigen spezialisierten Tropenökologen und Wissenschaftlern aus der pharmazeutischen und chemischen Forschung bewusst. Wenn dieser Reichtum der Allgemeinheit bewusst würde und die Menschen in den Tropen davon profitieren könnten, wäre ein wichtiger Schritt, so das Kalkül von Eisner, in Richtung auf die Erhaltung der Wälder getan. Das Konzept wurde zum ersten Mal vom Nationalen Institut für Biologische Vielfalt des Kleinstaats Costa Rica, INBio, in die Praxis umgesetzt. 1991 unterschrieb INBio einen Vertrag mit dem US-amerikanischen Pharmariesen Merck, Sharp & Dohme, in dem chemische Prospektion für die Erhaltung der Biodiversität nutzbar gemacht werden sollte. Schon bald wurde in der Tagesarbeit des INBio klar, dass chemische Naturstoffe nicht die einzigen Schätze im Tropenwald darstellen, sondern dass genetische Information (NADER & ROJAS 1996<sup>28</sup>, TAMAYO et al. 1997<sup>29</sup>) und Prototypen für die Bionik (HILL 1997<sup>12</sup>) mindestens gleichbedeutend sind. 1994 wurde deshalb am Institut der Begriff Biodiversitäts- oder Bioprospektion eingeführt (SITTENFELD & LOVEJOY 1994<sup>30</sup>).

## 5.2 Bioprospektion – eine Begriffsbestimmung

Das Wort Prospekt hat einen lateinischen Ursprung und bedeutet Ansicht oder Ausblick. Prospektion ist im klassischen Sinne definiert *als das Aufspüren von abbauwürdigen Lagerstätten durch geologische Beobachtung, geophysikalische und geochemische Methoden ohne größere Schürf- und Bohrarbeiten* (Bertelsmann Universallexikon, 1996). In Analogie zur Prospektion von Mineralvorkommen *ist es die Aufgabe des Bioprospektors, für die Produktentwicklung geeignete Organismen oder biologische Prinzipien durch biologische Beobachtung, biophysikalische und biochemische Methoden ohne größere Eingriffe in die Natur aufzuspüren*. Diese Analogie hat dem Konzept der Bioprospektion allerdings auch geschadet, denn es wurde damit in die Nähe des naturzerstörenden Erz- und Mineralabbaus gerückt. Die Erfahrungen aus 9 Jahren Arbeit des INBio zeigen aber, dass Bioprospektion richtig angewendet einen wesentlichen Beitrag zur Naturerhaltung leisten kann.

### 5.3 Märkte für die Bioprospektion

Zur biologischen Vielfalt stehen Milliardenmärkte in Beziehung. Tabelle 1 beziffert nur die Märkte, die auf chemischen Naturstoffen und genetischer Information basieren. Die Einbeziehung der Auto-, Flugzeug-, Elektroartikel-, Maschinen- und Raumfahrtindustrie würde den Rahmen dieser Abhandlung sprengen. Anfang der vierziger Jahre entdeckte der Schweizer Erfinder George de Mestral unter dem Mikroskop das Prinzip der Haftung von Klettsamen (*Arctium* spp.). Die daraus folgenden Patente waren die Basis für das Milliardenunternehmen Velcro Industries.

Wie das Beispiel der aus dem Lanzenottergift abgeleiteten ACE-Hemmer zeigt, können einzelne biologische Prinzipien über das Schicksal von ganzen Unternehmen entscheiden. Nur mit dem ACE-Hemmer Enalapril erzielt das Unternehmen Merck, Sharp und Dohme pro Jahr 2,3 Milliarden Dollar Umsatz, also etwa 23% seines Gesamtumsatzes. Wie das Beispiel des Gens aus dem kalifornischen Lorbeerbaum und

**Tabelle 1**

**Märkte in Bezug auf Biodiversität** (verändert nach TEN KATE, 1995<sup>31</sup>) und GRÜN WALD, 1995<sup>32</sup>)

	US \$ Milliarden
Pharmamarkt, 1997	295,0
Pharmaka aus Pflanzen oder davon abgeleitet, 1993	59,0
Phytopharmaka, 1993	12,4
Pestizide weltweit	47,0
Samen (Schätzwert für das Jahr 2000)	7,0
Hortikultur (UK, 1991)	1,6
Enzyme (1993)	1,0
Kosmetika (USA, 1994)	20,0
2,5 % davon Kosmetika aus Naturstoffen	> 0,5

sein Einsatz zur Entwicklung von Laurical zeigt, können einzelne Gene Exportmärkte von ganzen Regionen beeinflussen und damit Weltpolitik machen. Biologisch-genetische Ressourcen werden ganz erheblich an wirtschaftlicher Bedeutung gewinnen, da der Bedarf der Menschheit nach umweltschonenden Problemlösungen in den nächsten Jahrzehnten wegen Überbevölkerung, knapper werdenden natürlichen Ressourcen und wachsenden Umweltproblemen ansteigen wird und gleichzeitig die Biotechnologie neue Lösungswege ermöglicht.

Tabelle 2 zeigt die 30 umsatzstärksten Pharmaka weltweit im Jahr 1997. Davon sind 13 aus Naturstoffen abgeleitet und erzielten einen Umsatz von \$ 17,5 Milliarden.

Die cholesterinsenkenden Mittel Zocor, Mevacor, Mevalotin und Pravachol entstammen sämtlich von Antibiotika, die aus Bodenpilzen (*Aspergillus terrestris* und *Penicillium citrinum*) isoliert wurden. Die blutdrucksenkenden ACE-Hemmer Vasotec (Enalapril) und Zestril (Lisinopril) sind aus dem Peptid ab-

geleitet worden, das dem Gift der Lanzenotter seine Wirkung verleiht. Voltaren (Diclofenac) ist ein schmerz- und entzündungshemmendes Mittel, das wie Aspirin aus der Salicylsäure der Weidenrinde abgeleitet ist (*Salix* spp.). Das Krebsheilmittel Taxol (Paclitaxel) wurde in einem Screening Programm des National Cancer Institute (USA) in der Rinde der pazifischen Eibe (*Taxus brevifolia*) entdeckt. Rocephin (*Ceftriaxone*) ist ein semisynthetisches Cephalosporin (*Cephalosporium* sp.) der dritten Generation und Sandimmun/Neoral (Cyclosporin) ein Immunsuppressivum aus dem Pilz *Tolypocladium inflatum*. Augmentin (Co-Amoxiclav) ist ein Kombinationspräparat aus einem Hemmstoff der Beta-Lactamase (Clavulansäure aus *Streptomyces lavuligerus* und dem semisynthetischen Antibiotikum Amoxicillin (*Penicillium* spp. or *Aspergillus* spp.). Biaxin/Klaricid (Clarythromycin) ist ein chemisches Derivat aus dem klassischen Antibiotikum Erythromycin (*Saccharopolyspora erythrea*) und Zovirax (Acyclovir) ein Virostatikum, das aus Cytosin Arabinosid aus einem Meereschwamm aus Florida abgeleitet wurde.

**Tabelle 2**

**Die Top Thirty der Pharmaka nach Umsatz im Jahr 1997** (Quelle: Wood Mackenzie's PharmaQuant, Edinburgh, UK, Jan. 1999 und MATEO et al. 2000<sup>33</sup>). Produkte, die aus der biologischen Vielfalt abgeleitet sind, sind fett gedruckt. Produkte menschlichen Ursprungs sind kursiv gedruckt.

Rang	Produkt	Produkt Kategorie	Firma	Umsatz (US \$ Mio.)
1	Losec/Prilosec	proton pump inhibitor	Astra/Astra Merck	3749
2	<b>Zocor</b>	<b>hypolipidaemic</b>	<b>Merck &amp; Co.</b>	<b>3575</b>
3	Prozac	anti-depressant	Eli Lilly	2559
4	<b>Vasotec</b>	<b>ACE Inhibitor</b>	<b>Merck &amp; Co.</b>	<b>2510</b>
5	Zantac	H2-antagonist	Glaxo Wellcome	2254
6	Norvasc	calcium antagonist	Pfizer	2217
7	Claritin	anti-histamine	Schering-Plough	1726
8	<b>Augmentin</b>	<b>penicillin antibiotic</b>	<b>SmithKline Beecham</b>	<b>1516</b>
9	Zoloft	anti-depressant	Pfizer	1507
10	Seroxat/Paxil	anti-depressant	SmithKline Beecham	1474
11	<b>Pravachol</b>	<b>hypolipidaemic</b>	<b>Bristol-Myers Squibb</b>	<b>1437</b>
12	Ciprobay	quinolone antibiotic	Bayer	1378
13	<i>Premarin</i>	<i>hormonal product</i>	<i>American Home Products</i>	<i>1328</i>
14	<b>Mevalotin</b>	<b>hypolipidaemic</b>	<b>Sankyo</b>	<b>1311</b>
15	<b>Biaxin/Klaricid</b>	<b>macrolide antibiotic</b>	<b>Abbott</b>	<b>1300</b>
16	<i>Novolin</i>	<i>human insulin</i>	<i>Novo Nordisk</i>	<i>1290</i>
17	Pepcid	H2-antagonist	Merck & Co.	1180
18	<b>Sandimmun/Neoral</b>	<b>immunosuppressant</b>	<b>Novartis</b>	<b>1166</b>
19	<i>Epogen</i>	<i>anti-anaemic</i>	<i>Amgen</i>	<i>1161</i>
20	<b>Mevacor</b>	<b>hypolipidaemic</b>	<b>Merck &amp; Co.</b>	<b>1100</b>
21	Imigran	anti-migraine	Glaxo Wellcome	1085
22	<i>Procrit/Eporex</i>	<i>anti-anaemic</i>	<i>Johnsom &amp; Johnson</i>	<i>1070</i>
23	<i>Neupogen</i>	<i>colony stimulating factor</i>	<i>Amgen</i>	<i>1068</i>
24	Adalat	calcium antagonist	Bayer	1063
25	<b>Rocephin</b>	<b>cephalosporin</b>	<b>Roche</b>	<b>1062</b>
26	Prepulsid	gastroprokinetic	Johnson & Johnson	1050
27	<b>Zestril</b>	<b>ACE inhibitor</b>	<b>Zeneca</b>	<b>1036</b>
28	<b>Voltaren</b>	<b>NSAID</b>	<b>Novartis</b>	<b>1019</b>
29	<b>Zovirax</b>	<b>anti-viral</b>	<b>Glaxo Wellcome</b>	<b>95130</b>
30	<b>Taxol</b>	<b>anti-cancer</b>	<b>Bristol-Myers Squibb</b>	<b>941</b>

#### 5.4 Bioprospektion und Naturschutz

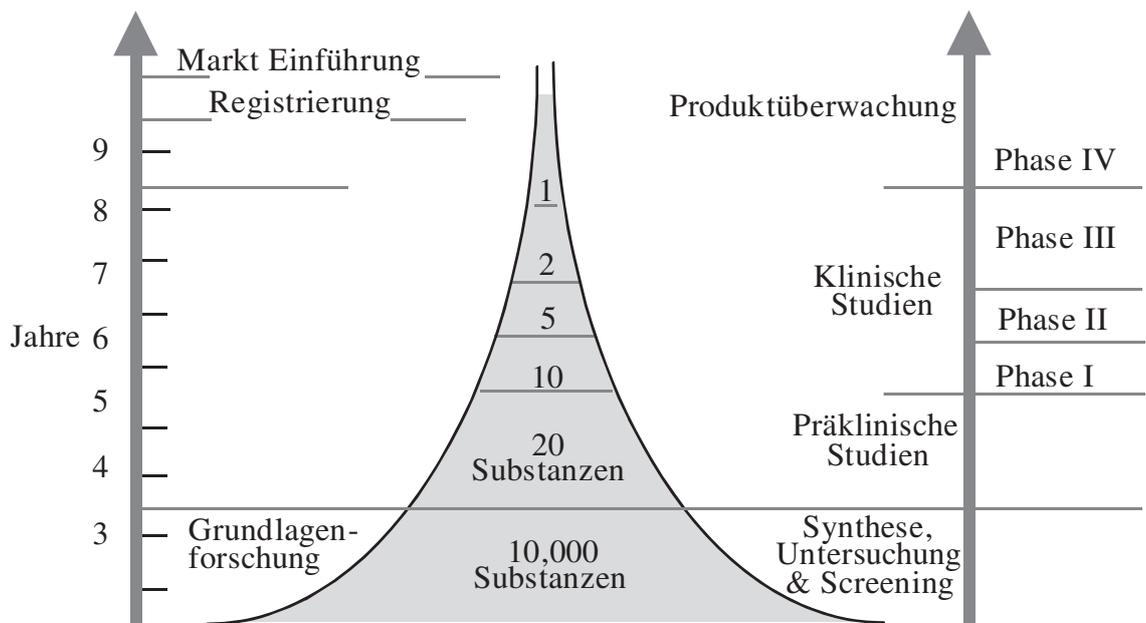
Die Tropenwaldvernichtung in Indonesien und Zentralamerika zeigt, dass die Sünden an der Natur verschiedenste und äußerst komplexe Ursachen haben. Dazu zählt das derzeitige Weltwirtschaftsgefüge mit ungerechter Preisgestaltung für die Produzenten von Rohstoffen und Agroprodukten genauso wie das Bevölkerungswachstum, das Konsumverhalten, Armut, politische Machtstrukturen und soziale Ungerechtigkeit. Hinzu kommen, wie am Beispiel der letzten Waldbrände in Indonesien und Zentralamerika und am Rückgang der Amphibienarten deutlich wird, globale Klimaänderungen und Ozonproblematik.

Die Vision Eisners ist es, über die chemische Prospektion die Menschheit wachzurütteln und auf die Bedeutung der Biodiversität der Tropen für ihr zukünftiges Wohlergehen und Überleben hinzuweisen. Die einfache Gleichung des menschlichen Egoismus lautet, dass nur das auf Dauer geschützt wird, was von unmittelbarem Nutzen ist. Immerhin haben die Aktivitäten von Tropenforschern wie EISNER, JANZEN und WILSON, die allesamt Vertreter des Konzepts des Schutzes durch Nutzung sind, die Menschen aufgerüttelt und die Vereinten Nationen zur Konvention zur biologischen Vielfalt gebracht. Das Grundkonzept der Konvention ist eine Zusammenarbeit der Länder zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Ressourcen zum gegenseitigen Nutzen.

#### 5.5 Royalties zur Finanzierung des Naturschutzes?

Die UN-Konvention zur biologischen Vielfalt legt in ihrem Artikel 15 fest, dass biologisch-genetische Ressourcen unter das Hoheitsrecht einer jeden Nati-

on fallen, in der sie sich befinden. Sie sind somit nicht Eigentum des Ursprungslandes, was auch nicht möglich wäre, da abhängig von der Region viele Arten in den Nachbarländern ebenfalls vorkommen. Die Lanzenotter, aus deren Gift die Milliardenprodukte Captopril und Enalapril entwickelt wurden, kommt nicht nur in Brasilien vor, sondern in allen Ländern der Neotropen. Die Ursprungsländer haben somit nur das Recht, den Zugriff auf ihre biologische Vielfalt zu Forschungs- und Entwicklungszwecken von Bedingungen abhängig zu machen, wie z. B. eine zukünftige Gewinnbeteiligung über Lizenzzahlungen, den sogenannten Royalties. Noch vor dem Umweltgipfel in Rio de Janeiro im Jahre 1992, bei dem im Rahmen der Agenda 21 die Konvention entwickelt wurde, hatte INBio einen solchen Royaltyvertrag mit dem Unternehmen Merck, Sharp und Dohme realisiert und damit das Konzept Eisners in die Praxis umgesetzt. (SITTENFELD & GAMEZ 1992<sup>34</sup>), NADER & ROJAS 1996<sup>35</sup>). Royalties an Ressourcenländer waren für die Pharmaindustrie zu diesem Zeitpunkt ein absolutes Novum, ja Unding, da vor allem die Erfinder und Entwickler in der Industrie die Entwicklungsleistung für sich beanspruchten. Der Vertrag zwischen INBio und Merck sieht vor, dass diese Royalties zweckbestimmt nur für die Erhaltung und Erforschung der biologischen Vielfalt Costa Ricas verwendet werden dürfen. Ob es jemals zu einer solchen Finanzierung des Naturschutzes kommen wird, hängt sehr vom Zufall ab. Die Suche nach Arzneimitteln ist ein äußerst risikoreiches Unterfangen und aus 10.000 verschiedenen chemischen Strukturen, die in ein Screening auf ein neues Medikament aufgenommen werden, hat höchstens eines eine Chance, den Markt zu erreichen (Abb. 17).



Quelle: Pharmaceutical Manufacturers Association, USA

Abbildung 17

Risiken und Zeitabläufe der Entwicklung von Arzneimitteln

## 5.6 Die Bedeutung der Bewusstseinsbildung

Die Erfahrung aus den 9 Jahren seit Bestehen des INBio hat aber gezeigt, dass die Bewusstseinsbildung um den Wert biologischer Vielfalt eine viel größere Bedeutung als die Hoffnung auf Dollarmillionen hat (GAMEZ et al. 1992<sup>36</sup>). Das Thema Biodiversität, dem vorher höchstens einige spezialisierte Wissenschaftler Bedeutung beigemessen hatten, ist in das Bewusstsein der Menschen auf nationaler und internationaler Ebene vorgezogen. Bewusstsein um Werte reicht natürlich nicht aus, wenn diese nichts einbringen. Biologisch-genetische Güter müssen auf nationaler Ebene Früchte tragen und der größte und nachhaltigste Nutzen für eine Nation besteht darin, wenn diese eigene intellektuelle, wissenschaftliche und technologische Kapazitäten aus dem Umgang mit ihren Ressourcen aufbauen kann. Transfer von Technologien und der Aufbau einer nationalen wissenschaftlich-technologischen Kapazität spielen deshalb die wichtigste Rolle bei den Kooperationen des INBio mit ausländischen Partnern. Wissen darf aber nicht auf eine geistige Elite beschränkt bleiben und deshalb hat das INBio das System der Parataxonomie aufgebaut. Diese Mitarbeiter des Instituts werden aus der ländlichen Bevölkerung rekrutiert, in Kursen über 6 Monaten in den Grundlagen der Biologie und Ökologie ausgebildet und in die 26 Forschungsstationen des Instituts in den staatlichen Schutzzonen geschickt, um dort für die nationale Inventarisierung der biologischen Vielfalt Costa Ricas Material zu sammeln.

## 5.7 Fallbeispiel INBio-Merck

Seit 1991 arbeitet INBio mit 9 Industrieunternehmen nach diesem allgemeinen Vertragsschema zusammen (Tabelle 3, NADER & MATEO 1998<sup>37</sup>). Die Zusammenarbeit mit Merck, Sharp & Dohme zielt auf die Entwicklung neuer Pharmaka aus neu zu entdeckenden Naturstoffen ab. Dabei werden Pflanzen und Insekten von INBio gesammelt, extrahiert und die Extrakte fraktioniert. Pflanzliche und aus pflanzlichen Naturstoffen abgeleitete Medikamente haben Tradition und machen ca. 25% der verschriebenen Arzneimittel in den USA aus (PRINCIPE 1989<sup>38</sup>).

Insekten wandeln dagegen Naturstoffe aus Pflanzen in neue Derivate entweder zur Entgiftung oder zur Bildung eigener Gifte oder Pheromone wie das Danaiodon um. In vielen Fällen wie den Herzglykosiden beim Monarchfalter oder den Pyrrolizidin Alkaloiden des Königinnenfalters akkumulieren sie die Gifte ohne weitere Umwandlung.

Ein Ergebnis aus der Untersuchung der Insekten bei Merck wurde kürzlich publiziert. Aus dem Extrakt des letzten Larvenstadium der Motte *Melipotis perpendicularis* fiel im Screening bei dem Pharmaunternehmen das Flavon Lonchocarpol A auf, das von Raupen akkumuliert wurde, die sich von Blättern der Leguminose *Lonchocarpus minimiflorus* ernährten (SALVATORE et al. 1998<sup>39</sup>). Lonchocarpol A war zum Zeitpunkt der Entdeckung bei Merck bereits bekannt und aus den Gattungen *Erythrina*, *Citrus*, *Lupinus* und *Sophora* isoliert und beschrieben worden. Dennoch war die Entdeckung bei Merck patentfähig, da eine neue antibiotische Wirkung gegen die bakteriellen Erreger *Staphylococcus aureus* und *Enterococcus faecium* gefunden wurde, die gegen die Antibiotika Methicillin und Vancomycin Resistenzen entwickelt hatten. Es ist aber höchst unwahrscheinlich, das Lonchocarpol A jemals auf den Markt kommen wird, da seine antibiotische Wirkung durch Serumkomponenten neutralisiert wird.

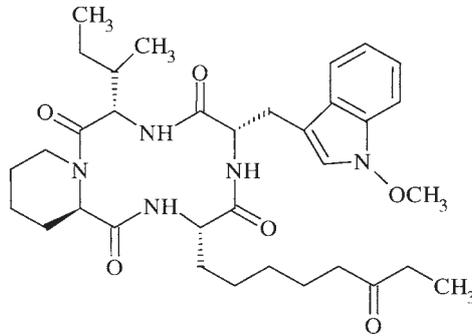
Für Merck isoliert das INBio weiterhin Pilze und Bakterien und ein interessante Ergebnis betrifft das potentielle Antiparasitikum Apicidin aus einem Pilz der Gattung *Fusarium*. Apicidin ist ein zyklisches Tetrapeptid (Abb. 18) und hemmt die Histon Deacetylase von Erregern von Tropenkrankheiten wie *Plasmodium falciparum* (Malaria), *Cryptosporidium parvum* (Cryptosporidiose) und *Toxoplasma gondii* (Toxoplasmose) (DARKIN-RATTRAYM et al. 1996<sup>40</sup>).

Cryptosporidiose wird durch Trinkwasser verbreitet und hat sich als ernstes Seuchenproblem in den städtischen Slums gerade der Entwicklungsländer etabliert. Der Parasit *Eimeria tenella* verursacht die Coccidiose in der Geflügelhaltung. Apicidin zeigt leider aber auch toxische Nebenwirkungen bei Säugetieren. Falls diese nicht durch Derivatisierungen

1. Merck & Co.:	Arzneimittelentwicklung
2. Bristol-Myers Squibb:	Arzneimittelentwicklung
3. Strathclyde University:	Arzneimittelentwicklung
4. AnalytiCon AG:	Arzneimittelentwicklung
5. Phytera, Inc:	Arzneimittelentwicklung
6. INDENA S.p.A.:	Entwicklung von Phytopharmaka
8. Givaudan-Roure:	Aroma- und Duftstoffe
9. British Technology Group, ECOS:	Entwicklung des Bionematizids DMDP
10. Intergraph Corp.:	Software
11. Diversa Corp.:	Rekombinante Enzyme

**Tabelle 3**

**Kollaborationen des INBio mit der Industrie**



**Abbildung 18**  
**Das zyklische Tetrapeptid Apicidin, ein potentielles Antiparasitikum**

abgeschaltet werden können, wird es Apicidin nie zum Markt schaffen.

### 5.8 Fallbeispiel INBio- International Cooperative Biodiversity Groups

1992 initiierten die US-amerikanischen National Institutes of Health (NIH), die National Science Foundation (NSF) und die US-Agency for International Development (US-AID) das Programm der International Cooperative Biodiversity Groups (ROSENTHAL, 1996<sup>41</sup>). In Kooperationen zwischen Unternehmen der Pharma- und Agrochemiebranche mit akademischen Forschungsinstituten und Partnerinstituten in Ländern der Tropen und Subtropen sollen neue Pharmaka und Pestizide aus chemischen Naturstoffen entwickelt werden. Fünf solcher ICBGs wurden in Peru, Surinam, Kamerun, Nigeria, Mexiko, Argentinien, Chile und Costa Rica initiiert. Die Kooperation in Costa Rica besteht aus dem US-Pharmariesen Bristol Myers Squibb, den Arbeitsgruppen von Tom Eisner und Jerry Meinwald an der Cornell Universität, dem Naturschutzgebiet Guanacaste, Arbeitsgruppen an der Universität von Costa Rica und INBio. Ziel ist die Suche nach neuen Naturstoffen aus Insekten und die Forschungen sind auf dem Konzept von Eisner zur chemischen Ökologie aufgebaut.

### 5.9 Fallbeispiel Nematicidentwicklung

Lebensmittel aus dem biologischen Anbau gewinnen international eine immer größere Bedeutung. Der Markt in Deutschland wird auf DM 1,5 Milliarden geschätzt und der in den USA auf über US \$ 2,2 Milliarden mit Steigerungsraten um die 20% jährlich. Entsprechend bedeutend ist die Schädlingsbekämpfung mit biologischen Methoden, so zum Beispiel

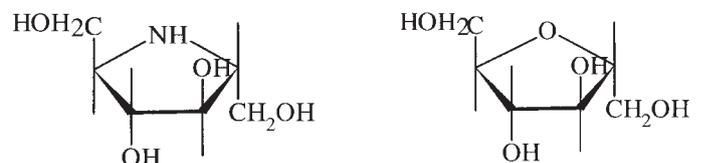
mit Extrakten des indischen Neem Baums. Aus Pflanzen wurden Pyrrolidin Alkaloide beschrieben, die Zuckeranaloge darstellen, in denen der Ring-Sauerstoff durch Stickstoff ersetzt ist. Das Deoxyjirimycin aus dem Maulbeerbaum ähnelt in der Struktur der Glucose, das 2R,5R-Dihydroxy-Methyl-3R,4R-Dihydroxypyrrolidin (Abb. 19, DMDP) aus den tropischen Leguminosen *Derris* und *Lonchocarpus* der Fructose und das Deoxymannojirimycin aus *Lonchocarpus* der Mannose.

Die Pflanzen schützen sich damit vermutlich gegen Fraß durch Hemmung von Glykosidasen. DMDP wirkt außerdem vermutlich auf die Geschmacksnerven von Insekten, so dass diese geschmacksblind werden. DMDP ist somit kein Gift und damit ein ideales Mittel zur biologischen Schädlingsbekämpfung. Besonders wirkungsvoll ist DMDP gegen Nematoden (BIRCH et al. 1992<sup>42</sup>). Die biologische Aktivität dieses Naturstoffes wurde zuerst vom Kew Royal Botanical Garden in London in Extrakten aus *Lonchocarpus*-Samen aus Costa Rica beschrieben. In einer Zusammenarbeit zwischen der British Technology Group als Patentinhaber, dem INBio und der nationalen Firmengruppe ECOS soll DMDP unter dem Schutz des Patentes (British Technology Group Ltd., 1994<sup>43</sup>) bis zur Marktreife entwickelt werden.

Mit dem Unternehmen Phytera bringt INBio Wildpflanzen in die *in vitro* Zellkultur. Solche Kulturen lassen sich z.B. durch Zellwandbestandteile von phytopathogenen Pilzen und Bakterien, sogenannten Elizitoren, zur Produktion neuartiger Abwehrstoffe stimulieren, die im pflanzlichen Extrakt entweder nicht auffallen oder gar nicht vorhanden sind. Pflanzliche Zellkulturen lassen sich außerdem aus einer nur sehr geringen Menge an Material gewinnen, so dass auch Pflanzen für die Bioprospektion zugänglich werden, die im Freiland nicht in den Mengen gesammelt werden können, wie sie die Naturstoffchemie für die Bestimmung der biologischen Aktivität und Isolierung der aktiven Substanz nachfragt.

Die Kooperation mit dem Mailänder Unternehmen INDENA sieht zum ersten Mal eine Auftragsforschungsarbeit am Institut selber vor. Aus Pflanzen mit bekannten Anwendungen gegen Infektionen z.B. der Haut werden Extrakte gewonnen und gegen pathogene Mikroorganismen getestet. Der Extrakt verlässt in diesem Fall nicht mehr das Institut, sondern wird hier selber untersucht und möglichst bis zur bioaktiven Reinsubstanz charakterisiert.

**Abbildung 19**  
**Das natürliche Bionematizid DMDP (links), ein Analog der beta-Fruktose (rechts).**



## 5.10 Fallbeispiel Genprospektion

Ziel einer Zusammenarbeit des INBio mit dem kalifornischen Unternehmen Diversa ist es, genetische Informationen als DNA direkt aus dem Wasser von heißen Quellen, den Böden tropischer Wälder, den Därmen von Insekten und anderen exotischen Proben zu isolieren. Die DNA stammt zum größten Teil aus Bakterien, deren Gene im Regelfall keine Introns aufweisen und damit direkt in Wirtsstämmen wie *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* oder *Streptomyces lividans* klonier- und exprimierbar sind. Ziel ist es, neue Enzyme für Anwendungen wie in Waschmitteln, in der medizinischen Diagnostik, zur Katalyse von Prozessen der technischen Chemie, in der Lebensmittelindustrie und bei der Prozessierung von Tierfutter zu entwickeln. Auf die Bedeutung solcher Enzyme wurde im Zusammenhang mit der Phytase und der Taq Polymerase bereits hingewiesen (siehe oben).

INBio kooperiert weiterhin mit dem Unternehmen Givaudan Roure, einem Hersteller von Duftstoffen für die Parfümindustrie, dem vertragsforschenden Unternehmen AnalytiCon AG und dem Institut für Pharmaforschung der schottischen Strathclyde University, das ebenfalls vertragsforschend tätig ist.

## 6. Ausblick

Biologische Vielfalt ist eine Ressource, deren eigentliche Bedeutung für die Problemlösung und Produktentwicklung von nur Wenigen konkret verstanden ist. Leider haben die Wissenschaftler, Entwickler und Erfinder im akademischen und industriellen Bereich, die sich dieser Bedeutung durchaus bewusst sind, diesen Reichtum selbst über die letzten Jahrzehnte hin als gegeben angesehen. Trotz des sich dramatisch zuspitzenden Verlustes biologischer und genetischer Vielfalt herrscht häufig auch die Ansicht, dass Ersatzmöglichkeiten im Labor geschaffen werden können wie die kombinatorische Chemie und Genetik. Eine Vielfalt von Molekülen und genetischer Information lässt sich in der Tat im Labor synthetisch gewinnen. Die Frage ist nur, wozu diese Vielfalt taugt. Biologische Systeme haben über Jahrtausende durch komplexe und bisher kaum durchschaute Mechanismen eine Vielfalt von hochkomplizierten Mechanismen, Mustern, Schlüssel-Schloss Prinzipien auf Ebene der Moleküle und Organe, Informationen und gegenseitigen Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten geschaffen, gegen die die ersten Gehversuche des Menschen zur Schaffung von Diversität im Labor als stümperhaft und primitiv erscheinen. Wir werden in den nächsten Jahrzehnten in immer stärkerem Ausmaße von der natürlichen Vielfalt abhängig sein, um unsere immer größer werdenden Probleme zu lösen. Die Wissenschaftler, Erfinder und Entdecker sind jetzt zur Verteidigung der Ressource aufgerufen, aus der sie ihre Inspirationen und Innovationen beziehen.

## Literatur

- <sup>1)</sup>ROPETTO, R. (1992): Accounting for Environmental Assets. Scientific American, 266, 94-100.
- <sup>2)</sup>MYERS, N (1992): The Primary Source: Tropical Forests and our Future. W.W. Norton & Co., New York, 131-135.
- <sup>3)</sup>NADER, W.; D. WERNER. & M. WINK (1999): Genetic diversity of scarlet macaws (*Ara macao*) in a breeding project and in the wild in Costa Rica. Biological Conservation, 87, 269-272.
- <sup>4)</sup>BLAUSTEIN, A.R.; P.D. HOFFMAN, D. GRAND HOKIT, J.M. KIESECKER, S.C. WALLS & J.B. HAYS (1994): UV repair and resistance to solar UV-B in amphibian eggs: a link to population declines? Proc.Natl.Acad.Sci.USA, 91, 1791-1795.
- <sup>5)</sup>POUNDS, J.A. & M.L. CRUMB (1994): Amphibian declines and climate disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog. Conservation Biology, 8, 72-85
- <sup>6)</sup>POUNDS, J.A.; Michael P.L. FOGDEN & John H. CAMPBELL (1999): Biological response to climate change on a tropical mountain. Nature, 398, 6728, 611-615 .
- <sup>7)</sup>WINK, M. (1993): Production and application of phytochemicals from an agricultural perspective. In: Phytochemistry and Agriculture (T.A. Beek & H. Breteler eds.). Clarendon Press, Oxford, 171-213.
- <sup>8)</sup>VOELKER, T.A.; A.C. WORRELL, L. ANDERSON, J. BLEIBAUM, C. FAN, D.J. HAWKINS, S.E. RADKE & H.M. DAVIES (1992): Fatty acid biosynthesis redirected to medium chains in transgenic oil seed plants. Science, 257, 72-74.
- <sup>9)</sup>MEADOWS, D.; D. MEADOWS & J. RANDERS (1992): Beyond the Limits. Chelsea Green Publ., Lebanon, NH.
- <sup>10)</sup>WODZINSKI, R.J. & A.H. ULLAH (1996): Phytase. Advances in Applied Microbiology, 42, 263-302.
- <sup>11)</sup>LILIENTHAL, O. (1889): Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst, Jena.
- <sup>12)</sup>HILL, B. (1997): Innovationsquelle Natur. Shaker Verlag, Aachen.
- <sup>13)</sup>NACHTIGALL, W. (1992): Technische Biologie und Bionik – Was ist das?. Bionareport 8: Technische Biologie und Bionik, Stuttgart, Jena und New York.
- <sup>14)</sup>HILL, B. & W. NADER (2000): Biologische Systeme, eine unerschöpfliche Innovationsquelle. Biologie in unserer Zeit, 30, 88-98.
- <sup>15)</sup>KRICHER, J.C. (1989): A Neotropical Companion: an Introduction to the Animals, Plants, and Ecosystems fo the New World Tropics. Princeton University Press, Princeton, N.J., 180.
- <sup>16)</sup>FITTKAU, E.J. & H. KLINGE (1973): On biomass and trophic structure of the central Amazonian ran forest ecosystem. Biotropica, 5, 1-14.
- <sup>17)</sup>JANZEN, D.H. (1975): Ecology of Plants in the Tropics. Edward Arnold, London.
- <sup>18)</sup>WYVRATT, M.J. (1988): Evolution of angiotensin-converting enzyme inhibitors. Clinical and Physiological Biochemistry, 6(3-4), 217-229.

- <sup>19)</sup> PHARMAPIPELINES (1996):  
Pharmaceutical Global Review, PMSI International, Lehman Brothers.
- <sup>20)</sup> ANKE, T.; F. OBERWINKLER, W. STEGLICH & G. SCHRAMM (1977):  
The strobilurins – new antifungal antibiotics from the basidiomycete *Strobilurus tenacellus*. Antibiotics (Tokyo), 30(10), 806-810.
- <sup>21)</sup> SCHLEUNING, W.D.; A. ALAGON, W. BOIDOL, P. BRINGMANN, T. PETRI, J. KRATZSCHMAR, B. HAENDLER, G. LANGER, B. BALDUS & W. WITT (1992):  
Plasminogen activators from the saliva of *Desmodus rotundus* (common vampire bat): unique fibrin specificity. Annals of the New York Academy of Sciences, 667, 395.
- <sup>22)</sup> EVERETT, N.P. (1994):  
The design of antifungal peptides for agricultural applications. In: Natural and Engineered Pest Management Agents (eds. P.A. Hedin, J.J. Menn & R.M. Hollingworth). ACS Symposium Series 551, 278-291.
- <sup>23)</sup> MAPELLI, C.; M.D. SWERDLOFF, J.I. WILLIAMS & N.P. EVERETT (1993):  
Reverse antimicrobial peptides. United States Patent Nr. 5, 519,115 to Enichem S.p.A., Italy.
- <sup>24)</sup> FEITELSON, J.S.; J. PAYNE & L. KIM (1992):  
*Bacillus thuringiensis*: insects and beyond. Bio/Technology, 10, 271-275.
- <sup>25)</sup> MULLIS, K. B. (1987):  
Process for amplifying nucleic acid sequences. United States Patent Nr. 4,683,202 to Cetus.
- <sup>26)</sup> EISNER, T. (1989):  
Prospecting for nature's chemical richness. Issues in Science and Technology, 6(2), 31-34.
- <sup>27)</sup> ——— (1992):  
Chemical prospecting: a proposal for action. In: Ecology, Economics and Ethics: The Broken Circle. (F.H. Bormann & S.R. Kellert, eds.), Yale University Press, New Haven, Ct
- <sup>28)</sup> NADER, W.F. & M. ROJAS (1996a):  
Gene Prospecting for sustainable use of the biodiversity in Costa Rica. Genetic Engineering News, New York, April 1, 1996.
- <sup>29)</sup> TAMAYO, G.; W.F. NADER & A. SITTENFELD (1997):  
Biodiversity for Bioindustries. In: Biotechnology and Plant Genetic Resources (J.A. Callow, B.V. Ford-Lloyd & H.J. Newbury eds.). CAB International, Wallingford, UK, S. 255-280.
- <sup>30)</sup> SITTENFELD, A. & A. LOVEJOY (1994):  
Biodiversity prospecting. Our Planet (UNEP: Magazine for Sustainable Development), 6(4), 20-21.
- <sup>31)</sup> TEN KATE, Kerry (1995)  
Biopiracy or Green Petroleum? Expectations & Best Practice in Bioprospecting. Overseas Development Administration, London.
- <sup>32)</sup> GRÜNWALD, J. (1995):  
The European phytomedicines market: figures, trends, analyses. HerbalGram (Austin, Tx.) Nr. 34, 60-65.
- <sup>33)</sup> MATEO, N.; W.F. NADER & G. TAMAYO (2000):  
Bioprospecting. In: Encyclopedia of Biodiversity (S.A. Levin, ed.), Academic Press Institute, 69-98.
- <sup>34)</sup> SITTENFELD, A. & R. GAMEZ (1992):  
Biodiversity prospecting by INBio. In: Biodiversity Prospecting: using Genetic Resources for Sustainable Development (W.V. Reid, S.A. Laird, C.A. Meyer, R. Gamez, Sittenfeld, A., D.H. Janzen, M.A. Gollin & C. Juma, eds.), World Resources Institute, 69-98.
- <sup>35)</sup> NADER, W.F. & M. ROJAS (1996b)  
New Rules for Natural Compound and Biotechnological Research after INBio and Rio. BIOForum (Darmstadt), 9,374-378 und 10, 414-418.
- <sup>36)</sup> GAMEZ, R.; A. PIVA, A. SITTENFELD, J.J. LEON, J. JIMENEZ & G. MIRABELLI (1992):  
Costa Rica's Conservation Program and National Biodiversity Institute (INBio). In: Biodiversity Prospecting: using Genetic Resources for Sustainable Development (W.V. Reid, S.A. Laird, C.A. Meyer, R. Gamez, Sittenfeld, A., D.H. Janzen, M.A. Gollin & C. Juma, eds.), World Resources Institute, 53-68.
- <sup>37)</sup> NADER, W.F. & N. MATEO (1998)  
Biodiversity – Resource for New Products, Development and Self-Confidence. In: Biodiversity: a challenge for development research and policy (Barthlott, Wilhelm & Matthias Winiger eds.). Springer-Verlag, Heidelberg, New York, Tokyo, 181-197.
- <sup>38)</sup> PRINCIPE, P.P. (1989):  
The economic significance of plants and their constituents as drugs. In: Economic and Medicinal Plant Research (H. Wagner, H. Hikino & N.R. Farnsworth, eds.). Academic Press, London, Vol. 3, 1-17.
- <sup>39)</sup> SALVATORE, M.J.; A.B. KING, A.C. GRAHAM, H. RUSSELL ONISHI, K.F. BARTIZAL, G.K. ABRUZZO, C.J. GILL, H.G. RAMJIT, S.M. PITZENBERGER & K.M. WITHERUP (1998):  
Antibacterial activity of lonchocarpol A. J. Nat. Prod., 61, 640-642.
- <sup>40)</sup> DARKIN-RATTRAY, S.J.; A.M. GURNETT, R.W. MYERS, P.M. DULSKI, T.M. CRUMLEY, J.J. ALLOC-CO, C. CANNOVA, P.T. MEINKE, S.L. COLLETTI, M.A. BEDNAREK, S.B. SINGH, M.A. GOETZ, A.W. DOMBROWSKI, J.D. POLISHOOK & D.M. SCHMATZ (1996):  
Apicidin: A novel antiprotozoal agent that inhibits parasite histone deacetylase. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 93, 13143-13147.
- <sup>41)</sup> ROSENTHAL, J.P. (1996):  
Integrating drug discovery, biodiversity conservation and economic development: early lessons from the International Cooperative Biodiversity Groups. In: Biodiversity and Human Health (F. Grifo. & J.P. Rosenthal eds.). Island Press, 1-16.
- <sup>42)</sup> BIRCH, A.N.E.; W.M. ROBERTSON, I.E. GEOGHEGAN, W.J. MCGAVIN, T.J.W. ALPHEY, M.S. PHILLIPS, L.E. FELLOWS, A.A. WATSON, M.S.J. SIMMONDS & E.A. PORTER (1993)  
DMDP – A plant – derived sugar analogue with systematic activity against plant parasitic nematodes. Nematologica, 39, 517-530.
- <sup>43)</sup> BRITISH TECHNOLOGY GROUP Ltd. (1994):  
Control of parasitic nematodes. US-Patent Nr. 5,376,675.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Dr. Werner Nader  
GeneScan Europe AG  
Fahrenheitstr. 1  
D-28359 Bremen



# Ohne die Erhaltung der Biodiversität keine erneuerbaren Ressourcen!

Clas M. NAUMANN

## Gliederung

Einleitung

1. Biodiversität – ein sehr altes Thema
  2. Genutzte und unbekannte Potentiale
  3. Spielregeln der Natur
  4. Artensterben einst und jetzt
  5. Der Mensch der Zukunft: mit oder ohne Natur?
  6. Schlussfolgerungen
  7. Die gesellschaftliche Bewertung des Naturerbes
- Zusammenfassung

## Einleitung

Spätestens seit der Konvention von Rio im Jahre 1992 ist das Wort „Biodiversität“ in aller Munde, wird – wie viele andere wissenschaftliche Termini – politisch missbraucht und ersetzt nicht selten die Begründung für irrationales Handeln. Der Inhalt des Begriffs ist nicht neu: bereits die klassischen Biologen des 19. Jahrhunderts sprachen von der Mannigfaltigkeit der Organismen als einem entscheidenden Aspekt der Biologie und damit unserer Umwelt. Die Mannigfaltigkeit wurde in der Tat jahrzehntelang als wesentliche Eigenschaft biologischer Systeme verstanden, bis es – mit dem Traditionsabbruch in der biologischen Forschung nach dem zweiten Weltkrieg – für viele Biologen auf einmal unschicklich wurde, sich mit der Vielfalt der Organismen auseinander zu setzen. Mit dem durch die rasante Entwicklung der experimentellen Forschung erzwungenen Reduktionismus rückten die Mechanismen der einzelnen Leistungen des Organismus und damit die Analyse proximaler Faktoren in den Vordergrund der Betrachtung. Dies drückte sich nicht zuletzt in einer entscheidenden Prioritätenverschiebung bei der Förderung von Gebieten wie der biologischen Systematik, einer theoretisch begründeten Evolutionsbiologie und –ökologie sowie der Biogeographie aus.

Diese Situation ändert sich derzeit rapide, seit nämlich in neuerer Zeit auch die Politik durch den sich rasant anbahnenden globalen Wandel der Lebensverhältnisse und der Verhältnisse, unter denen Leben existiert, in Zugzwang geraten ist. Auf einmal beginnen wir einzusehen, dass die Überlebensfähigkeit des Menschen auf diesem Globus zu einem entscheidenden Teil von dem Ausmaß abhängt, in dem es uns gelingt, die natürlichen Funktionen unserer biologischen Umwelt aufrechtzuerhalten. Und dies ist ohne

die Berücksichtigung des Aspektes der Mannigfaltigkeit nicht möglich.

Was also genau verstehen wir unter Biodiversität? Dieser – in seiner neueren Fassung von NORSE & McMANUS (1980), LOVEJOY (1980) und E. O. WILSON (1988) geprägte Begriff – umschließt die Vielfalt der Lebenserscheinungen auf genetischer und zellulärer Ebene, auf der der Individuen, Populationen und Arten und reicht bis in die vergleichende Betrachtung der Unterschiedlichkeit der Habitate, Biozöosen und Ökosysteme. Es gibt inzwischen eine Vielzahl mathematisch-statistischer Parameter um Unterschiede auf den verschiedenen Ebenen vergleichend und quantitativ zu behandeln. Im Folgenden soll unter Biodiversität im wesentlichen die Vielfalt der biologischen Arten als der primären Erscheinungsformen und – in Gestalt der lokalen Populationen – als der primären Akteure des Geschehens in den Ökosystemen verstanden werden.

## 1. Biodiversität – ein sehr altes Thema

Neuere Berechnungen gehen davon aus, dass es auf dem ca. 4,3 Milliarden Jahre alten Planeten Erde seit mehr als 3,5 Milliarden Jahren Lebenserscheinungen gibt. Ob die ersten Lebensformen durch extraterrestrische Besiedlung oder autochthon entstanden sind, ist Gegenstand heftiger Kontroversen, muss uns aber an dieser Stelle nicht weiter beschäftigen. Wichtig ist jedoch festzuhalten, dass die ursprüngliche Erdatmosphäre zu einem sehr viel höheren Anteil CO<sub>2</sub>-gesättigt war, als dies heute der Fall ist. Die graduelle Veränderung von einer CO<sub>2</sub>-reichen zu einer CO<sub>2</sub>-armen Atmosphäre ist ein Ergebnis der biologischen Evolution und der mit ihr einhergehenden Anpassungsprozesse, insbesondere der Entwicklung photosynthetisch aktiver Systeme, bei denen aus CO<sub>2</sub> und Wasser sowohl Sauerstoff als auch Kohlenwasserstoff-Verbindungen gebildet werden. Die fossile Dokumentation dieses Prozesses ist lückenhaft. Erst mit dem Kambrium beginnt vor ca. 600 Mio. Jahren der kontinuierliche Fossilbericht. Zu diesem Zeitpunkt waren aber alle großen Stämme des Tierreiches (stellvertretend seien die Arthropoden [in Gestalt der Trilobiten] und die Wirbeltiere [in Gestalt der Panzerfische] erwähnt) bereits vertreten. Der Mensch betritt die Bühne der Evolution bekanntlich erst in allerjüngster erdgeschichtlicher Vergangenheit, gegen Ende des Tertiärs, vor ca. 3-4 Mio. Jahren, zu ei-

nem Zeitpunkt also, zu dem die organismische Vielfalt in vieler Hinsicht bereits dem heutigen Artenspektrum vergleichbare Formen hervorgebracht hatte.

Die wissenschaftliche Beschäftigung mit der Artenvielfalt begann in der Antike (Aristoteles, Plutarch, Plinius) und spielte unter anwendungsbezogenen Aspekten im Mittelalter und in der Renaissance bereits eine große Rolle. Als eigene Qualität des Lebens und damit als wissenschaftliches Problem wurde sie von Carl von Linné (Carolus Linnaeus) mit seinem epochalem Werk „Systema Naturae“ in die moderne Naturwissenschaft eingeführt. Die klassische Biodiversitätsforschung begann also mit einer Art Bestandsaufnahme der Vielfalt der Arten, von deren Konstanz Linné – zumindest anfänglich – noch fest überzeugt war. Mit den von ihm bis zum Ende seines Lebens beschriebenen 6.691 Pflanzen und 4.162 Tier-Arten wurde jedoch nur ein Bruchteil der tatsächlichen Artenvielfalt erfasst. Auch heute – etwa 1,5 Millionen Tier- und Pflanzenarten sind beschrieben – scheint es, dass wir die natürliche Grundausstattung unseres Planeten erst zu einem sehr kleinen Anteil kennen. Allerdings verteilen sich die Wissensdefizite in sehr unterschiedlichem Maße auf die einzelnen Organismengruppen: so sind bei den Mikroorganismen erst etwa 4.000 Arten (von möglicherweise mehreren Millionen) bekannt, während die Wirbeltierfauna weitgehend erschöpfend bekannt ist, zumindest, was die Vögel und Säugetiere angeht. Marine Nematoden (Fadenwürmer) stellen ein weiteres enormes Forschungsdefizit dar: von den erwarteten 1 Mio. Arten sind ganze 16.000 erfasst. Vergleichbares gilt für die Arthropoden (Kleinkrebse im marinen Bereich, Insekten im terrestrischen). Beide Gruppen repräsentieren wichtige Schnittstellen der jeweiligen Nahrungsketten. Nicht zuletzt aus diesem Grunde sind verbesserte Kenntnisse dieser Taxa von großer, nicht nur ökologischer sondern auch ökonomischer Bedeutung. Neuere Hochrechnungen der rezenten Artenvielfalt haben mittlerweile zwar das in den 80er Jahren aufgrund der Forschung des amerikanischen Entomologen Terry Erwin errechnete Niveau von 80 Mio. Arten verlassen, bewegen sich aber – grob gesagt – immer noch in der Zone von 5 bis 20 Mio. Tier- und Pflanzenarten. Auch dann also ist das Defizit unseres Wissens über den Blauen Planeten immer noch erschreckend hoch. Im Vergleich zu dem Wissen, das wir uns mittlerweile über die Zusammensetzung der Atmosphäre und des Weltalls erarbeitet haben, befinden wir uns – wie ein amerikanischer Wissenschaftler zu diesem Thema einmal zutreffend feststellte – nach wie vor in einem Stadium hochgradiger Ignoranz.

## 2. Genutzte und unbekannte Potentiale

Von Weltweit etwa 8.000 bekannten Gramineen-Arten erwirtschaften etwa 20 in Kultur genommene Arten rund 90% der Weltproduktion an Getreide, hiervon sogar nur 3 Arten (Reis, Mais und Weizen) ins-

gesamt 54% der Gesamtproduktion. Diese Zahlen belegen schlaglichtartig, welches enorme Potential in den verbleibenden 7.980 Arten liegen muss. Man denke etwa an das in Europa kaum bekannte Teff-Gras, das in Äthiopien kultiviert wird und das die Eigenschaft besitzt, in kürzester Zeit große Wassermengen zu speichern, die dann während der nachfolgenden Trockenperiode zur Versorgung der heranreifenden Pflanze und ihrer Samenanlagen genutzt werden. Unter den gleichen Bedingungen angebaute europäische oder nordamerikanische Getreidearten erwirtschaften wesentlich geringere Erträge.

In jeder höheren Blütenpflanze finden sich neben den bekannten Verbindungen des Zitronensäure-Zyklus mehrere hundert sekundäre Pflanzenverbindungen, z.B. Alkaloide, Glukoside, Flavone, Terpene und viele andere chemische Klassen. Vielen dieser Sekundärsubstanzen kommt pharmazeutische Wirkung zu, ja viele von ihnen scheinen die evolutive Antwort auf zunehmenden Phytophagendruck darzustellen. Der Mensch hat sich seit alters her dieses Potentials bedient, aber nur ein Bruchteil der chemisch möglichen Verbindungen wird heute auch entsprechend genutzt. Mit jeder aussterbenden Pflanzenart verliert die Erde einen Teil des in ihr schlummernden Know-hows an Biosynthese-Wegen. Selbst wenn heute viele Medikamente durch Bio-Engineering entdeckt und zur Produktreife entwickelt werden, so bieten die natürlichen sekundären Pflanzeninhaltsstoffe ein schier unendliches Reservoir an denkbaren Substanzen, und vor allem auch an durch Jahrmillionen optimierten Wegen, diese herzustellen.

Aus pflanzlichen Materialien ganz unterschiedlicher Herkunft können heute Holz-Ersatz-Stoffe gewonnen werden (z.B. Möbel aus der in vielen afrikanischen Gewässern sich inflationär entwickelnden *Eichhornia*). Schließlich sei noch auf das enorme Potential der marinen Lebensräume für die Ernährung des Menschen hingewiesen, zugleich aber auch auf die Möglichkeiten der modernen Biotechnologie und der gerade erst in Umrissen erkennbaren Vielfalt von Nutzungsmöglichkeiten.

Für alle diese hier nur in Stichworten angedeuteten schlummernden Nutzungsmöglichkeiten der Biodiversität benötigen wir allerdings auch das Reservoir der vorhandenen Arten. Wenn wir sie verlieren, verlieren wir auch unsere Zukunft.

## 3. Spielregeln der Natur

Unter dieser Überschrift soll kurz auf die entscheidenden Wesenszüge eingegangen werden, die biologische Systeme von chemischen oder physikalischen Systemen unterscheiden. Das Verständnis dieser Prozesse und ihrer Bedeutung für das globale Ökosystem stellt die unverzichtbare Grundlage für eine rationale Bewertung der Bedeutung der Biodiversität dar. Im Folgenden werden hier nur schlaglichtartig einige der

grundlegenden Eigenschaften hervorgehoben und ihre Verzahnung miteinander kurz beleuchtet.

*Genetische Variation:* Fast alle sich bisexuell vermehrenden höheren Organismen verfügen über ein diploides Genom. Sexualität, zunächst wohl als Mechanismus der DNA-Reparatur im Rahmen der identischen Replikation entstanden, bietet durch den Prozess des crossing over während der Meiose, dem grundlegenden Vorgang bei der Gametenbildung, die Möglichkeit, unterschiedliche allele Ausprägungen der einzelnen Gene jeweils neu zu kombinieren. Dies bedeutet, dass hier – und noch einmal im Rahmen der Karyogamie, des Verschmelzens von Ei- und Spermazelle zu einem neuen diploiden Kern – ein außerordentlich breit angelegtes Potential zur Bildung neuer Individuen mit jeweils unterschiedlichen Kombinationen ihrer jeweiligen genetischen Eigenschaften gegeben ist. Die Individuen der natürlichen Populationen stellen mit ihrer enormen genetischen Vielfalt daher das eigentliche innerartliche Potential der Biodiversität dar.

*Individualität:* Geht man davon aus, dass eine einzige Taufliege (*Drosophila*) etwa 50.000 Gene besitzt, von denen vielleicht wenigstens die Hälfte polymorph sind, also in der Population in mehreren allelen Ausfertigungen vorliegen, so ergibt sich hieraus die Tatsache, dass ein durch Rekombination und Karyogamie entstandenes Individuum eine absolut einmalige Kombination von Genen (Allelen) in der zeitlichen Kette der Evolution darstellt. Individualität wird damit zur Grundlage für die Anpassungsfähigkeit der Organismen auf sich verändernde Bedingungen der Umwelt. Die Existenz des Individuums beginnt also mit der Befruchtung der Eizelle und endet mit seinem Tod. Dazwischen verläuft die ontogenetische Entwicklung des Individuums, die von der Embryonalentwicklung über die Reifung zur Reproduktionsfähigkeit und schließlich zur Seneszenz und zum Tod führt, oder doch wenigstens soweit führen kann (siehe Abschnitt über Selektion). Dort, wo die Natur von diesem Wege der Erzeugung neuer Individuen durch Klonen abweicht, gibt es – evolutionsbiologisch gut begründbare – Rahmenbedingungen, unter denen klonierte oder polyploide Organismen selektive Vorteile bieten.

*Selektion:* Die auf reproduktivem Wege erzeugte Anzahl genetisch unterschiedlicher Individuen ist weit aus größer als das, was die Tragkapazität der Umwelt mittelfristig verkraften kann. Differentieller reproduktiver Erfolg der genetisch unterschiedlichen Individuen führt nun zwangsläufig zum Mechanismus der Selektion. Die bewertet – im statistischen Mittel – die Qualität der genetisch bedingten Merkmalsausprägungen und limitiert daher die Anzahl der in der nächsten Generation zur Reproduktion gelangenden Individuen. Anders gesagt, die Fitness eines Individuums bemisst sich an der Anzahl von Nachkommen, die es im Verhältnis zur Gesamtpopulation in die nächste Generation zu bringen vermag. Evoluti-

on mit den treibenden Kräften von Mutation und Selektion ist damit der grundlegende Prozess, der es den Organismen ermöglicht, auf die in nicht vorhersehbarer Weise schwankenden Umweltbedingungen ihres Lebensraumes zu reagieren.

*Interaktionen:* Keine einzige Art vermag ohne Wechselbeziehungen zu anderen Arten zu existieren. Aus diesem Netz an Wechselbeziehungen resultiert letztendlich die Komplexität der ökosystemaren Prozesse. Als typische Wechselbeziehungen zwischen Organismen seien hier nur kurz erwähnt: Blüten-Bestäuber-Interaktionen, Räuber-Beute-Beziehungen, Symbiosen oder die Wechselwirkungen zwischen Parasiten und ihren Wirten. Die Anzahl derartiger Interaktionen ist – entsprechend der Anzahl der Tier- und Pflanzenarten – Legion.

*Energie- und Stoffflüsse:* Die Einbindung aller Organismen in Nahrungspyramiden oder – besser gesagt – Nahrungsnetze führt logischerweise dazu, dass an jeder ökologischen Schnittstelle oder bei jeder trophischen Interaktion Energieverluste auftreten (durch Veratmung und Verstoffwechslung). Letztendlich führen die Stoffflüsse zu Kreislaufsystemen, bei denen jede ausgeschiedene Verbindung an irgendeiner Stelle des Systems weiterzerlegt und letztlich wieder neu in das System eingebunden wird. Mit der Energie verhält es sich anders: die durch die Photosynthese chemisch gebundene Energie des Sonnenlichtes wird letztendlich im Zuge der stoffwechselphysiologischen Prozesse im Laufe der Nahrungsketten nach und nach unwiederbringlich freigesetzt. Das bedeutet, dass das System Erde überhaupt nur funktionsfähig ist, weil ihm kontinuierlich von der Sonne Energie zugeführt wird – nicht zu viel, weil dann die Lebensprozesse wegen überhöhter Temperaturen nicht mehr ablaufen könnten. Hieraus wird unmittelbar klar, dass die Leistungen der Organismen an durchaus enge physikalische und biochemische Rahmenbedingungen gebunden sind, die weder über- noch unterschritten werden dürfen.

*Populationswachstum:* Führt man einer Bakterienkultur neben den Agar-Verbindungen, auf denen sie wächst, auch alle anderen Nähr- und Wachstumsstoffe zu, z.B. die erforderlichen Mineralstoffe, so wächst sie kontinuierlich – bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Zufluss unterbrochen wird. Dann wird sich sehr rasch herausstellen, dass eine der benötigten Ressourcen als erste ins Minimum gerät. Diese wird also in ihrer Verfügbarkeit das weitere Wachstum der Population regulieren. Die begrenzte Verfügbarkeit der zuerst limitierten Ressource sorgt also für den Übergang vom exponentiellen Wachstum der Population zum sog. Logistischen Wachstum. Es wird noch zu diskutieren sein, ob diese prinzipiell für alle Lebewesen der Biosphäre geltende Regel auch für die Entwicklung des Menschen Gültigkeit hat.

Die grundlegenden Prozesse biologischer Aktionen führen also von der genetisch bedingten Individualität

lität über den unterschiedlichen Reproduktionserfolg ebendieser Individuen zur Selektion. Die Leistungen der Individuen im Ökosystem sind von ihren physiologischen (ethologischen, morphologischen etc.) Eigenschaften bestimmt und tragen über die unterschiedlichsten Formen von Wechselwirkungen zu den ökosystemaren Energie- und Stoffflüssen bei.

#### 4. Artensterben einst und jetzt

Extinktionsereignisse haben in der Geschichte der Evolution stets eine große Rolle gespielt. Es sei hier nur an zwei der wenigstens sechs großen Faunenschnitte erinnert, die relativ gut belegt sind, an das Artensterben an der Devon-/Karbon-Grenze und das am Übergang von Kreide zum Tertiär, das zu dem Aussterben der in der Kreidezeit erdbeherrschenden Dinosaurier geführt hat. Artensterben – auch in katastrophalen Ausmaßen – sind also auf der Erde nichts Neues. Was also unterscheidet das heute festzustellende, durch menschliche Aktivitäten bedingte Artensterben von den fossil bekannten Ereignissen? Zum einen ist dies die Tatsache, dass in historisch (und paläontologisch erst recht!) aller kürzester Zeit nicht nur lokale Lebensgemeinschaften, sondern ganze Ökosysteme der Vernichtung preisgegeben werden. Tatsächlich haben sich die Ökosysteme im Laufe der Evolution nach den fossilen Aussterbeereignissen wieder erholt, haben sich zu – wie es scheint – jeweils artenreicheren neuen Gemeinschaften weiterentwickelt. Dieser Prozess hat aber jedes Mal viele Millionen Jahre gedauert. Wahrscheinlich wird auch nach den jetzt ablaufenden Massen-Extinktionen ein – wenn auch kleines – Potential für die Entstehung neuer Ökosysteme auf dem Globus verbleiben. Nur wird dieser Prozess alle für den Menschen in seiner begrenzten historischen Dimension relevanten Zeitmaßstäbe überschreiten. Daraus ergibt sich nur eine einzige, unmittelbar umzusetzende Konsequenz.

#### 5. Der Mensch der Zukunft: mit oder ohne Natur?

Als biologisches Wesen ist der Mensch mit seinen Fähigkeiten und physiologischen Leistungen auf eine enge Konstellation von Rahmenbedingungen angepasst, die sich ausschließlich aus den Leistungen der ihn umgebenden Biosphäre, also der Tier- und Pflanzenarten unseres Planeten und der auf sie einstrahlenden Sonnenenergie ergeben. Dies bedeutet letztendlich, dass auch die oben kurz diskutierten „Spielregeln der Natur“ auf den Menschen zutreffen.

Worin unterscheidet sich der Mensch dann aber von den ihn umgebenden Tier- und Pflanzenarten? Als einziges Wesen dieses Globus hat der Mensch dank seiner geistigen Fähigkeiten nicht nur eine biologische Evolution durchgemacht, die ihn von einem aufrecht gehenden, relativ wenig behaarten Primaten zu dem gemacht hat, was wir heute überwiegend in ihm

sehen: den einzigen Organismus der seine Umwelt nicht ausschließlich im Wechselspiel, in der ständigen Interaktion mit den anderen Organismen seiner Umwelt verändert, sondern der seine ökologische Nische aktiv, d.h. mit Blick auf das Ergebnis der Veränderungen gezielt planend verändert. Dass er dabei niemals alle Konsequenzen einer Veränderung im Auge haben kann und dann nicht selten von den ungewollten „Neben“-Effekten überrollt wird, ist angesichts der Vernetztheit der Lebensbeziehungen sicherlich unvermeidlich. Dieser Prozess der geplanten Veränderungen der Umwelt hat vom ersten Faustkeil zum modernen 1000-Megahertz-Computer und zum Internet geführt. Was zur Zeit der Erfindung des Faustkeils angesichts einer nur relativ unbedeutenden Populationsdichte des Homo sapiens kaum von Belang sein konnte, erweist sich heute als Klumpfuß der ganzen Entwicklung: die technische Revolution des Menschen ist ein energie-abhängiger Prozess. Er benötigt über die aus der unmittelbaren Sonneneinstrahlung zur Verfügung stehenden Energie weitere Energie. Wir haben uns im wesentlichen angewöhnt, diese Zusatz-Energien entweder aus rezenten (Holz!) oder fossilen Kohlenstoff-Lagerstätten (Kohle, Öl, Gas) zu bestreiten. Mit der intensiven Nutzung dieser Zusatz Energien ist es im Verlaufe der Evolutionsgeschichte des Menschen gelungen, alle durch Ressourcenverknappung auch für uns geltenden Begrenzungskrisen erfolgreich zu umschiffen – ein Prozess der letztendlich zum Anwachsen der Erdbevölkerung auf rund 6,0 Milliarden im Jahr 2000 und – nach den neuesten Schätzungen – auf 9,3 Milliarden im Jahr 2050 geführt hat bzw. führen wird. Angesichts der Tatsache, dass aber auch alle uns zur Verfügung stehenden Energiequellen endlich sind, muss sich der Mensch dringender denn je darauf einrichten, dass es langfristig nur eine einzige ihm dauerhaft zur Verfügung stehende Ressource zur Deckung aller seiner Bedürfnisse geben kann: Die biologische Artenvielfalt, die – im Gegensatz zu allen anderen Ressourcen – die einmalige Eigenschaft der Regenerierbarkeit besitzt. Nur wenn es uns also gelingt, die Ressourcennutzung so zu steuern, dass wir nicht die dauerhafte Regenerationsfähigkeit der biologischen Rohstoffe, der Arten und ihrer Lebensräume, gefährden, wird die Spezies Homo sapiens eine längerfristige Überlebenschance auf diesem Globus haben können.

#### 6. Schlussfolgerungen

Aus diesen Überlegungen ergeben sich einige insbesondere im politischen und sozialen Bereich umzusetzende Konsequenzen:

1. Der ständig ansteigende Energieverbrauch der Weltbevölkerung verändert schrittweise die biophysikalischen, chemischen und atmosphärischen Rahmenbedingungen. Damit wird langfristig das physiologische Optimum, an das Homo sapiens angepasst ist, überschritten werden. Als Konse-

quenz werden drastische Beschneidungen des Energie-Verbrauches unvermeidbar sein.

2. Das Bevölkerungswachstum des Menschen konzentriert sich überwiegend auf die Gebiete höchster Artenvielfalt, die sog. Diversitätszentren in den Tropen und Subtropen. Hieraus resultiert die weltweit größte Bedrohung für die Zukunft aller Menschen. Eine Veränderung der sozialen Rahmenbedingungen mit dem Ziel einer signifikanten Reduktion der Geburtenraten in den Diversitätsländern muss notwendigerweise auch im wohlverstandenen Eigeninteresse der Industrieländer liegen.
3. Die fortschreitende Zerstörung selbst der entlegensten primären Lebensräume (tropische Regenwälder, Steppengebiete, Moore, Korallenriffe, Mangrovenwälder, Hoch- und Tiefsee, um nur einige Beispiele zu nennen) benimmt uns der dringend für die zukünftige Entwicklung unserer Lebensgrundlagen benötigten Ressourcen.
4. Die erschreckenden Defizite unserer Kenntnisse über die Grundausstattung des Planeten müssen dringend beseitigt werden. Das „Raumschiff Erde“ kann nur flott gehalten werden, wenn wir seine Strukturelemente und ihre Funktionen in detail und in der Wechselwirkung detailliert kennen und erforschen. Dazu bedarf es nicht nur des gesellschaftlichen Willens, sondern auch der Allokation entsprechender Forschungsressourcen. Es klingt wenig überzeugend, wenn die Menschheit Milliarden Dollar ausgibt, um festzustellen, ob sie ggf. zu einem späteren Zeitpunkt auf den Mars auswandern könne. Man muss sich wohl auch über das demokratische Selbstverständnis derjenigen wundern, die uns die Methode, nach der entschieden werden soll, welcher Promille-Anteil der 6 oder 9,5 Milliarden Menschen zählenden Weltbevölkerung dann auswandern darf, vorenthalten. Nein, hier geht es schlicht um vorsätzlich falsche und unverantwortliche Ressourcenverteilungen, die nichts aber auch gar nichts mit der Überlebensfähigkeit des Blauen Planeten zu tun haben.

## **7. Die gesellschaftliche Bewertung des Naturerbes**

Während traditionelle menschliche Gemeinschaften in allen Teilen der Erde es verstanden haben, gesellschaftlich etablierte Regularien zu entwickeln, die einer Übernutzung der Naturschätze entgegenwirken sollen, ist diese Fähigkeit der Industriegesellschaft of-

fensichtlich verloren gegangen. Die Entscheidungszyklen und damit die Gewichtung von Argumenten beruht auf den relativ kurzfristigen Legislaturperioden der modernen Demokratie. Damit werden langfristige Zielsetzungen den kurzfristigen Zielen der Wiederwahl und der des momentanen ökonomischen Wohlbefindens der Gesellschaft untergeordnet. Dieser Verlust der ethischen Bewertung des Naturerbes scheint geradezu symptomatisch für die moderne Industriegesellschaft, gleich welcher Prägung zu sein. Ein Blick auf die Verteilung der Forschungsmittel übernationaler, nationaler und regionaler Regierungen belegt dies sehr deutlich.

Es ist an der Zeit, dass wir uns als zukunftsorientierte und politische Wesen unter dem Druck der dramatischen Ereignisse des Globalen Wandels dazu durchringen, neue Wertmaßstäbe zu entwickeln, in denen das natürliche Erbe der Menschheit in seiner zukunftsentscheidenden Bedeutung sachgerecht und verantwortlich bewertet wird. Bei diesem Prozess des Umdenkens ist nicht nur die Politik, sondern die gesamte Gesellschaft und die gesamte Menschheit gefordert.

### **Zusammenfassung**

Biologische Vielfalt findet sich auf einer Reihe sehr unterschiedlicher, aber eng miteinander verknüpfter hierarchischer Ebenen. Es wird gezeigt, dass die natürliche Artenvielfalt – nach der Erschöpfung der fossilen Rohstoffquellen – die einzige für die menschliche Nutzung dauerhaft zur Verfügung stehende und damit nahezu unbegrenzt wertvolle Ressource des Raumschiffs Erde darstellt. Vorbedingung für ihre dauerhafte Nutzung ist allerdings die Entwicklung nachhaltiger Nutzungsmuster, die die einmalige Regenerationsfähigkeit dieser Ressource nicht gefährden. Die modernen Industriegesellschaften müssen gemeinsam mit den Staaten der höchsten Diversität lernen, die Zukunftspotentiale der Biodiversität neu zu bewerten und sie für die eigene zukünftige Entwicklung zu erhalten.

### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Clas M. Naumann  
Zoologisches Forschungsinstitut und  
Museum Alexander Koenig  
Adenauerallee 160  
D-53113 Bonn  
E-mail: c.naumann.zfmk@uni-bonn.de



# Warum soll Biodiversität geschützt werden? Das Problem der Bewertung der Biodiversität aus umweltethischer Sicht

Kurt JAX

## Gliederung

1. Einleitung
2. Ethik, Werte und Naturschutz
3. Zur Entwicklung des Biodiversitätsbegriffs
  - 3.1 Ist Biodiversität ein naturwissenschaftlicher Begriff?
  - 3.2 Biologische Vielfalt: vom Phänomen zu dessen Wertschätzung
4. Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen ethischer Bewertung
5. Fazit  
Literatur

### 1. Einleitung

Die gegenwärtige Debatte über den Umgang mit biologischer Vielfalt oder „Biodiversität“ ist von Beginn an stark von der Überzeugung eines hohen Werts dieser Vielfalt geprägt. Unter den Argumenten, die für diesen Wert genannt werden, sind auch immer wieder solche, die als „ethische“ bezeichnet werden. Das ist kein Zufall, denn die Frage nach Werten, und nach der Bewertung von Sachverhalten und Handlungen, ist ein originäres Feld der Ethik. Es fällt jedoch auf, dass diese auch in anderen Zusammenhängen (z.B. der BSE-Problematik) zunehmend verwendeten Argumente in ihrem Stellenwert und ihrer genauen Bedeutung seltsam vage und schlagwortartig bleiben. So wird im Naturschutz vielfach unter einem ethischen Argument (oder einer ethischen Begründung) nur das verstanden, was auf eine Betonung eines Eigenwertes der Natur hinausläuft. Dies ist jedoch bereits eine unzulässige Engführung dessen, was unter Ethik und der noch jungen Teildisziplin der Umwelt- und Naturschutzethik zu verstehen ist. Noch mehr Unklarheiten bestehen bei der Frage, in welchem Verhältnis denn naturwissenschaftliche „Fakten“ und (moralische) Werte stehen, wie sie zu vermitteln sind, und welche Autorität beide im Naturschutzdiskurs beanspruchen können.

Die Philosophie – hier die Ethik – und die Naturwissenschaften – hier vor allem die Ökologie – sind Wissenschaftsbereiche, die methodisch sehr unterschiedlich vorgehen. Im Folgenden möchte ich die angesprochene Verhältnisbestimmung zwischen diesen beiden Bereichen vornehmen und darauf aufbauend dann die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen der Ethik bei der Bewertung von Biodiversität diskutieren. Dazu werde ich zunächst einige Ausführun-

gen zu den Eigenarten von Ökologie, Naturschutz und Ethik sowie allgemein zur Frage der Bewertung machen. Danach werde ich mich der aktuellen Biodiversitätsdebatte zuwenden und mittels eines kurzen historischen Exkurses zeigen, dass diese – im Gegensatz zu der älteren Diskussion um den Zusammenhang zwischen Diversität und Stabilität – von Beginn an einen politischen und keinen rein naturwissenschaftlichen Charakter hatte, was entsprechend auch für den Biodiversitätsbegriff selbst gilt. Von dieser Analyse ausgehend werde ich dann die Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen einer ethischen Bewertung der Biodiversität diskutieren und in einem Fazit schließlich nach den Aufgaben fragen, die sich für Naturwissenschaftler und Ethiker – und alle sonst am Biodiversitätsdiskurs beteiligten Personen und Gruppen – hier stellen.

### 2. Ethik, Werte und Naturschutz

Was also ist Ethik und in welchem Verhältnis steht sie zu Ökologie und Naturschutz? Die Ökologie hat als biologische Teildisziplin den Anspruch einer Naturwissenschaft. Naturwissenschaften machen Aussagen über empirische Tatsachen („Fakten“), d.h. über das, was in einem deskriptiven Sinne *falsch* oder *richtig* ist. Demgegenüber ist es Aufgabe der Ethik, Urteile darüber zu ermöglichen, was *moralisch gut* oder *schlecht*, *wünschenswert* oder *nicht wünschenswert* ist.

Wichtig ist dabei zu sehen, dass dies nicht bedeutet, dass nun die Naturwissenschaften rein „objektiv“ und wertfrei seien, sein könnten. Die Objektivität naturwissenschaftlicher Erkenntnis ist aus erkenntnistheoretischen Gründen eingeschränkt; das „Wesen“ der Dinge, das „Ding an sich“ ist uns, wie wir seit Kant wissen, nicht zugänglich. Wir können lediglich versuchen, das, was sich allen erkennenden Subjekten in gleicher Weise und nachprüfbar erschließt, *intersubjektiv* zu beschreiben. Auch sammeln Naturwissenschaftler nicht einfach nur „neutral“ Fakten. Schon die Entscheidung für eine bestimmte Fragestellung ist ein interessengeleiteter und damit wertender Akt. Zudem müssen die empirischen Daten, wenn es sich um wissenschaftliches Arbeiten handelt, auch im Licht einer jeweils zugrunde gelegten Theorie *interpretiert* werden. Daher sind auch die

Naturwissenschaften von subjektiven Wertentscheidungen bestimmt, wenn es auch normalerweise nicht um moralische, sondern um methodische Wertentscheidungen geht.

Umgekehrt ist die Ethik nicht einfach ein formales abstraktes Nachdenken ohne Bezug zur materiellen – wie auch immer letztlich nie vollständig erkennbaren – Realität. Ethik geht von den Alltagserfahrungen handelnder Subjekte in einer materiellen Welt aus. Der Philosoph (und z.Zt. Politiker) Julian Nida-Rümelin formuliert diesen Zusammenhang so:

„Den Ausgangspunkt der Ethik bilden moralische Überzeugungen. Moralische Überzeugungen beziehen sich darauf, was gut ist, welche Handlung moralisch unzulässig ist, welche Verteilung als gerecht gelten kann etc. Die ethische Theorie versucht, allgemeine Kriterien für gut, richtig, gerecht etc. zu entwickeln, die im Einklang sind mit einzelnen unaufgebar erscheinenden moralischen Überzeugungen und andererseits Orientierung in den Fällen bieten können, in denen unsere moralische Auffassung unsicher oder sogar widersprüchlich ist.“ (NIDA-RÜMELIN 1996, S. 3).

Ethik ist somit die *Theorie der Moral*, die über Moralen reflektiert, ihre Kohärenz und Widerspruchsfreiheit prüft und sie zu begründen versucht. Sie ist eine Wissenschaft, denn sie arbeitet nach einem systematischen nachvollziehbaren Kodex von methodischen Regeln, wenngleich auch keine *Naturwissenschaft*.

Innerhalb der Ethik ist die Umwelt- und Naturschutzethik ein relativ junges Gebiet. Traditionell befasst sich Ethik lediglich mit dem moralisch richtigen Umgang von Menschen *untereinander*. Der Umgang mit nichtmenschlichen Objekten rückt, ungeachtet einzelner Vorläufer, insbesondere im Tierschutz, erst seit etwa 30 Jahren zunehmend ins Blickfeld der Ethik (historisch orientierte Übersichten bei HAMPICKE 1993, NASH 1989). Ausgangspunkt dafür war die ab den 1960er Jahren zunehmend thematisierte „Umweltkrise“, für deren Wahrnehmung besonders „Silent spring“ von Rachel CARSON (1962) und der Bericht des Club of Rome (MEADOWS et al. 1972) als Marksteine bedeutend waren.

Auf die verschiedenen Positionen der Umweltethik werde ich unten noch näher eingehen. Hervorgehoben werden soll jedoch hier bereits, dass Umweltethik nicht gleichbedeutend mit einer Auffassung ist, dass die Natur „um ihrer selbst“ zu schützen sei. Ethische Reflexionen des Mensch-Naturverhältnisses können – und sollen – genauso die verschiedenen Bedürfnisse von Menschen (einschließlich ökonomischer und ästhetischer Bedürfnisse) einbeziehen und stehen somit nicht in einer Entgegensetzung zu diesen. Ethik bezeichnet die kritische Auseinandersetzung mit Werten und Normen und nicht eine ganz bestimmte Ausrichtung und Begründung dieser (s. a. ESER & POTTHAST 1997). Auch anthropozentri-

sche Begründungen des Naturschutzes (s. u.) sind Ergebnis ethischer Reflexionen.

Naturwissenschaften wie die Ökologie machen also idealiter Aussagen über ein „Ist“, während die Ethik wissenschaftlich fundierte Aussagen darüber anstrebt, was wir *sollen*. Beide stehen in einem Ergänzungsverhältnis, wenn es um die Analyse konkreter menschlicher Handlungszusammenhänge geht. Ein solcher Handlungszusammenhang ist der Naturschutz. Schon im Wort „Naturschutz“ selbst ist eine über das deskriptive hinausgehende Werthaltung impliziert, nämlich, dass es *gut* ist, Natur zu schützen, zu bewahren. D.h. Naturschutz hat eine essentiell moralische Dimension. Der Naturschutz beinhaltet somit sowohl naturwissenschaftliche, geisteswissenschaftliche und zusätzlich politische Aspekte, denn in ihn gehen nicht nur Fragen nach der Beschreibung von Natur oder nach einer Technik für den Umgang mit ihr ein, sondern essentiell solche nach Zielen und Werten, sowohl des Einzelnen wie der Gesellschaft als Ganzer.

Damit ist die Frage der Bewertung angesprochen. Werte drücken Einstellungen darüber aus, ob etwas gut oder schlecht, wünschenswert oder nicht wünschenswert ist. Im Rahmen von Naturschutzdiskussionen wird das Wort „Wert“, bzw. seine anwendungsbezogene Form „Bewertung“, in einer ganzen Anzahl von Bedeutungen verwendet. WIEGLEB (1997) unterscheidet vier, ESER & POTTHAST (1997) differenzieren sogar zwischen sechs Bedeutungen („Bewertungsebenen“), die oftmals in der Praxis des Naturschutzes zusammen auftreten. Einige dieser Bedeutungen würden allerdings besser mit dem Wort „Beurteilung“ („assessment“ im englischen Sprachgebrauch) als mit dem Wort „Bewertung“ bezeichnet. So wird beispielsweise die Bestimmung eines Saprobienindex üblicherweise als ein *Bewertungsverfahren* für Fließgewässer bezeichnet. Hier handelt es sich in der Praxis aber lediglich um den Abgleich empirischer Daten mit einer zuvor festgelegten Skala, also um eine *Beurteilung* des Gewässerzustandes anhand dieses Verfahrens. Die erstmalige Erstellung oder spätere Modifizierung dieses Verfahrens, die theoretische Auswahl und Anordnung verschiedener Zustände auf der Skala, beinhalten indessen durchaus diverse Werturteile, ebenso wie es ein Werturteil darstellt, bestimmte Saprobienstufen als Ziel für einen Gewässerzustand für anstrebenswert oder für nicht anstrebenswert zu halten.

„Wert“ wird im folgenden immer im Sinne einer *Bewertung* durch ein wertendes Subjekt gebraucht, d. h. nicht im Sinne von „Messwert“, Beurteilungskriterium im oben genannten Sinne, o. ä. Nicht alle solche Werte sind auch moralisch relevant: z. B. gibt es auch ästhetische oder ökonomische Werturteile, die keine *unmittelbare* Handlungsrelevanz im Sinne von moralisch gutem oder schlechtem Handeln haben, obwohl sie indirekt handlungsrelevant werden können, wenn es etwa gilt, die ästhetischen oder ökonomi-

schen Bedürfnisse von Menschen als moralisch relevant anzuerkennen.

Es ist wichtig, hervorzuheben, dass auch dann, wenn man davon ausgeht, dass Werte nicht „objektiv gegeben“ und damit unabhängig von einem wertenden Subjekt sind (s.u.), sie nicht einfach nur „Geschmacksfragen“ sind. Werte und Werturteile können (und müssen in vielen Fällen, so bei der Überführung in Normen) einer Diskussion in einem gesellschaftlichen Kontext unterliegen; sie können gerechtfertigt und unterschiedlich gut begründet werden (ausführlicher siehe ESER & POTTHAST 1997).

Die Frage nach dem Wert von Biodiversität liegt genau im Grenzbereich von Ökologie und Ethik. Die wissenschaftliche Ökologie beschreibt Biodiversität und ihre Dynamik lediglich. Es besteht aus einer immanent naturwissenschaftlichen Perspektive weder die Notwendigkeit noch die Möglichkeit Aussagen zu ihrem Wert zu machen. Diese Frage ergibt sich erst in einem gesellschaftlichen, speziell einem Naturschutzkontext. Die Ethik wiederum ist alleine, d.h. ohne ein – von der Ökologie bereitzustellendes – Wissen über die materiellen Bedingungen dessen, was als Biodiversität bezeichnet wird, nicht in der Lage die Frage nach deren Wert zu beantworten. Dies kann daher nur in einer interdisziplinären Weise und unter Hinzuziehung eines gesellschaftlichen Diskurses geschehen. Die genannten Bereiche, also Ökologie, Ethik und Naturschutz, sind jedoch nicht nur alle zusammen für die Lösungen der Frage nach dem Wert der Biodiversität verantwortlich, sondern eine jede auch für die Probleme, die diese Lösung gegenwärtig so schwierig machen. Um dies zu verstehen, ist es hilf- und aufschlussreich zunächst einen Blick auf die Geschichte des Biodiversitätsbegriffs zu werfen.

### 3. Zur Entwicklung des Biodiversitätsbegriffs

#### 3.1 Ist Biodiversität ein naturwissenschaftlicher Begriff?

Vor der Mitte der 1980er Jahre initiierten und mit großer Schnelligkeit populär gewordenen Diskussion um die Bedeutung der biologischen Vielfalt gab es bereits eine andere „Diversitäts“-debatte. In den 1960er Jahren nämlich kam das Thema in Form der sogenannten Diversitäts-Stabilitäts-Frage auf die Tagesordnung der wissenschaftlichen Ökologie. Ausgelöst durch einige mehr qualitative Überlegungen der Tierökologen Charles Elton (im Zusammenhang mit der Frage nach den Auswirkungen sogenannter „invasiver Arten“ auf Lebensgemeinschaften von Pflanzen und Tieren, ELTON 1958) und Robert MacARTHUR (1955) wurde die Frage behandelt, inwieweit eine höhere Artenvielfalt auch eine höhere Stabilität der ökologischen Systeme zur Folge habe. Wurde diese Frage zunächst affirmativ beantwortet, so kamen mathematische Modelle zu diesem Thema bald zum gegenteiligen Ergebnis und postulierten ei-

ne geringere Stabilität bei wachsender Artenzahl und damit wachsender Komplexität des Systems (z.B. MAY 1973). Die so angestoßene Kontroverse und die Hoffnung, mit ihrer Klärung eine wertvolle simple allgemeine Regel zum Verständnis von ökologischen Systemen zu finden, führte zu einer Unmenge an Publikationen über das Thema (siehe GOODMAN 1975 und TREPL 1995 für Übersichten), ohne jedoch die strittige Frage lösen zu können. Ende der 1970er Jahre jedoch ebte die Flut der Publikationen über die scheinbar unlösbare Frage ab, die Diskussion schien im Sande zu verlaufen. Als die British Ecological Society Ende 1986 zur Vorbereitung ihres 75jährigen Bestehens eine Umfrage unter ihren Mitgliedern durchführte, welches die wichtigsten Konzepte der Ökologie seien, schaffte es die „Diversitäts-Stabilitäts-Hypothese“ gerade noch auf Rang 35 (CHERRITT 1989).

Im Jahr 1986 kam es jedoch zu einer Wiederbelebung des Themas „Diversität“ in Ökologie und Naturschutz, diesmal in neuem Gewand und mit der vorher nicht benutzten Vorsilbe „Bio-“. Diese Veränderung weist schon auf einen ersten wichtigen Unterschied der beiden Diversitäts-Debatten hin. Die Diversitäts-Stabilitätskontroverse war – auch wenn der Anstoß bei ELTON (1958) zunächst von einer Naturschutzfrage ausging – eine fast rein ökologisch-innerwissenschaftliche; die besondere Kennzeichnung als „biologische Diversität“ war insofern überflüssig, da es unter Biologen ohnehin klar war, dass es um diese Art von Vielfalt ging. Anders die neue Biodiversitätsdiskussion, die zwar von Biologen mit initiiert wurde, aber explizit aus einem Naturschutzanliegen geboren und zur Vermittlung an breite Schichten der Gesellschaft gedacht war, einen offen politischen Impetus hatte. Im Hintergrund stand ganz offen die Sorge um die zunehmende Vernichtung von Arten und Lebensräumen. Das Thema „Biodiversität“ wurde 1986 auf einer Tagung der National Academy of Science und der Smithsonian Institution von verschiedenen prominenten Biologen und Naturschutzexperten unter großer Publikumswirkung eingeführt (vgl. den aus der Tagung hervorgegangenen Sammelband von WILSON 1992; englisches Original 1988) und in der Folge nicht zuletzt durch die Umweltkonferenz von Rio de Janeiro und die dort beschlossene Biodiversitätskonvention (Übereinkommen über die Biologische Vielfalt vom 5. Juni 1992) zum Allgemeingut einer globalen Umweltpolitik. Die Details dieser ERFINDUNG (sic!) der Biodiversität sind sehr gut dokumentiert, können aber hier nicht im einzelnen ausgeführt werden (siehe dazu aber ausführlich TAKACS 1996 und ESER 2001).

Während also Vielfalt in der Diversitäts-Stabilitäts-Debatte fast ausschließlich deskriptiv benutzt wurde, meist in Form der Artenvielfalt (hier: Artenzahl) oder diverser abgeleiteter mathematisch-informations-theoretischer Indices wie der bekannte Shannon-Weaver-Index (vgl. WHITTAKER 1972, MAGUR-

RAN 1996 für Übersichten), trug „Biodiversität“ von Beginn an einen wertenden und appellierenden Charakter. Er war also in diesem Sinne nie ein rein deskriptiv-naturwissenschaftlicher Begriff, sondern ein bewusst wertbeladener und politisch durchtränkter bzw. ein Hybrid aus naturwissenschaftlichem und politischem Begriff (s. ESER 2001). Dazu trägt auch die große Vagheit des Terminus „Biodiversität“ bei, die weit über die – selbst schon sehr breite – Bedeutung dessen hinausging, was unter den „alten“ Begriff der Diversität subsumiert wurde.

Sieht man sich etwa die Konvention über die biologische Vielfalt an, so heißt es dort, dass „biologische Vielfalt“

„bedeutet [...] die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören;

Dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme.“

Übereinkommen über die Biologische Vielfalt (5. Juni 1992)

Diese Definition umfasst so viel, dass wenig in der lebendigen Welt nicht unter sie fällt. Folglich kommen mehrere prominente von TAKACS (1996) befragte „Biodiversitätsforscher“ auch zu der Aussage, dass „Biodiversität“ als „life in all its dimension and richness and manifestations“ (Michael Soulé), „shorthand for the richness of life“ (Reed Noss) oder „the living resources of the planet“ (Paul Ehrlich) zu definieren sei. Es handelt sich also hier nicht um einen scharf begrenzten naturwissenschaftlichen Begriff, auf den aufbauend prognostische Theorien entwickelt werden könnten.

In mancher Hinsicht gibt es große Parallelen zur ersten Diversitätsdebatte. Ein Hauptgrund für das Versanden dieser Kontroverse und die (scheinbare) Unlösbarkeit der Frage nach dem Zusammenhang von Diversität und Stabilität lag nämlich – neben Problemen in der empirischen Datenlage – wesentlich in einer Vieldeutigkeit der Worte „Diversität“ (oft auch: „Komplexität“) und „Stabilität“. So konnte PIMM (1984) z. B. aufzeigen, dass sich viele scheinbare Widersprüche zwischen diversen theoretischen und empirischen Studien rapide auflösten, wenn erkannt wurde, dass sich hinter den genannten Worten nicht ein, sondern mehrere unterschiedliche Begriffe verbargen, deren Relationen es je getrennt zu betrachten galt (z. B.: Artenvielfalt vs. Vielfalt der Interaktionen bei der Diversität, oder Konstanz vs. Resilienz bei der Stabilität; siehe auch ORIAN 1975, GRIMM & WISSEL 1997). Es ist nur folgerichtig, dass neuere Untersuchungen, die sich auf einzelne Komponenten dieses Fragenkomplexes konzentrieren (so besonders die Arbeiten der Gruppen um Tilman und Naeem; siehe z. B. TILMAN 1999 für eine Übersicht) viel

versprechende Ergebnisse produzieren – wenngleich auch diese alles andere als unumstritten sind (vgl. KAISER 2000).

Die begriffliche Unschärfe und der Charakter eines politischen, Werte und Fakten verschmelzenden Begriffes machen jedoch den Biodiversitätsbegriff keinesfalls wertlos. Er ist in seiner *allgemeinen* Form als *naturwissenschaftlicher* Begriff unbrauchbar, aber er spielt gerade aufgrund der genannten Eigenschaften eine bedeutende Rolle für den Naturschutz. Ähnlich wie beim Begriff der Nachhaltigkeit und zunehmend auch bei dem des Ökosystems bzw. des Ökosystemmanagements (siehe JAX 2001) werden von unterschiedlichsten Interessengruppen dem Begriff unterschiedlichste Inhalte und Werte zugeordnet. Diese reichen bei der Biodiversität von einem Schutz der (z. B. für die Pharmaindustrie) nutzbaren genetischen Ressourcen über einen Schutz der Vielfalt „um ihrer selbst willen“ bis hin zum Selbstbestimmungsrecht indigener Bevölkerungsgruppen über die Ressourcen ihres Gebietes (s. ESER 2001). Trotz der Unterschiede der Interessen und Interpretationen von „Biodiversität“ gelingt es, mit der offenbar die meisten Menschen intuitiv ansprechenden Idee vom vielfältigen Wert der Vielfalt die verschiedenen Gruppen an einen Tisch zu bringen und Lösungen voranzutreiben, die möglichst viele Seiten zufrieden stellen. Die erstaunliche Akzeptanz dieses Begriffs ist im übrigen nicht zuletzt auch dem Odium des „objektiven“ und „naturwissenschaftlichen“ zu verdanken, welches ihm weiter anhängt.

„Biodiversität“ und ähnliche Begriffe haben somit eine integrierende Funktion, welche die alten Fronten innerhalb der Naturschutzdiskussion aufgebrochen haben und dem Ziel näher kommen, menschliche Nutzung und Schutz von Natur nicht mehr als prinzipiell unvereinbare Ziele anzusehen. Man muss jedoch im selben Atemzug auch darauf hinweisen, dass die so erfreuliche allgemeine Zustimmung zur Erhaltung von Biodiversität auch Gefahren birgt. Die Breite des Begriffs, die es fast jedem erlaubt, seine ihm wichtigen Teilaspekte daraus zu isolieren, und seine jeweiligen Wertvorstellungen darauf zu projizieren, kann schnell vorhandene Konflikte verschleiern und ihre notwendige offene Austragung behindern. Wenn alle Biodiversität schützen, so droht die Gefahr, dass im Schatten dieser scheinbaren Harmonie jeder doch nur das weiter macht, was er ohnehin tun wollte, alte Handlungsweisen mit neuen Namen belegt und letztlich doch nur Machtkonstellationen den Ausschlag geben. Diesem Problem – so es bewusst gemacht wird – kann jedoch vorgebeugt werden, indem nicht zuletzt im konkreten Fall die einzelnen Definitionen und Wertvorstellungen offengelegt und diskutierbar gemacht werden.

In solchen Debatten gilt es dann nicht zuletzt klarzulegen, was eigentlich jeweils das genaue Objekt des Schutzes von Biodiversität ist, denn Natur als „Ganzes“ kann kein operationalisierbares Schutzbob-

jekt sein. Hier ist auch eine notwendige Aufgabe der Naturwissenschaften, der Ökologie, für den konkreten Fall das, was jeweils mit „Biodiversität“ gemeint ist, fassbar und operationalisierbar zu machen. Denn wenn nach dem Wert von Biodiversität gefragt wird, so muss auch klar sein, nach dem Wert von *was* hier eigentlich gefragt wird.

### 3.2 Biologische Vielfalt: vom Phänomen zu dessen Wertschätzung

Dennoch scheinen sich alle Beteiligten soweit einig zu sein, *dass* biologische Vielfalt in ihren unterschiedlichen Formen wertvoll ist. Aber warum ist sie wertvoll? Einer der Gründer der amerikanischen Naturschutzbiologie, Michael SOULÉ, gab in einem Interview mit Edward GRUMBINE darauf die folgende Antwort (GRUMBINE 1994, p 103f.; Übersetzung K.J.):

„Edward Grumbine: Warum glauben Sie, dass Biodiversität gut ist?

Michael Soulé: Ich weiß nicht. Es ist eine Intuition von mir und wahrscheinlich von vielen Ökologen und Naturkundlern. Ob es deshalb ist, weil wir in einer vielfältigen Welt aufgewachsen sind, oder es etwas eher genetisch determiniertes ist...

Grumbine: So etwas wie „Biophilia“<sup>1)</sup>

Soulé: Ich weiß nicht. Es ist nur meine Intuition. In anderen Worten, ich liebe Diversität. Ich liebe es, ein weites Spektrum von Arten und Lebensräumen zu sehen. Es ist eine ästhetische Erfahrung und es ist schwer zu definieren, was der Unterschied zwischen ästhetisch und spirituell ist.

Grumbine: Aber lässt sich nicht einfach aufgrund empirischer Erfahrung sagen, dass Prozesse der natürlichen Selektion und Evolution dazu tendieren, Diversität hervorzubringen? Wäre dies nicht eine ausreichende Basis für die Norm ‚Diversität ist gut‘?

Soulé: Ich bin anderer Meinung, denn dann setzen Sie sich in dem logischen Imperativ fest zu sagen, dass alles, was die Evolution je hervorgebracht hat, gut sei, und ich würde dem nicht zustimmen. Wenn Sie dieser Argumentation zu ihrer logischen Schlussfolgerung folgen, würde das bedeuten, dass der Faschismus und Hitler gut wären, weil sie natürlich sind. Daher würde ich sagen nein, nicht alles, was die Evolution hervorbringt, ist gut.“

Dieses Zitat ist in mehrfacher Hinsicht interessant. Zum einen weist Soulé explizit die ihm nahegelegte Interpretation einer von „der Natur“ vorgegebenen Begründung für die moralische Norm, dass Diversität gut ist, zurück. Er vermeidet damit das, was in der Philosophie als „naturalistischer Fehlschluss“ be-

zeichnet wird, den *unvermittelten* Schluss von einem Sein auf ein Sollen (vgl. BIRNBACHER 1997 für eine differenzierte Behandlung dieses Problems). Zum anderen bietet uns Soulé als Alternative eine *Intuition* an, die Aussage, dass die Wertschätzung von Vielfalt für ihn ein unmittelbar einsichtiger bzw. emotional geprägter Eindruck ist. Diese Haltung, dieses Gefühl, dürften sehr viele Menschen und vielleicht sogar die meisten Biologen und Naturschützer mit ihm teilen – einschließlich ich selbst. Soulé ist hier erfrischend ehrlich, indem er nicht vorgibt, unwiderlegbare, gar „naturwissenschaftliche“ Argumente für den Wert der Vielfalt vorbringen zu können.

Solche Intuitionen sind wichtige, ernst zu nehmende (und motivierende) Ausgangspunkte, die auf die unbewussten Gründe von Wertüberzeugungen verweisen. Erst durch ihre Explizierung werden wir auf Widersprüche und Brüche in diesen aufmerksam und können versuchen, zu einem logisch kohärenten System von Normen und deren Begründungen zu kommen. Intuitionen alleine reichen jedoch nicht aus, um eine ethische Argumentation zu begründen.

### 4. Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen ethischer Bewertung

Kann (biologische) Vielfalt, „die Eigenschaft von Gruppen oder Klassen von Einheiten des Lebens, sich voneinander zu unterscheiden“ – so die Definition von SOLBRIG (1994, S. 9) – kann also Biodiversität ein Wert sein, der unabhängig vom Menschen den Naturdingen anhängt, ein „objektiver Wert“ oder „intrinsischer Wert“ sozusagen?

Drei Probleme stellen sich für eine solche Position:

- 1) das der Begründung
- 2) das der Explizierung und
- 3) das der gesellschaftlichen Konsequenzen.

Ad 1) Für jede Begründung einer ethischen Norm gilt, dass sie mindestens zwei Ansprüchen gehorchen muss, nämlich denen der Rationalität und der Verallgemeinerbarkeit. Wenn handlungsorientierte Werte in Normen, d.h. in Handlungsregeln, überführt werden sollen, die menschliches Verhalten leiten, dürfen sie nicht einfach persönliche Vorlieben sein, sondern müssen für jeden Betroffenen nachvollziehbar und akzeptabel sein. Genau auf solche Begründungsstrukturen reflektiert die Ethik. Theoretisch sind mehrere Formen der Begründung für die Existenz eines intrinsischen Wertes der Vielfalt denkbar: eine religiöse, eine intuitive und eine naturalistische. Eine religiöse Begründung scheidet in einer pluralistischen Gesellschaft jedoch aus, weil sie nicht mehr von allen Mitgliedern der Gesellschaft geteilt werden kann. Die naturalistische Begründung unterliegt dagegen dem Problem des Sein-Sollens-Fehlschlusses

1) „Biophilia“ meint eine genetisch bedingte Affinität zur Vielfalt der Naturdinge, speziell der biologischen Arten. Der Ausdruck geht auf Edward O. Wilson zurück (vgl. WILSON 1984).

und die intuitive Begründung einer mangelnden Nachvollziehbarkeit für jene, die diese Intuition nicht teilen.

Ad 2) Intrinsische Werte erscheinen zunächst als „selbstverständlich“ und eben sozusagen als „naturgegeben“. Das führt dazu, dass man ihre genaue Explizierung leicht unterlässt. Werte müssen für eine ethische Behandlung jedoch in Worte gefasst werden. Gerade bei intrinsischen Werten führt das aber dazu, dass die vermeintliche „intuitive“ Übereinstimmung darüber sich leicht als Illusion erweist.

Ad 3) Wenn man zeigen könnte, dass es einen intrinsischen Wert der Vielfalt gäbe, so wäre das zunächst für den Naturschutz ein großer Vorteil – zumindest aus der Sicht vieler Naturschützer. Denn intrinsische Werte sind nicht diskutabel, sie sind *absolut*, d. h. unhintergebar, und nicht mehr Gegenstand einer Abwägung gegenüber anderen, möglicherweise konfligierenden Werten. Damit hätte der Naturschutz endlich jenes schlagkräftige Argument zur Verfügung, das ihm erlaubte, den mächtigen anderen Interessen Entscheidendes und nicht Relativierbares entgegenzusetzen. Aber selbst wenn Vielfalt ein solch „objektiver Wert“ wäre, so gilt, dass die gesellschaftlichen Konsequenzen einer solchen Position ausgesprochen problematisch sind (vgl. HAMPICKE 1993). Die Konsequenz nämlich wäre, dass in jedem Falle die Erhaltung von Vielfalt als Wert absolut zu berücksichtigen wäre, auch wenn dabei andere Werte und Güter auf dem Spiel ständen. Dies führte zu gesellschaftlichen Folgen, die absolut unserem Empfinden von moralisch richtigem Verhalten widersprechen würden, die *contraintuitiv* wären und nicht gewünscht werden können. Denn es kann sowohl zu Widersprüchen zwischen der Erhaltung verschiedener Formen der Diversität kommen (die Vielfalt auf der Artenebene muss keinesfalls mit der Vielfalt auf anderen Hierarchieebenen einhergehen). Zudem kommt das Ziel einer Erhaltung von Biodiversität leicht in Konflikten mit anderen Werten, so etwa schon im Naturschutz selbst mit der Erhaltung (von Natur aus) artenarmer Ökosysteme oder die Erhaltung von Wildnis (vgl. SARKAR 1999) mit Werten, die *originär* gesellschaftlicher Art sind. Ganz zu schweigen davon, dass „künstlich“ erzeugte Diversität im Naturschutz oft unerwünscht ist (vgl. z. B. ANGERMEIER 1994). HAMPICKE (1993, p. 79) bezeichnet, nicht zu Unrecht, einen solchen unhintergehbaren intrinsischen Wert (nicht nur den der Vielfalt) als einen „großen Unruhestifter in der Gesellschaft“.

Wenn also Vielfalt selbst nicht ein intrinsischer Wert, ein vom Menschen unabhängiger Wert ist, und wenn, auch unabhängig davon, biologische Vielfalt nicht in allen Fällen als wertvoll und wünschenswert erachtet

wird, welcher oder welche anderen Werte verbergen sich dann dahinter? Ein erneuter Blick auf die Biodiversitätskonvention und deren Entstehungskontext zeigt, dass es sich nicht um einen einzigen, sondern eine ganze Reihe von Werten handelt, welche mit der biologischen Vielfalt verbunden werden: ökonomische, ästhetische, solche, die auf menschliche Gesundheit und menschliches Wohlbefinden abzielen, sowie solche, die auf Existenz und Wohlbefinden anderer Lebewesen bezogen sind. Ihre große Unterschiedlichkeit verweist sowohl auf die bereits diskutierte Unbestimmtheit des Gegenstands der mittels der „Biodiversität“ geschützt werden soll, als auch auf unterschiedliche Begründungsmuster. Zum Teil ist hier nämlich die Erhaltung von Diversität lediglich ein Mittel, das auf etwas anderes abzielt (z. B. Profite, menschliche Gesundheit, die Erhaltung der menschlichen Lebensgrundlagen) oder sie ist selbst das Ziel. Das ist kein Widerspruch zu der oben geäußerten Kritik am intrinsischen Wert der Vielfalt. Vielmehr gilt es hier, eine wichtige Differenzierung zu machen, deren Vernachlässigung im Naturschutz oft zu unnötigen Fronten und Missverständnissen geführt hat.

Denn neben einem rein *instrumentellen* Wert von Dingen, die auf deren Nutzen abzielen, gibt es nicht nur einen Selbstwert im Sinne eines intrinsischen Wertes, sondern auch einen der zwar von der Perspektive ausgeht, dass der Mensch es ist, der Werte setzt bzw. zuschreibt, der aber dennoch nutzenunabhängig ist. Das heißt, ich kann der Überzeugung sein, dass eine seltene Vogelart im Amazonas-Urwald auch dann einen Eigenwert hat, wenn sie uns nie irgendeinen ersichtlichen Nutzen bringen wird, nicht einmal den, dass ich sie als Tourist (oder Zoobesucher) sehen werde. Ein solcher *inhärenter* Wert (s. HAMPICKE 1993, ESER & POTTHAST 1999) steht also zwischen instrumentellem Wert und „objektivem“ intrinsischen Wert<sup>2)</sup>. Er ist – so wie auch bei dem Original eines Kunstwerks oder einem liebgewonnenen Gegenstand – nicht nutzenorientiert, befindet sich aber erkenntnistheoretisch auf der Seite einer subjektiven Wertsetzung (einer, die vom wertsetzenden Subjekt Mensch ausgeht). Inhärente Werte sind diskutierbar und einer Abwägung mit anderen Werten zugänglich. Die Berücksichtigung dieser Wertekategorie kann auch dabei helfen, die gerade im Naturschutz oft zu findende höchst unproduktive Dichotomie zwischen „anthropozentrischen“ und „physiozentrischen“ (auch „ökozentrischen“, „biozentrischen“) Positionen aufzubrechen. Diese oft gemachte Dichotomie verhärtet die Fronten der Diskussion, indem sie eine nicht gegebene Alternative zwischen einer rücksichtslosen Ausbeutung der Natur und einer absoluten Unterwerfung des Menschen un-

2) Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass „intrinsischer Wert“ und „inhärenter Wert“ in manchen philosophischen Schriften genau in ausgetauschter Bedeutung verwendet werden, also dass dann *inhärent*“ einen „objektiven Eigenwert“, *intrinsisch*“ hingegen einen „subjektiven Eigenwert“ bezeichnet. Dies muss jeweils beachtet werden, um Missverständnisse zu vermeiden.

ter dieselbe nahe legt. De facto sind die Interessenlagen weit komplizierter und ESER & POTTHAST (1999) zeigen, dass die Konflikte im Naturschutz nicht zwischen „Mensch und Natur“ bestehen, sondern zwischen verschiedenen Interessen von Menschen an der Natur.

Eine solche Vermittlung der Positionen, wenn sie denn gelingt, enthebt dennoch nicht von einer argumentativen Begründung für die Gültigkeit von Wertsetzungen. Diese sind innerhalb der Ethik sehr vielfältig. Eine allgemein akzeptierte und „durchschlagende“, d.h. unhintergehbare Position – wie sie manchmal von „ethischen Argumenten“ im Naturschutz erwartet wird – existiert nicht und ist auch nicht absehbar. Gerade die unscharfe Bestimmung des Biodiversitätsbegriffs macht die Argumentation zusätzlich schwierig, da eben sehr viele unterschiedliche Aspekte der Natur darunter subsumiert werden, die selbst mit „holistischen“ Ansätzen bei ihrem Schutz in Zielkonflikte münden. Die Frage nach dem Wert der Biodiversität wird also wieder auf die Frage nach dem Wert der einzelnen Naturdinge zurückgeworfen und muss auf dieser Ebene diskutiert werden.

Was von diesen Naturdingen soll nun aus ethischer Perspektive in den Kreis derjenigen Objekte einbezogen werden, auf die es Rücksicht zu nehmen gilt, und mit welcher Begründung soll dies geschehen? Die traditionelle Ethik beschränkte sich auf die Regelung des Umgangs von Menschen untereinander. Im Lauf der Geschichte wurde dieser Kreis jedoch allmählich immer weiter ausgedehnt (vgl. MEYER-ABICH 1984, NASH 1989, HAMPICKE 1993). Anfänglich (im 18. und 19. Jahrhundert) betraf dies lediglich Tiere, vor allem Haustiere, und später dann alle *leidensfähigen* Tiere. Albert SCHWEITZER (1923) versuchte, *alle* Lebewesen, neben Tieren also auch Pflanzen und Mikroorganismen, zum Gegenstand moralischer Reflexionen zu machen. Populationen, Arten oder gar Ökosysteme wurden als moralische Objekte wirkungsvoll in Aldo LEOPOLDS „land ethic“ (1949) thematisiert. Leopolds und Schweitzers Ideen werden aber erst seit den 1970er Jahren systematisch in der Philosophie rezipiert. Mittlerweile wird von einigen Philosophen auch die Einbeziehung der unbelebten Natur (bis hin zum ganzen Kosmos) in den Kreis ethisch relevanter Objekte befürwortet (so ROLSTON 1997, GORKE 2000).

Ein und dasselbe Objekt (z.B. Tiere oder Lebensgemeinschaften) kann jedoch aufgrund sehr unterschiedlicher Begründungen als ethisch relevant und im speziellen als schutzwürdig angesehen werden (Überblicke siehe bei BIRNBACHER 1988, HAMPICKE 1993). Neben einer *strikt* anthropozentrischen Begründung, d.h. einer die auf den instrumentellen Nutzen der Objekte für den Menschen hinausläuft, zielen andere Begründungen z.B. auf die Leidensfähigkeit von Tieren ab, wie im sogenannten

Pathozentrismus (SPAEMANN 1984, SINGER 1994), auf die Fähigkeit von Organismen, Interessen bzw. ein Wohl (TAYLOR 1997) zu haben, oder schlicht auf ihre Existenz, etwa im Falle von Ökosystemen oder Arten (MEYER-ABICH 1984, ROLSTON 1997). Gerade diese „höheren“ Einheiten können aber auch deshalb als moralisch relevant erklärt werden, weil sie mittelbar dazu dienen, entweder den Menschen *oder aber anderen Organismen* zu nützen. Auch eine instrumentelle Begründung für den Schutz von Ökosystemen muss so nicht „anthropozentrisch“ in dem engen Sinn sein, dass es „nur“ um den unmittelbaren Nutzen für den Menschen geht. Eine zwingende Koppelung einer bestimmten *Reichweite* moralischer Betrachtungen mit einer bestimmten Begründung ist also nicht gegeben. Generell ist zu sagen, dass die Schwierigkeiten, einen „Eigenwert“ von Naturdingen argumentativ zu begründen – sowohl in Hinblick auf einen intrinsischen wie einen inhärenten Eigenwert – mit der Ausdehnung des Objektbereichs wachsen.

Wenn Ethiker sich also als Theoretiker von Moralien, d.h. unterschiedlichen moralischen Wertüberzeugungen, verstehen, dann ist es nicht ihre Aufgabe, eine einzige mögliche Antwort auf die Frage nach dem richtigen und guten Handeln in Hinblick auf die Natur zu geben, sondern ihre impliziten Begründungen offenzulegen und auf ihre Konsistenz und Kohärenz zu prüfen. Ethik kann gesellschaftliche Diskurse und Entscheidungen über diese Fragen leiten und strukturieren, die Argumente schärfen und prüfen, und die Qualität der daraus resultierenden Normen von einem wissenschaftlichen Standpunkt aus hinterfragen. Die Entscheidungen selbst werden jedoch immer gesellschaftliche sein; sie sind weder an die Ökologen oder andere Naturwissenschaftler noch an die Ethiker delegierbar. Um die moralisch *richtigen* Entscheidungen muss dabei gerungen werden, d.h. es geht nicht einfach um pragmatische oder um Mehrheitsentscheidungen.

Die Pluralität der gesellschaftlichen Ansprüche – deren jeweilige Berechtigung es von Seiten der Ethik vorab zu prüfen gilt – wie die der ethischen Positionen macht es notwendig, in diesem Sinne Abwägungen im Einzelnen zu treffen, die sich auch daran orientieren müssen, ob bestimmte Handlungsleitlinien lokal, regional oder global relevante Entscheidungen betreffen – auch wenn diese Auskunft für viele Naturschützer höchst unbefriedigend sein wird.

## 5. Fazit

Die Eingangsfrage nach der Bewertung von Biodiversität aus ethischer Sicht ist nach dem Vorgesagten nicht allein aus der Perspektive der philosophischen Ethik beantwortbar. Sie erfordert vielmehr sowohl eine wissenschaftlich-interdisziplinäre Behandlung als auch einen gesellschaftlichen Diskurs über Wertstellungen – allgemein und in konkreten Fällen, in

denen es oftmals eine Güterabwägung zwischen verschiedenen Werten vorzunehmen gilt. Die Abwägungsfrage ist eines der Kardinalprobleme der Naturschutzethik und gesellschaftlicher Entscheidungsprozesse. Hier wurde bisher im Zweifelsfall meist ökonomischen Interessen der Vorzug gegeben, nicht zuletzt aufgrund einer falschen Alternative zwischen einem Wohl „des“ Menschen und der „Natur“. Die Diskussion um den Schutz von Biodiversität bietet hier eine Chance, integriert sie doch unter ihrem Dach höchst unterschiedliche Wertvorstellungen, die fast das gesamte Spektrum der bisher diskutierten Positionen umfasst. Dies ist der Fall, gerade *weil* dieser Begriff in seiner heutigen Verwendung *vage* ist und *weil* er kein naturwissenschaftlicher Begriff ist, sondern ein Hybrid aus Fakten und Werten. Gerade darin liegt die große Stärke des Biodiversitätsbegriffs und der über ihn gegenwärtig geführten Debatte. Soll der Prozess, der durch die Biodiversitätsdebatte und speziell durch die Biodiversitätskonvention so massiv angestoßen wurde, tatsächlich zu einem fruchtbaren Dialog werden, der die integrativen Stärken des Ansatzes nutzt und seine Gefahrenstellen meidet, so gilt es folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Werte und Fakten, so sehr sie in der Praxis auf das Innigste vermischt sind, müssen zum Zweck der Argumentation *analytisch* getrennt werden, gerade *um* sie nachher in Form eines Gesamturteils wieder zusammenfügen zu können. Nur so können empirisch-faktische Streitpunkte und solche, die Wertfragen betreffen, in ihrem je eigenen Recht und mit den ihnen je adäquaten Methoden behandelt werden.
- Auf der naturwissenschaftlichen Seite ist „Biodiversität“ zunächst lediglich als ein sehr allgemeiner Oberbegriff brauchbar. Er muss für die theoretische Behandlung, die empirische Forschung im Detail, aber ebenso für die Diskussion über Wertentscheidungen in seiner jeweiligen speziellen Bedeutung ausgeführt werden. Eine ethische Bewertung kann sich nicht auf *die* Biodiversität, sondern nur auf konkrete und situationsbezogene Aspekte derselben beziehen.
- Die schon in die Auswahl der jeweils interessierenden Aspekte von Biodiversität eingehenden Wertvorstellungen müssen transparent gemacht und – wo verschieden – einander gegenübergestellt werden. An dieser Stelle muss die ethische Diskussion beginnen. Die Ethik liefert Regeln und Verfahren für den Umgang mit Werten und Normen und die Ermittlung guten und moralisch richtigen Handelns. Sie thematisiert Fragen der Verallgemeinerbarkeit von Werten, der Konsistenz innerhalb eines gesellschaftlichen Moralkodex, sowie die Stellen an denen Wertkonflikte auftreten können und die Möglichkeiten ihrer Lösung.

Der Ökologe kann sich aber auch in diesen Dingen keinesfalls einfach zurücklehnen und das Geschäft

den Ethik-Spezialisten überlassen. Er ist vielmehr doppelt gefordert: einmal, weil moralische Entscheidungen immer *auch* an materielle, empirische Fragen gebunden sind, für die bei der Frage nach der Bedeutung von Biodiversität dem Ökologen eine wichtige Ratgeberrolle zukommt. Zum anderen ist auch der Ökologe ein Teil der Gesellschaft, ein Bürger, der Teil hat an dem gesamtgesellschaftlichen Diskurs, um jene Werte, welche die Gesellschaft fördern will. Hier darf er jedoch – auch in Biodiversitätsfragen – nicht mehr qua Autorität des Naturwissenschaftlers sprechen, ebenso wie dies den Ethikern mit Bezug auf ihre Rolle als Philosophen verwehrt ist.

Das Gespräch von Philosophie und Naturwissenschaft im Dialog um den Wert der Biodiversität und andere Naturschutzfragen tut not. Es ist aufgrund der unterschiedlichen methodischen Zugänge und Denktraditionen schwierig, aber gerade von einem solchen Austausch profitieren nicht nur die Wissenschaftler der genannten Disziplinen selbst, sondern auch die Gesellschaft als Ganzes. Denn die Lösung der heutigen Probleme mit dem Verlust von Biodiversität verlangt mehr als technische Antworten. Es gilt vielmehr, die oft nur *vage* und intuitiv erfassten Bedürfnisse der Menschen in konkrete, gesellschaftlich diskutierbare und wissenschaftlich behandelbare Fragen zu gießen. Dies ist nur auf der Basis eines fundierten interdisziplinären Dialogs möglich.

## Literatur

- ANGERMEIER, Paul L. (1994):  
Does biodiversity include artificial diversity? - Conserv. Biol. 8: 600-602.
- BIRNBACHER, Dieter (1988):  
Wie ist Umweltethik begründbar? - In: INGENSIEP, Hans-Werner & Kurt JAX (eds.), Mensch, Umwelt und Philosophie. Interdisziplinäre Beiträge. Wissenschaftsladen Bonn e.V., Bonn: 69-94.
- (1997):  
„Natur“ als Maßstab menschlichen Handelns. - In: BIRNBACHER, Dieter (ed.) Ökophilosophie. Reclam, Stuttgart: 217-241.
- CARSON, R. (1962):  
Silent spring. - Houghton Mifflin, Boston, Boston.
- CHERRETT, J.M. (1989):  
Key-concepts: The results of a survey of our members' opinions. - In: CHERRETT, J.M. (ed.) Ecological concepts. Blackwell, Oxford: 1-16.
- ELTON, Charles S. (1958):  
The ecology of invasions by animals and plants. - Methuen & Co., London.
- ESER, Uta & Thomas POTTHAST (1997):  
Bewertungsproblem und Normbegriff in Ökologie und Naturschutz aus wissenschaftsethischer Perspektive. - Z. Ökologie u. Naturschutz 6: 181-189.
- (1999):  
Naturschutzethik. Eine Einführung für die Praxis. - Nomos, Baden-Baden.
- ESER, Uta (2001):  
Der Wert der Vielfalt: »Biodiversität« zwischen Wissenschaft, Politik und Ethik. - In: BOBBERT, Monika; Marcus

- DÜWELL & Kurt JAX (eds.), Umwelt, Ethik & Recht. Francke-Verlag, Tübingen: (im Druck).
- GOODMAN, D. (1975):  
The theory of diversity-stability relationships in ecology.-  
Q. Rev. Biol. 50: 237-266.
- GORKE, Martin (2000):  
Was spricht für eine holistische Umweltethik?- Natur und  
Kultur 1: 86-105.
- GRIMM, Volker & Christian WISSEL (1997):  
Babel, or the ecological stability discussions: an inventory  
and analysis of terminology and a guide for avoiding con-  
fusion.- Oecologia 109: 323-334.
- GRUMBINE, R. Edward (1994):  
Conservation biology in context: an interview with Mich-  
ael Soulé.- In: GRUMBINE, R. Edward (ed.) Environ-  
mental policy and biodiversity. Island press, Washington  
D.C.: 99-105.
- HAMPICKE, U. (1993):  
Naturschutz und Ethik - Rückblick auf eine 20jährige Dis-  
kussion, 1973-1993, und politische Folgerungen.- Z. Ökol.  
Natursch. 2: 73-86.
- JAX, Kurt (2001):  
Zur Transformation ökologischer Fachbegriffe beim Ein-  
gang in Verwaltungsnormen und Rechtstexte: das Beispiel  
des Ökosystem-Begriffs.- In: BOBBERT, Monika; Marcus  
DÜWELL & Kurt JAX (eds.), Umwelt, Ethik & Recht.  
Francke-Verlag, Tübingen: (im Druck).
- KAISER, Jocelyn (2000):  
Rift over biodiversity divides ecologists.- Science 289:  
1282-1283.
- LEOPOLD, Aldo (1949):  
The Land Ethic.- In: LEOPOLD, Aldo (ed.) A sand coun-  
ty almanac and sketches here and there. Oxford Universi-  
ty Press, New York: 201-226.
- MacARTHUR, R.H. (1955):  
Fluctuations of animal populations, and a measure of com-  
munity stability.- Ecology 36: 533-536.
- MAGURRAN, Anne E. (1996):  
Ecological diversity and its measurement.- Chapman &  
Hall, London.
- MAY, Robert M. (1973):  
Stability and complexity in model-ecosystems.- Princeton  
University Press, Princeton, New Jersey.
- MEADOWS, Dennis; Donella MEADOWS; Erich ZAHN  
& Peter MILLING (1972):  
Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome  
zur Lage der Menschheit.- Deutsche Verlagsanstalt, Stutt-  
gart.
- MEYER-ABICH, Klaus Michael (1984):  
Wege zum Frieden mit der Natur. Praktische Naturphil-  
osophie für die Umweltpolitik.- Carl Hanser, München.
- NASH, Roderick Frazier (1989):  
The rights of nature. A history of environmental ethics.-  
University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.
- NIDA-RÜMELIN, Julian (1996):  
Theoretische und angewandte Ethik. Paradigmen, Begrün-  
dungen, Bereiche. In: NIDA-RÜMELIN, Julian. (ed.) An-  
gewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische  
Fundierung. Ein Handbuch.- Kröner, Stuttgart: 2-85.
- ORIAN, G.H. (1975):  
Diversity, stability and maturity in natural ecosystems.- In:  
DOBBEN, W.H. van (ed.) Unifying concepts in ecology.  
Jungk, The Hague: 139-150.
- PIMM, S.L. (1984):  
The complexity and stability of ecosystems.- Nature 307:  
321-326.
- RICKEN, Friedo (1998):  
Allgemeine Ethik.- Kohlhammer, Stuttgart.
- ROLSTON, Holmes III. (1997):  
Werte in der Natur und die Natur der Werte.- In: KREBS,  
Angelika (ed.) Naturethik. Grundtexte der gegenwärtigen  
tier- und ökoethischen Diskussion. Suhrkamp,  
Frankfurt/Main: 247-270.
- SARKAR, Sahotra (1999):  
Wilderness preservation and biodiversity conservation -  
keeping divergent goals distinct.- BioScience 49: 405-412.
- SCHWEITZER, Albert (1990 (1923)):  
Kultur und Ethik.- Beck, München.
- SINGER, Peter (1994):  
Praktische Ethik.- Reclam, Stuttgart.
- SPAEMANN, Robert (1984):  
Tierschutz und Menschenwürde.- In: HÄNDEL, Ursula  
(ed.) Tierschutz. Testfall unserer Menschlichkeit. Fischer,  
Frankfurt/Main: 71-81.
- TAKACS, David (1996):  
The idea of biodiversity: philosophies of paradise.- John  
Hopkins University Press, Baltimore & London.
- TAYLOR, Paul W. (1997):  
Die Ethik der Achtung gegenüber der Natur.- In: BIRN-  
BACHER, Dieter (ed.) Ökophilosophie. Reclam, Stuttgart:  
217-241.
- TILMAN, David (1999):  
The ecological consequences of changes in biodiversity: a  
search for general principles.- Ecology 80: 1455-1474.
- TREPL, Ludwig (1995):  
Die Diversitäts-Stabilitäts-Diskussion in der Ökologie.-  
Ber. ANL, Beiheft 12: 35-49.
- WHITTAKER, Robert H. (1969):  
Evolution of diversity in plant communities.- Brookhaven  
Symp. quant. Biol. 22: 178-196.
- WIEGLEB, Gerhard (1997):  
Leitbildmethode und naturschutzfachliche Bewertung.- Z.  
Ökol. Natursch. 6: 43-62.
- WILSON, Edward O. (1984):  
Biophilia.- Harvard University Press, Cambridge/Mass.  
——— (ed.) (1992):  
Ende der biologischen Vielfalt?- Spektrum Akademischer  
Verlag, Heidelberg, Berlin, New York.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Kurt Jax  
Lehrstuhl für Landschaftsökologie  
TU München-Weihenstephan  
Am Hochanger 6  
D-85350 Freising-Weihenstephan



# Biodiversität braucht Platz

Stefan HALLE

## Gliederung

1. Einleitung
2. Die Arten-Areal-Beziehung
3. Patchyness der Kulturlandschaft
4. Probleme kleiner Populationen
5. Das Konzept der *Minimum Viable Population*
6. Das Metapopulationskonzept und *SLOSS*
7. Korridore und Biotopverbundsysteme
8. *EMS*-Studien zur Landschaftsökologie
9. Beziehung zur Biodiversität
10. Einfluss auf die Struktur von Lebensgemeinschaften
11. Zusammenfassung  
Literatur

## 1. Einleitung

Die Landschaftsökologie beschäftigt sich als relativ neues Teilgebiet der Ökologie (FORMAN & GODRON 1986) mit der Frage, wie sich die strukturellen Eigenschaften von Landschaften auf die Populationsdynamik von Pflanzen und Tieren auswirken. In diesem Beitrag wird ein Überblick über die theoretischen Konzepte zur Beziehung zwischen Flächengröße und Extinktionsrisiko von Populationen gegeben, was bislang selten in einen direkten Zusammenhang mit der Biodiversität gestellt wird, letztendlich aber die Grundlage zur Sicherung von Artenvielfalt bildet. Auf dem Gebiet der Landschaftsökologie hat es in den vergangenen 15 Jahren enorme Fortschritte im Verständnis ökologischer Prozesse gegeben, durch die die bis dahin vorherrschenden Sichtweisen teilweise grundlegend verändert wurden (NAVEH & LIEBERMAN 1993, FORMAN 1995, HANSSON et al. 1995). Außerdem ist die Landschaftsökologie und die damit eng verbundene Metapopulationsdynamik ein gutes Beispiel dafür, wie Erkenntnisse aus der theoretischen Ökologie unmittelbar in die Praxis des Naturschutzes einfließen können (SOULÉ 1986, 1987, SIMBERLOFF 1988).

## 2. Die Arten-Areal-Beziehung

Eine frühe Beobachtung in der Ökologie war, dass auf größeren ozeanischen Inseln der Tendenz nach eine höhere Artendiversität zu finden ist als auf kleinen. Dieser Zusammenhang, der in ganz unterschiedlichen Organismengruppen festgestellt wurde, ist auf abgelegenen Inselgruppen mit Inseln unterschiedlicher Größe besonders deutlich (z.B. Hawaii, Azoren, Westindische Inseln, Solomon-Inseln; einen Überblick gibt Kapitel 23 in BEGON et al. 1996). Die Gründe für diesen Zusammenhang sind vielfältig, doch werden vier als besonders wichtig angesehen:

(1) Größere Inseln weisen eine größere Vielfalt von Habitaten und Mikrohabitaten auf (größere Habitat-heterogenität), wodurch sie mehr Arten mit leicht unterschiedlichen Habitatsansprüchen einen Lebensraum bieten. (2) Es ist ein einfacher Effekt der Stichprobengröße gegeben, denn auf kleinen Inseln ist die absolute Anzahl der dort lebenden Individuen ebenfalls klein, wodurch die Wahrscheinlichkeit sinkt, unterschiedliche Arten nachzuweisen. (3) Die Grundfläche der Insel muss wenigstens dem Mindestareal einer Art entsprechen, um ein Vorkommen zu ermöglichen. (4) Kleine Inseln stellen nur ein begrenztes Ressourcenangebot zur Verfügung, so dass die dort lebenden Populationen ebenfalls klein sind. Kleine Populationen tragen grundsätzlich ein erhöhtes Extinktionsrisiko (siehe unten), so dass vorkommende Arten immer wieder aussterben werden.

Der Zusammenhang zwischen Inselgröße und Arten-diversität ist heute durch das Arbeitsgebiet der Inselbiogeographie recht gut verstanden und wird durch einen Modellansatz von MACARTHUR & WILSON 1967 beschrieben, der ein von der Inselgröße und dem Abstand zum Festland abhängiges Gleichgewicht der Raten von Kolonisation und Extinktion annimmt. Eine weitergehende Bedeutung dieses Ansatzes ergibt sich aus der Tatsache, dass er nicht nur für ozeanische Inseln, sondern in gleicher Weise auch für terrestrische Lebensräume gilt, sofern diese abgegrenzte Einheiten bilden. Dies trifft z. B. für Berge in einer Ebene, für Feldgehölze in einer Agrarlandschaft, für fleckenhafte Vegetationsstrukturen oder für Seen zu. Auch für diese inselartigen Habitate, die sogenannten *Patches*, die in einer dem Meer entsprechenden Grundstruktur, der sogenannten *Matrix* liegen, ist ein positiver Zusammenhang zwischen Flächengröße und Artendiversität bei unterschiedlichen Organismengruppen zu beobachten, der auf entsprechenden Mechanismen beruht wie bei ozeanischen Inseln. Es handelt sich also um eine Grundgesetzmäßigkeit in der Ökologie, die als *Arten-Areal-Beziehung* bezeichnet wird (Übersicht b. WILLIAMSON 1981).

## 3. Patchyness der Kulturlandschaft

In der Kulturlandschaft führt die intensive Nutzung durch den Menschen dazu, dass der Grad der *Patchyness* zunimmt, indem ursprünglich homogene bzw. feinkalig heterogene Habitate zunächst zerschnitten und schließlich auf kleine Resthabitate beschränkt werden. Für Mitteleuropa bedeutet dies, dass große zusammenhängende Waldgebiete schon seit Jahrhunderten durch Rodung und Urbarmachung zunehmend

durch Felder, Äcker und Wiesen zergliedert wurden, was zu einer Verinselung der ursprünglichen Lebensräume führte. Dieser Prozess wird als *Habitatfragmentation* (FORMAN & GODRON 1986, WILCOVE et al. 1986, SAUNDERS et al. 1991, OPDAM et al. 1993) bezeichnet und ist weltweit in allen vom Menschen intensiv genutzten Landschaften zu beobachten, in Agrarlandschaften ebenso wie in forstwirtschaftlich intensiv genutzten Waldgebieten (Abb. 1).

Sofern die Abstände zwischen den Resthabitaten nicht zu groß und die Bedingungen in der Matrix nicht zu feindselig sind, besteht ein Austausch durch solche Individuen, die aus ihrem ursprünglichen Heimatgebiet abwandern und einen neuen Lebensraum suchen, den sogenannten *Dispersern* (OPDAM 1990, HANSSON 1991). Dies ist beispielsweise ein besonderes Problem in der Großflächenlandwirtschaft Ost- und Mitteldeutschlands mit Schlaggrößen von mehr als 10 ha, teilweise sogar von mehr als 50 ha. An Wald- und Gebüschhabitats gebundene Arten können solche strukturarmen, ausgeräumten Landschaftsteile zumindest zu bestimmten Jahreszeiten, etwa nach der Ernte, nur unter Schwierigkeiten oder gar nicht mehr überwinden, was zu einer nahezu vollständigen Isolation der weitläufig versprengten Restpopulationen in Feldgehölzen oder Gebüschgruppen führt. Aus diesen Landschaften sind einige Arten verschwunden, während andere, für die die großflächig bewirtschafteten Flächen selbst den Lebensraum darstellen, deutlich höhere Dichten aufweisen als bei kleinflächiger Bewirtschaftung (HALLE 1997).

#### 4. Probleme kleiner Populationen

Wenn der Lebensraum in kleine, isolierte Resthabitats aufgeteilt ist, sind zwangsläufig auch die dort lebenden Populationen klein, was aus mehreren Gründen zu einem erhöhten Extinktionsrisiko führt (GILPIN & SOULÉ 1986, LANDE 1993). So können

kleine Populationen durch zufällige Umweltereignisse und Katastrophen (Brände, Überflutungen, Seuchen etc. = *umweltbedingte Stochastizität*) aufgrund der geringen Kopfstärke viel eher ausgelöscht werden als große. Kleine Populationen sind auch anfälliger gegenüber zufälligen Schwankungen der demographischen Grundparameter (Geburten- und Sterberate, Fortpflanzungsleistung und Geschlechterverhältnis der Nachkommen etc. = *demographische Stochastizität*) und können allein aufgrund einer ungünstigen Kombination dieser Größen aussterben, ohne dass eine negative äußere Einwirkung vorliegt.

Schließlich tragen kleine Populationen auch ein größeres langfristiges Extinktionsrisiko, das auf einem zunehmenden Verlust genetischer Vielfalt beruht (ALLENDORF & LEARY 1986, CAUGHLEY 1994, HARRISON & HASTINGS 1996, YOUNG et al. 1996). Bei sehr kleinen Populationen von einigen wenigen reproduzierenden Individuen können aufgrund der zufälligen Partnerwahl Allele, also die genetischen Informationen für bestimmte Merkmalsausprägungen, verloren gehen, ohne dass Selektionskräfte wirken. Schätzungen und Computersimulationen zeigen, dass alle  $2N_e$  Generationen ein Allel durch diese sogenannte genetische Drift verloren geht, wobei  $N_e$  die theoretische, populationsgenetisch ideale Populationsgröße bezeichnet (siehe hierzu LANDE & BARROWCLOUGH 1987, GILPIN 1991). Ein zweiter Prozess, der auf längere Sicht zu einer Einschränkung der genetischen Variabilität führt, ist die in kleinen isolierten Populationen immer wieder auftretende Inzucht (Paarung von nahe verwandten Individuen, RALLS et al. 1986). Eine verringerte genetische Variabilität bedeutet, dass in einer Population weniger alternative Merkmalsausprägungen vorhanden sind, so dass die Fähigkeit zur Anpassung an zukünftig auftretende massive Änderungen der Umweltbedingungen eingeschränkt ist und dadurch die Wahrscheinlichkeit der Extinktion erhöht wird.



Abbildung 1

Beispiele von Habitatfragmentation durch menschliche Nutzung in einer Agrarlandschaft (a) und in einem forstwirtschaftlich genutzten Waldgebiet (b). Beide Aufnahmen stammen aus dem Tal der Glomma in der Provinz Hedmark/Mittelnorwegen.

Unabhängig vom zugrunde liegenden Mechanismus und von der Zeitskala (kurz- oder langfristig) bleibt festzustellen, dass kleine Populationen in isolierten Resthabitaten immer ein höheres Extinktionsrisiko zu tragen haben als große Populationen in zusammenhängenden Lebensräumen.

### 5. Das Konzept der *Minimum Viable Population*

Diese Zusammenhänge, die in der Ökologie schon seit längerem bekannt sind und diskutiert werden, haben im Konzept der *Minimum Viable Population (MVP)* eine erste naturschutzbezogene Anwendung gefunden (GILPIN & SOULÉ 1986, SOULÉ 1987, NUNNEY & CAMPBELL 1993). Das Ziel des Ansatzes besteht darin, für eine bestimmte vorgegebene Zeitspanne diejenige Mindestpopulationsgröße zu berechnen, mit der eine ebenfalls vorgegebene Überlebenswahrscheinlichkeit erreicht werden kann. Grundlage dieser Berechnung ist die Abhängigkeit der Extinktionswahrscheinlichkeit von der Zeit (Abb. 2), wobei davon ausgegangen wird, dass jede Population rein zufällig und ohne besondere von außen einwirkende Gründe irgendwann einmal aussterben wird. Da der Kurvenverlauf ganz wesentlich von der Populationsgröße abhängig ist, kann über diesen Ansatz die minimal überlebensfähige Populationsgröße bestimmt werden. Wenn dann noch Informationen über die typische Dichte (Individuen pro Fläche) der betrachteten Art in dem jeweiligen Lebensraum zur Verfügung stehen, kann daraus das benötigte Mindestareal für den Erhalt einer Population (mit einer konkreten Wahrscheinlichkeitsangabe) über den vorgegebenen Zeitraum ermittelt werden, was zum Beispiel als Grundlage für die Ausweisung von Schutzgebieten dienen kann.

Obwohl die Berechnung der *MVP* theoretisch durchaus möglich ist, stößt die Anwendung in der Praxis schnell an ihre Grenzen. Der Grund liegt darin, dass die Ermittlung der Kurvenverläufe für die Extinktionswahrscheinlichkeit umfangreiche Kenntnisse der Populationsdynamik einer Art voraussetzt. Derart detaillierte Daten liegen aber nur für wenige Arten vor, und selbst bei diesen ist ungewiss, ob die Ergebnisse aus einem Gebiet auf andere übertragen werden können. Deshalb wird eine genaue Berechnung der *MVP* nur in seltenen Ausnahmefällen möglich sein. Den-

noch ist das Konzept durchaus von Nutzen, da auf seiner Grundlage zumindest grobe Abschätzungen möglich sind. Dies stellt einen deutlichen Fortschritt gegenüber der sonst üblichen Festlegung der Schutzgebietsgröße aus dem Gefühl heraus oder als Kompromiss zwischen unterschiedlichen Interessen dar, weil das eigentliche Schutzziel – der Erhalt lebensfähiger Fortpflanzungseinheiten – als Bewertungskriterium in den Vordergrund gerückt wird.

### 6. Das Metapopulationskonzept und *SLOSS*

Ist in einem Gebiet tatsächlich nur noch eine einzelne, isolierte Restpopulation vorhanden, kann ein längerfristiges Überleben in der Regel mit vertretbarem Aufwand nicht gesichert werden. Der Naturschutz konzentriert sich daher auf Situationen, wo in einem Gebiet mehrere kleine Populationen vorkommen, die zumindest zeitweise in Austausch miteinander stehen. Diese Konstellation kann durch den derzeit in der Ökologie intensiv diskutierten Ansatz der *Metapopulation* (Abb. 3) erfasst werden (GILPIN & HANSKI

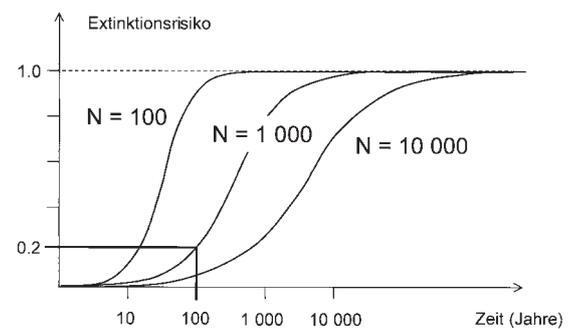
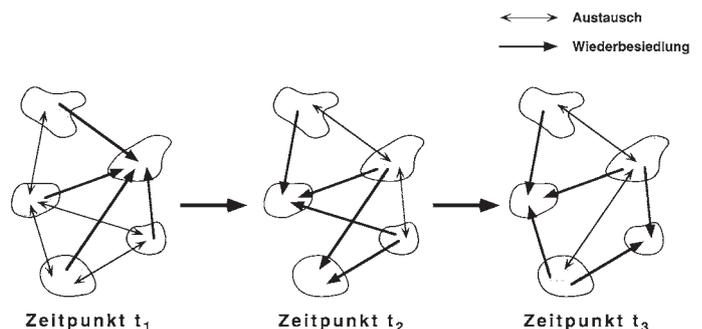


Abbildung 2

Extinktionskurven einer hypothetischen Population, in der das relative Risiko einer zufälligen Extinktion als Wahrscheinlichkeitsfunktion in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen wird. Der Kurvenverlauf ist von der Populationsgröße  $N$  abhängig. Anhand derartiger Kurven lässt sich die Minimum Viable Population (*MVP*) bestimmen: für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 80% (relatives Extinktionsrisiko = 0.2) über einen Zeitraum von 100 Jahren müsste beispielsweise eine Mindestpopulationsgröße von 1000 Individuen erreicht werden, wobei sich dieser Wert auf die effektive Populationsgröße  $N_e$  bezieht (siehe Text).

Abbildung 3

Schematische Darstellung einer Metapopulation, in der fünf Patches mit lokalen Subpopulationen über Dispersal (abwandernde Individuen) miteinander verbunden sind. Dadurch wird ein genetischer Austausch zwischen den besiedelten Patches (grau) ermöglicht. Die Wiederbesiedlung von zufällig ausgestorbenen Patches (weiß) aus den besiedelten Patches (grau) ergibt ein über die Zeit ständig veränderliches Muster aus besiedelten und unbesiedelten Patches, was als Metapopulationsdynamik bezeichnet wird.



1991, HANSKI 1991, HANSKI & GILPIN 1991, 1996, HANSKI 1999).

Nach Levins, der den Begriff 1970 geprägt hat (LEVINS 1969, 1970), ist eine Metapopulation eine „Population von Populationen“, oder genauer „ein System aus mehreren unabhängigen Fortpflanzungseinheiten, die über Dispersal miteinander in Verbindung stehen“. Die Vorsilbe „Meta-“ bedeutet dabei, dass die nächst höhere Komplexitätsebene oberhalb der Einzelpopulationen betrachtet wird. So wie in einer Population Individuen sterben, können in einer Metapopulation einzelne lokale Populationen aussterben, wobei wiederum davon ausgegangen wird, dass jede Population aus rein zufälligen Gründen irgendwann einmal aussterben wird (die mittlere Zeitspanne bis zum Extinktionsereignis könnte dabei mit der mittleren Lebenserwartung von Individuen auf der Populationsebene verglichen werden). Bis auf seltene, meist katastrophale Ereignisse (den sogenannten *extinction pulses*) werden aber nie alle Subpopulationen einer Metapopulation zur selben Zeit ausgestorben sein, wodurch eine Wiederbesiedlung der ausgestorbenen *Patches* durch Zuwanderung aus den noch besiedelten *Patches* erfolgen kann (dieser Prozess kann auf der Populationsebene mit der Zeugung neuer Individuen durch die derzeit vorhandenen verglichen werden).

Bei den Populationsökologen besteht heute weitgehend Einigkeit darüber, dass die aus Extinktion und Rekolonisation resultierende sogenannte *Metapopulationsdynamik* der Schlüsselprozess ist, um das andernfalls regellos erscheinende Muster aus Erlöschen und Wiederauftauchen von Arten in einem Gebiet sowie deren langfristige Abundanzdynamik zu verstehen. Das Metapopulationskonzept hat außerdem die zunächst überraschend erscheinende Konsequenz, dass das Überleben einer Art, deren Vorkommen in kleine, nicht unmittelbar in Verbindung stehende Subpopulationen zergliedert ist, unter Umständen aufgrund der Risikostreuung besser zu gewährleisten ist als in einer großen, zusammenhängenden Population.

Diese Überlegungen waren der Ausgangspunkt für eine heftige Kontroverse in den 70er und 80er Jahren, die im wissenschaftlichen wie auch im angewandten Naturschutz mit großer Vehemenz geführt wurde und für die sich das Kürzel *SLOSS* eingebürgert hat (WILCOX & MURPHY 1985, BURKEY 1989, WRIGHT 1990, NUNNEY & CAMPBELL 1993). *SLOSS* steht dabei für *Single Large Or Several Small* und beschreibt die Auseinandersetzung darüber, ob man Schutzbemühungen am sinnvollsten auf wenige große Schutzgebiete, beispielsweise Nationalparks, konzentrieren soll, oder aber auf viele kleine. Die Vertreter der *Several Small Option* führten die Risikostreuung als ein wichtiges Argument an, während die Befürworter der *Single Large Option* darauf verwiesen, dass kleine Populationen grundsätzlich ein höheres Extinktionsrisiko tragen als große (siehe oben). Trotz jahrelanger Debatte auf unterschiedlichen Ebenen, die auch teil-

weise heute noch anhält, kam es zu keiner Annäherung der Standpunkte, so dass man schließlich von unterschiedlichen „Schutzphilosophien“ sprach, die eine Einigung verhindere.

Das Konzept der Metapopulationen hat zwar nicht zu einer abschließenden Lösung des Konfliktes geführt, hat die Diskussion aber wieder erheblich versachlicht. Genaue Analysen des Problems zeigten, dass zwei Aspekte für die „richtige“ Antwort auf die *SLOSS*-Frage eine entscheidende Rolle spielen: (1) Das Verhältnis von umweltbedingter und demographischer Stochastizität ist von grundlegender Bedeutung, da sich in einer Situation mit häufigen und/oder starken Störungen, also bei hoher umweltbedingter Stochastizität, der Vorteil der Risikostreuung eher bezahlt machen wird als in einer relativ konstanten, störungsarmen Umwelt. Doch auch dann dürfen die Teilpopulationen nicht zu klein werden, da sonst die demographische Stochastizität schnell an Bedeutung zunimmt. Mit Hilfe von Metapopulationsmodellen ist es prinzipiell möglich, die kritische Populationsgröße, ab der die demographische Stochastizität zum bestimmenden Faktor wird, zu errechnen. Ebenso wie bei der *MVP* sind allerdings die dafür benötigten populationsdynamischen Grundlagendaten für praktisch keine Art verfügbar, wobei insbesondere die quantitative Abschätzung der Stochastizitätseinflüsse extrem schwierig ist und langfristige Untersuchungen voraussetzt.

(2) Auch das Schutzziel spielt offensichtlich eine wesentliche Rolle in der *SLOSS*-Debatte. Die Befürworter der *Single Large Option* haben als Schutzziel meist den Erhalt einer bestimmten, stark gefährdeten Art vor Augen. Das Argument ist dabei, dass auf Grund der Größe zumindest in einem Gebiet die Regelmechanismen der Populationen halbwegs natürlich ablaufen können und ein maximaler Prozessschutz gewährleistet wird. Den Befürwortern der *Several Small Option* geht es dagegen als Schutzziel häufig um den Erhalt von Biodiversität, mit dem Argument, dass bei vielen kleinen Schutzgebieten eine größere Habitatheterogenität abgedeckt wird und damit mehr Arten einen Lebensraum finden können. Dies würde dann zu einer höheren  $\beta$ -Diversität führen als bei einem einzelnen, großen Schutzgebiet.

Die *SLOSS*-Debatte ist ein inzwischen fast schon klassisches Beispiel dafür, dass wissenschaftlichen Kontroversen, die über viele Jahre ohne Annäherung geführt werden, häufig eine elementare Gesetzmäßigkeit zu Grunde liegt, und dass beide Antworten je nach den Umständen richtig sein können (hier abhängig vom Schutzziel und dem Einfluss der Umweltstochastizität). Die *SLOSS*-Debatte ist darüber hinaus auch ein guter Beleg für den Wert der theoretischen und konzeptionellen Ökologie, die durch eine genaue Analyse zu einer Versachlichung von emotional geführten Diskussionen beitragen kann.

## 7. Korridore und Biotopverbundsysteme

Eine scheinbar genial einfache Lösung der *SLOSS*-Debatte besteht in der Anlage von sogenannten Biotopverbundsystemen (Abb. 4), in denen mehrere bis viele *Patches* über Korridore, d.h. schmale Habitatstreifen mit großer Längsausdehnung (Abb. 5), miteinander verbunden werden. Da mehrere *Patches* erfasst sind, bleiben die Vorteile der Risikostreuung und der größeren Habitatdiversität erhalten. Andererseits erhöhen die Korridore die Austauschrate, so dass Wiederbesiedlungen ähnlich wie in einem großen zusammenhängenden Habitat vereinfacht und vor allem auch genetische Isolationseffekte vermieden werden (BENNETT 1990a, 1990b). Die unmittelbar einsichtige Logik der Idee hat zu einer Vielzahl von Förderprogrammen, z.B. für die Anlage von Feldhecken, den Erhalt von Uferrandgehölzen, die Vervollständigung bzw. Neuanlage von Alleen und die Herausnahme von Ackerrandstreifen aus der Bodenbearbeitung, geführt, deren gemeinsames Ziel die Schaffung von vernetzenden Strukturen zwischen andernfalls isoliert liegenden *Patches* ist.

Nach einer Phase der Euphorie, in der man glaubte, nahezu jedes landschaftsökologische Strukturproblem mit Korridoren lösen zu können, sind aber auch warnende Stimmen laut geworden, die aus mehreren Gründen zur Vorsicht mahnen (z.B. SIMBERLOFF & COX 1987, BEIER & LOE 1992, HOBBS 1992). Wenn Korridore tatsächlich als verbindende Strukturen wirksam sind, können sich auf diesem Weg auch Störungen leichter ausbreiten, entweder durch ein physikalisches Übergreifen (z.B. Brände) oder durch die erhöhte Austauschrate von Individuen (z.B. Übertragung von Seuchen), wodurch der Vorteil der Risikoverteilung zumindest stark vermindert wird. Außerdem wird der Korridor bei guter Annahme häufiger von wandernden Tieren benutzt als die freie *Matrix*, wodurch er eine erhöhte Attraktivität für Prädatoren erhält. Da die Bewegungs- und Ausweichmöglichkeiten der Beutetiere durch die Schmalheit der Korridore gleichzeitig begrenzt sind, ist von einem relativ hohem Prädations- und Mortalitätsrisiko in Korridoren

auszugehen. Das Überleben im Korridor hängt daher ganz wesentlich von der Fortbewegungsgeschwindigkeit und der Verweildauer ab (ANDREASSEN et al. 1996).

Die größte Unsicherheit besteht allerdings darin, dass die Längsstrukturen für einige Arten zwar tatsächlich als Korridore im Sinne von verbindenden Strukturen wirken mögen, für andere Arten aber, die die *Matrix* ansonsten problemlos überwinden können, eine Ausbreitungsbarriere darstellen kann. Indem man für die eine Art einen Biotopverbund schafft, wird für eine – oder mehrere – andere der Lebensraum zerschnitten. Dies wäre dann ein weiteres Beispiel für den nicht ungewöhnlichen Fall, dass sich die Schutzbemühungen für verschiedene Arten bzw. Artengruppen teilweise diametral widersprechen können.

Nach wie vor gelten Korridore und Biotopverbundsysteme als eine gute Idee und eine zwar recht kostspielige, aber erwägenswerte Option im Naturschutz.

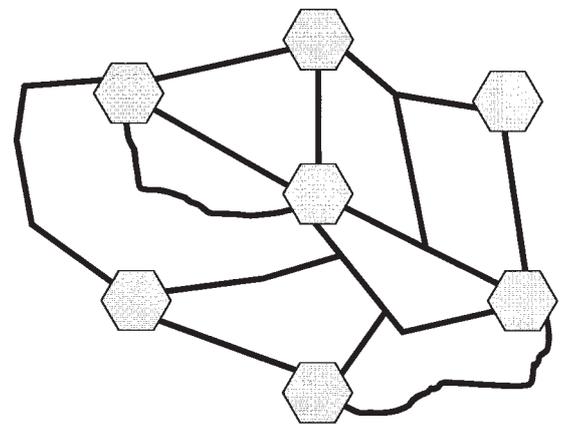


Abbildung 4

Schematische Darstellung eines Biotopverbundsystems, bei dem sieben *Patches* über Korridore, die die *Matrix* durchziehen, miteinander verbunden sind. Korridore können Feldhecken, Alleen, Ackerrandstreifen, Uferrandgehölze oder ähnliche schmale Habitatstreifen sein und bieten Leitlinien, durch die das Dispersal kanalisiert und das Überwinden der *Matrix* erleichtert wird.

Abbildung 5

Beispiel für Korridorstrukturen in einer Agrarlandschaft, durch die zwei große Waldbereiche und einige kleine Feldgehölze miteinander vernetzt werden.

Die Aufnahme stammt aus dem Tal der Glomma in der Provinz Hedmark/Mittelnorwegen.



Gewarnt wird aber vor dem Glauben, hiermit ein Allheilmittel in der Hand zu haben, das ohne großes Nachdenken in allen Situationen angewandt werden kann. Vielmehr gilt es, die möglichen Vor- und Nachteile sorgsam abzuwägen und vor allem die strukturelle Gestaltung der Korridore dem angestrebten Ziel entsprechend zu optimieren. Hier muss allerdings sehr deutlich auf einen ganz erheblichen Forschungsbedarf hingewiesen werden, da die Anlage von Korridoren derzeit bestenfalls aus den Erfahrungen heraus, in der Regel aber nach dem Gefühl oder den Sachzwängen folgend (Finanzrahmen, politische Vorgaben, Besitzverhältnisse) vorgenommen wird. Das bedeutet, dass mit öffentlicher Unterstützung im großen Umfang Strukturen in der Landschaft geschaffen werden, über deren Wirkung man sehr wenig weiß, und die zumindest potentiell durchaus auch negative Auswirkungen haben können. Verschlimmert wird die Situation noch dadurch, dass in den weitaus meisten Fällen zwar die Anlage von Korridorstrukturen finanziell gefördert wird, nicht aber ein anschließendes Monitoring für die Erfolgskontrolle und Wirkungsabschätzung. Deshalb liegen trotz der in den letzten Jahren und Jahrzehnten vielfach geschaffenen Biotopverbundsysteme kaum verlässliche Erfahrungswerte vor, die eine allmähliche Optimierung der Korridorgestaltung erlauben würden (BEIER & LOE 1992).

## 8. EMS-Studien zur Landschaftsökologie

Schon mehrfach wurde in diesem Beitrag auf die teilweise massiven Wissensdefizite und den enormen Forschungsbedarf bei landschaftsökologischen Fragestellungen hingewiesen. Natürlich ist es völlig unrealistisch, für alle Arten und in unterschiedlichen Gebieten jeweils erst detaillierte mehrjährige Feldstudien zu unternehmen, um anhand dieser Daten abgesicherte Aussagen zur MVP, zur umweltbedingten und demographischen Stochastizität oder zum Korridorverhalten zu machen. Von wissenschaftlicher Seite wird daher mit den Fachgebieten der Landschaftsökologie und der Metapopulationsdynamik vielmehr versucht, Grundgesetzmäßigkeiten zu finden, die eine gewisse Allgemeingültigkeit haben und zwischen Arten und Gebieten übertragbar sind.

Der methodische Ansatz für derartige Forschungen ist allerdings schwierig. Landschaften und Metapopulationen sind großskalige und komplexe Systeme, so dass man sie nicht im Laborexperiment untersuchen kann. Die Prozesse spielen sich außerdem auf langen Zeitskalen ab, wodurch auch Feldstudien erheblich erschwert werden. Bei den wenigen verfügbaren Langzeitstudien kommt als zusätzliches Problem hinzu, dass es sich fast immer um deskriptive Einzelfallstudien handelt, deren statistische Aussagekraft und Übertragbarkeit eingeschränkt sind. Aus diesen Gründen spielen Modellierung und Computersimulationen eine herausragende Rolle für die Landschaftsökologie.

Eine Beschränkung auf die Modellierung allein ist allerdings auch nicht möglich, da irgendwann einmal

die so entwickelten Hypothesen an realen Systemen auf ihre Gültigkeit überprüft werden müssen. Hier ist seit den 90er Jahren mit den Experimental Model Systems (EMS) ein neuer methodischer Ansatz in die Diskussion gekommen, mit dem versucht wird, die Vorteile von Feldstudien (Untersuchungen an realen Systemen und Organismen) mit denen von Modellstudien (experimentelle Manipulation, statistische Prüfung, Generalisierbarkeit) zu kombinieren (WIENS & MILNE 1989, WIENS et al. 1993). Dazu werden methodisch gut beherrschbare Modellarten in strukturell stark vereinfachten Modelllandschaften untersucht. Durch die Wahl von relativ kleinen Arten wie Laufkäfer, Schnecken oder Kleinsäuger können auch die Landschaften entsprechend klein sein, so dass mehrere parallele Ansätze möglich werden, was wiederum eine entsprechende Überprüfung der Befunde erlaubt. Schließlich wird durch die gut belegte Koppelung der räumlichen mit der zeitlichen Skala auch die Prozessgeschwindigkeit erhöht, so dass sich Ergebnisse in deutlich kürzerer Zeit erzielen lassen (IMS et al. 1993).

Während Modellversuche in vielen anderen Bereichen wie etwa Technik und Medizin weit verbreitet sind, ist der methodische Ansatz der EMS-Versuche in der Ökologie noch relativ jung. Sicher stellen EMS-Versuche allein nicht die Lösung aller methodischen Probleme in der Landschaftsökologie dar. Sie bieten aber zusätzlich zu den beiden klassischen Ansätzen der empirischen Feldstudie und der theoretischen Modellierung einen zusätzlichen Weg, dem eine verbindende und ergänzende Funktion zukommt. Die zunehmenden Erfahrungen mit der Methode werden zeigen, ob sich die recht hohen Erwartungen erfüllen. Dabei wird von entscheidender Bedeutung sein, ob sich Grundgesetzmäßigkeiten finden lassen, die unabhängig von der betrachteten Tiergruppe und Skala sind oder sich zumindest gesetzmäßig ändern, was eine zwingende Voraussetzung für die Übertragung der Befunde von einem System auf andere darstellt.

## 9. Beziehung zur Biodiversität

Die bisherigen Ausführungen haben zunächst scheinbar keinen direkten Bezug zur Biodiversität, da primär das Überleben einzelner Arten in einer Metapopulation und die zugrunde liegenden Landschaftsstrukturen angesprochen wurden. Der Begriff der Biodiversität zielt dagegen auf die Ebene von Lebensgemeinschaften, also dem komplexen Gefüge vieler verschiedener Arten, die untereinander in vielfältiger Beziehung miteinander stehen. Der Verlust von Biodiversität ist aber immer an den Ausfall von Populationen (lokaler Biodiversitätsverlust) oder einer Art (globaler Biodiversitätsverlust) gebunden, so dass der Schutz von Biodiversität direkt mit der Überlebensfähigkeit der Arten in ihren Lebensräumen gekoppelt ist. Der Ausfall einzelner Arten kann entweder zu einem schleichenden Verlust von Biodiversität führen oder aber zu einem lawinenartigen Einbruch, falls Ar-

ten mit einer zentralen Stellung in der Lebensgemeinschaft (z.B. die sogenannten keystone species) betroffen sind. Unabhängig von der Stellung innerhalb der Lebensgemeinschaft ist aber jeder Artenausfall mehr als nur die Reduktion der Artenzahl in einem Gebiet, da natürlich auch alle Wechselwirkungen mit anderen Arten betroffen sind.

Will man eine hohe Biodiversität erhalten, muss zunächst die Diversität der Lebensräume geschützt werden. Der qualitative Schutz allein reicht aber bei weitem nicht aus. Für jeden Lebensraumtyp muss mindestens diejenige Flächengröße zur Verfügung stehen, die als Minimalareal das dauerhafte Überleben der einzelnen Arten in der Lebensgemeinschaft gewährleistet. Die Landschaftsökologie hat aber gezeigt, dass auch das noch nicht reicht, weil man sich nicht auf einzelne Gebiete oder Teillebensräume beschränken kann. Vielmehr muss im Zusammenhang mit der Metapopulationsdynamik das Gesamtsystem der miteinander verbundenen Teilpopulationen erfasst werden. Wird nur ein *Patch* isoliert betrachtet, ist beispielsweise kein Verständnis der Daten zum Vorkommen von Arten möglich, sondern man wird über die Zeit nur ein zufällig erscheinendes Muster vom Verschwinden und Wiederauftauchen von Arten beobachten. Die zugrunde liegenden Mechanismen der lokalen Extinktion und der Wiederbesiedlung aus anderen *Patches* spielen sich aber auf der nächst höheren Ebene der Metapopulation ab und umfassen daher längere zeitliche und vor allem auch größere räumliche Skalen – und deshalb braucht Biodiversität Platz!

#### **10. Einfluss auf die Struktur von Lebensgemeinschaften**

In der Biodiversitätsdiskussion wird häufig unscharf mit diesem Begriff umgegangen und als reine Verringerung der Artenzahl verstanden. Im Gegensatz zum Artenreichtum (= Artenzahl) beinhaltet die Artenvielfalt (= Artendiversität) aber auch die Verteilung der relativen Häufigkeiten, also die Frage, wie viele häufige und wie viele seltene Arten in einem Gebiet vorkommen. Ebenso wichtig ist die Frage, welche Arten häufig und welche selten sind, da dies Aufschluss über den Aufbau und das innere Gefüge einer Lebensgemeinschaft gibt.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der ebenfalls weitreichende Konsequenzen hat, wird in der Biodiversitätsdiskussion oftmals gar nicht bedacht. In einer Gemeinschaft aus vielen Arten wird es immer einige geben, die besonders empfindlich auf Änderungen in der Landschaftsstruktur – beispielsweise durch Habitatfragmentation – reagieren, während andere mit den Veränderungen besser zurecht kommen. Ändern sich die Strukturmerkmale des Lebensraumes so stark, dass Arten aus diesem Grund ausfallen, so werden zunächst die empfindlich reagierenden Arten betroffen sein. In der Kulturlandschaft bleiben dann zunehmend Restlebensgemeinschaften aus solchen Arten

übrig, die gut an stark fragmentierte Lebensräume angepasst sind. Auch bei weiterer Nutzungsintensivierung ist dann zunächst nicht mit einem Verlust an Biodiversität zu rechnen – einem scheinbar positiven Effekt – doch ist die ursprünglich vorhandene Struktur der Lebensgemeinschaft bereits nachhaltig verändert worden. Noch einmal muss daran erinnert werden, dass mit dem Ausfall einer jeden Art auch ein Verknüpfungspunkt in dem komplexen Netz von Wechselbeziehungen verloren geht.

Die Sorge der Ökologen um Biodiversität und die Forderung nach mehr Platz zu ihrem Schutz entspringt also nicht primär dem Wunsch, möglichst viele Arten zu erhalten. Vielmehr gilt die Sorge vorrangig der strukturellen Funktionsfähigkeit von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen.

#### **11. Zusammenfassung**

Die Arten-Areal-Beziehung beschreibt den positiven Zusammenhang zwischen Flächengröße und Artendiversität. Diese ursprünglich für ozeanische Inseln diskutierte Gesetzmäßigkeit gilt auch für „patchy“ strukturierte terrestrische Lebensräume und ist insbesondere in den Kulturlandschaften von Bedeutung, wo es durch die Nutzung in großem Umfang zur Habitatfragmentation kommt. Die kleinen Populationen in den Resthabitatflächen sind einem hohen Extinktionsrisiko ausgesetzt, da zufällige demographische Schwankungen und Umwelteinflüsse einen starken Einfluss haben. Außerdem können Inzucht und genetische Drift zu einem Verlust von genetischer Vielfalt führen, was langfristig zum Aussterben durch mangelnde Anpassungsfähigkeit führen kann.

Im praktischen Naturschutz haben diese Überlegungen in den Konzepten der minimal überlebensfähigen Populationsgröße (MVP) und der Metapopulation, vor allem aber in der Debatte um die Schutzgebietsgröße (SLOSS) Eingang gefunden. Durch die Anlage von Korridoren wird versucht, verstreut liegende Habitatsinseln zu Biotopverbundsystemen zu vernetzen, um so der Fragmentierung der Lebensräume entgegenzuwirken. Trotz der erheblichen Fortschritte, die in den letzten Jahren hinsichtlich der Entwicklung von theoretischen Konzepten in der Landschaftsökologie gemacht wurden, stößt ihre praktische Umsetzung an Grenzen, da die benötigten Grundlagendaten fehlen und aufgrund mangelnder Erfolgskontrollen von durchgeführten Maßnahmen auch keine schrittweise Optimierung erfolgen kann.

Die Konzepte der Landschaftsökologie setzen zwar primär am Überleben einzelner Arten an, in der Summe der Einzeleffekte auf die verschiedenen Arten einer Lebensgemeinschaft haben sie aber direkten Einfluss auf die Biodiversität. Da Arten unterschiedlich sensibel auf die Flächengröße reagieren, ist ein auch unmittelbarer Bezug zur Struktur und Funktionsfähigkeit von Lebensgemeinschaften gegeben. Für den Schutz und Erhalt von Biodiversität ist es uner-

lässlich, die Ebene der Metapopulationsdynamik einzubeziehen, da sich die Prozesse der lokalen Extinktion und Wiederbesiedlung auf dieser großräumigen und langfristigen Skala abspielen.

## Literatur

- ALLENDORF, F.W. & R.F. LEARY (1986): Heterozygosity and fitness in natural populations of animals.- in: SOULÉ, M. E. (ed.): Conservation Biology - The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer, Sunderland. pp 57-76.
- ANDREASSEN, H.P.; S. HALLE & R.A. IMS (1996): Optimal width of movement corridors for root voles: not too narrow and not too wide.- *J. Appl. Ecol.* 33, 63-70.
- BEGON, M.; J.L. HARPER & C.R. TOWNSEND (1996): Ecology: Individuals, Populations and Communities.- Blackwell, Oxford.
- BEIER, P. & S. LOE (1992): A checklist for evaluating impacts to wildlife movement corridors.- *Wildl. Soc. Bull.* 20, 434-440.
- BENNETT, A.F. (1990a): Habitat corridors and the conservation of small mammals in a fragmented forest environment.- *Landscape Ecol.* 4, 109-122.
- (1990b): Habitat Corridors: Their Role in Wildlife Management and Conservation.- Conservation & Environment. Department of Conservation and Environment, Melbourne.
- BURKEY, T.V. (1989): Extinction in nature reserves: the effect of fragmentation and the importance of migration between reserve fragments.- *Oikos* 55, 75-81.
- CAUGHLEY, G. (1994): Directions in conservation biology.- *J. Anim. Ecol.* 63, 215-224.
- FORMAN, R.T.T. (1995): Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions.- Cambridge University Press, Cambridge.
- FORMAN, R.T.T. & M. GODRON (1986): Landscape Ecology.- Wiley, New York.
- GILPIN, M.E. (1991): The genetic effective size of a metapopulation.- *Biol. J. Linnean Soc.* 42, 165-175.
- GILPIN, M.E. & I. HANSKI (1991): Metapopulation Dynamics: Empirical and Theoretical Investigations.- Academic Press, San Diego.
- GILPIN, M.E. & M.E. SOULÉ (1986): Minimum viable populations: processes of species extinction.- in: SOULÉ, M.E. (ed.): Conservation Biology - The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer, Sunderland. pp 19-34.
- HALLE, S. (1997): Das Problem der Flächengröße aus landschaftsökologischer Sicht.- 1. Agrarökologischen Kolloquium „Einfluss der Großflächen-Landwirtschaft auf die Fauna“. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. pp 28-33.
- HANSKI, I. (1991): Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations.- *Biol. J. Linnean Soc.* 42, 17-38.
- (1999): Metapopulation Ecology.- Oxford University Press, Oxford.
- HANSKI, I. & M.E. GILPIN (1991): Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain.- *Biol. J. Linnean Soc.* 42, 3-16.
- (1996): Metapopulation Biology - Ecology, Genetics, and Evolution.- Academic Press, London.
- HANSSON, L. (1991): Dispersal and connectivity in metapopulations.- *Biol. J. Linnean Soc.* 42, 89-103.
- HANSSON, L.; L. FAHRIG & G. MERRIAM (1995): Mosaic Landscapes and Ecological Processes.- Chapman & Hall, London.
- HARRISON, S. & A. HASTINGS (1996): Genetic and evolutionary consequences of metapopulation structure.- *TREE* 11, 180-183.
- HOBBS, R.J. (1992): The role of corridors in conservation: solution or bandwagon?- *TREE* 7, 389-392.
- IMS, R.A.; J. ROLSTAD & P. WEGGE (1993): Predicting space use responses to habitat fragmentation: can voles *Microtus oeconomus* serve as an experimental model system (EMS) for capercaillie grouse *Tetrao urogallus* in boreal forest?- *Biol. Cons.* 63, 261-268.
- LANDE, R. (1993): Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes.- *Amer. Naturalist* 142, 911-927.
- LANDE, R. & F. BARROWCLOUGH (1987): Effective population size, genetic variation, and their use in population management.- in: SOULÉ, M.E. (ed.): Viable Populations for Conservation. Cambridge University Press, Cambridge. pp 87-123.
- LEVINS, R. (1969): Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control.- *Bull. Entomol. Soc. Am.* 15, 237-240.
- (1970): Extinction.- Lectures on Mathematical Analysis of Biological Phenomena. Ann. New York Acad. Sci., pp 123-138.
- MACARTHUR, R.H. & E.O. WILSON (1967): The Theory of Island Biogeography.- Princeton University Press, Princeton.
- NAVEH, Z. & A.S. LIEBERMAN (1993): Landscape Ecology: Theory and Application.- Springer, Heidelberg.
- NUNNEY, L. & K.A. CAMPBELL (1993): Assessing minimum viable population size: demography meets population genetics.- *TREE* 8, 234-239.
- OPDAM, P. (1990): Dispersal in fragmented populations: the key to survival.- in: BUNCE, R.G.H. & D.C. HOWARD (eds.): Species Dispersal in Agricultural Habitats. Belhaven Press, London. pp 3-17.
- OPDAM, P.; R. VAN APELDOORN, A. SCHOTMAN & J. KALKHOVEN (1993): Population responses to landscape fragmentation.- in: VOS, C.C. u. OPDAM, P. (eds.): Landscape Ecology of a Stressed Environment. Chapman & Hall, London. pp 147-171.
- RALLS, K.; P.H. HARVEY & A.M. LYLES (1986): Inbreeding in natural populations of birds and mammals. - in: SOULÉ, M.E. (ed.): Conservation Biology - The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer, Sunderland. pp 35-56.

- SAUNDERS, D.A.; R.J. HOBBS & C.R. MARGULES (1991):  
Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review.- *Conserv. Biol.* 5, 18-32.
- SIMBERLOFF, D. (1988):  
The contribution of population and community biology to conservation science.- *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 19, 473-511.
- SIMBERLOFF, D. & J. COX (1987):  
Consequences and costs of conservation corridors.- *Conserv. Biol.* 1, 63-71.
- SOULÉ, M.E. (1986):  
*Conservation Biology - The Science of Scarcity and Diversity*.- Sinauer, Sunderland.
- (1987):  
*Viable Populations for Conservation*.- Cambridge University Press, Cambridge.
- WIENS, J.A. & B. T. MILNE (1989):  
Scaling of 'landscapes' in landscape ecology, or, landscape ecology from a beetle's perspective.- *Landscape Ecol.* 3, 87-96.
- WIENS, J.A.; N.C. STENSETH, B. VAN HORNE & R.A. IMS (1993):  
Ecological mechanisms and landscape ecology.- *Oikos* 66, 369-380.
- WILCOVE, D.S.; C.H. MCLELLAN & A.P. DOBSON (1986):  
Habitat fragmentation in the temperate zone.- in: SOULÉ, M.E. (ed.): *Conservation Biology - The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer, Sunderland. pp 237-256.
- WILCOX, B.A. & D.D. MURPHY (1985):  
Conservation strategy: The effects of fragmentation on extinction.- *Amer. Naturalist* 125, 879-887.
- WILLIAMSON, M.H. (1981):  
*Island Populations*.- Oxford University Press, Oxford.
- WRIGHT, S.J. (1990):  
Conservation in a variable environment: the optimal size of reserves.- in: SHORROCKS, B. & T.R.E. SWINGLAND (eds.): *Living in a Patchy Environment*. Oxford University Press, Oxford. pp 187-195.
- YOUNG, A.; T. BOYLE & T. BROWN (1996):  
The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants.- *TREE* 11, 413-418.

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Stefan Halle  
Institut für Ökologie  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Dornburger Str. 159  
D-07743 Jena  
e-mail: stefan.halle@uni-jena.de



# Landnutzung und Biodiversität – Beispiele aus Mitteleuropa

Jörg PFADENHAUER

## Gliederung

1. Einleitung
2. Historische Betrachtung
  - 2.1 Situation
  - 2.2 Konsequenzen
3. Fallbeispiel Scheyern
  - 3.1 Grundlagen
  - 3.2 Prinzipien
  - 3.3 Ergebnisse
4. Fallbeispiel Nördliche Münchner Ebene
  - 4.1 Grundlagen
  - 4.2. Prinzipien
  - 4.3 Ergebnisse
5. Ausblick
6. Zusammenfassung  
Literatur

## 1. Einleitung

In den verschiedenen europäischen Kulturlandschaften ist die Anzahl der pro Flächeneinheit vorhandenen Tier- und Pflanzenarten von der Art und Intensität der Landnutzungssysteme und von deren Geschichte in erheblichem Maß geprägt. Vom Menschen nicht geprägte und veränderte Ökosysteme haben wenigstens in Mittel-, West- und Südeuropa einen Flächennanteil von unter 5%, sodass Maßnahmen, die der Erhaltung der Artenzahlen dienen sollen, sich vor allem auf die genutzten Gebiete beziehen müssen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass Naturschutz mehr ist als Reservatsschutz, also im Sinn eines integrierten Naturschutzes (PFADENHAUER 1996) auf der gesamten Fläche stattfindet und nicht nur in einigen wenigen Reservaten.

Eine der hier möglicherweise zielführenden Maßnahmen ist die Einrichtung von Biotopverbundsystemen; sie sollen in flächen- und linienhafter Form die Kulturlandschaft durchziehen und dafür sorgen, dass sich Arten unterschiedlicher Lebensraumansprüche zwischen den genutzten Flächen einmischen und ggf. sogar diese Strukturen als Wanderwege benutzen können (JEDICKE 1994). Dieser, aus den 70er Jahren stammende Ansatz einer Naturschutzstrategie, die das alte Vorrangflächenkonzept des klassischen Naturschutzes mit seiner Fokussierung auf Schutzgebiete ersetzen bzw. ergänzen sollte (z.B. RIEDL 1991), ist heute zu einem der wichtigsten Instrumente der bayerischen Naturschutzpolitik geworden; die Einrichtung von Biotopverbundsystemen, z.B. im Gebiet nördlich des Chiemsees zwischen der Egg-

stätt-Hemhofer und der Seeoner Seenplatte, wird auch vom Bayerischen Naturschutzfonds finanziell unterstützt und ist Programm im Rahmen der europäischen FFH-Richtlinie (DIANA 1998). Konkrete Vorstellungen zur Umsetzung liefert z.B. RINGLER (1999).

Biotopverbundsysteme sollen die seit der UN-Umweltkonferenz in Rio de Janeiro politisch hochgehandelte Biodiversität erhalten und/oder fördern. Ob und in welchem Ausmaß sie dies zu leisten vermögen, soll an einigen Beispielen aus der mitteleuropäischen Kulturlandschaft, bezogen auf die Artengruppe der Blütenpflanzen, geprüft werden. Eine erschöpfende Behandlung des Themas ist deshalb nicht möglich; sie müsste auch die übrigen, hinsichtlich Zahl und funktionaler Bedeutung weitaus bedeutenderen Artengruppen (Insekten, Pilze, Mikroorganismen) mit einschließen. Andererseits sind die höheren Pflanzen wegen ihrer Sichtbarkeit prägende Elemente eines Ökosystems und einer Landschaft, sodass sie mit einer gewissen Berechtigung als besonders wichtig für den Naturschutz gelten. Eine weitere Einengung des Themas ist die Beschränkung auf agrarisch genutzte Räume. Auch dies geschieht mit einer gewissen Berechtigung, weil die Landwirtschaft der flächenhaft bedeutendste Landnutzer ist und deshalb die Belange des Naturschutzes hier in aller erster Linie Berücksichtigung finden müssen.

Allerdings ist mit der Artenzahl als Artendichte (Anzahl Arten pro Flächeneinheit) nur ein geringer Teil der Diversität erfasst. Nach VAN DER MAAREL (1997, verändert) unterscheidet man Taxon-Diversität, genetische Diversität und biozönotische Diversität. Die Taxon-Diversität (als biologische Diversität im strengen Sinn) besteht aus der eben genannten Dichte, ferner dem Endemitenanteil (in % der Gesamtartenzahl), der Evenness (d.h. dem Grad der Gleichverteilung der Arten auf einer Fläche), sowie der  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Diversität (als Up-scaling der Biodiversität von der Ebene der Population bis zur Ebene der Landschaft). Die genetische Diversität beschreibt die Anzahl von Allelen an einem Genort innerhalb und zwischen den Populationen. Die biozönotische Diversität als Diversität von Biozönoten in Landschaftsausschnitten umfasst die strukturelle Diversität (vertikale, horizontale Struktur; pflanzensoziologische Einheiten, physiognomische Einheiten, Dominanztypen) sowie die funktionale Diversität (d.h. die Anzahl von Pflanzenfunktio-

onstypen wie Lebensformen, Ausbreitungstypen usw. pro Flächeneinheit).

Dieses umfassende Konzept der (naturwissenschaftlich definierten) Biodiversität wird im öffentlichen Meinungsbild selten registriert; der (ähnlich wie „Ökologie“ politisierte) Begriff kommt in einer Form vor, die auf die Artendichte reduziert ist (allerdings durchaus auf unterschiedlichen Maßstabsebenen). Als politischer Begriff hat „Biodiversität“ normativen Charakter und wird so zum Wertmaßstab für umweltpolitisches Handeln. Große Artenzahlen (in der inhaltlich reduzierten Definition) sind „gut“, niedrige Artenzahlen „schlecht“. Damit entfernt sich die Diskussion von der fachlichen Basis des Naturschutzes, der ja auch andere schutzwürdige Elemente und Prozesse kennt, die dem Leitbild „große Artenzahlen“ diametral gegenüberstehen. Andernfalls wären Hochmoore oder bodensaure Wälder nicht mehr schutzwürdig. Hier zeigt sich, wie wichtig eine alle Schutzkriterien umfassende Naturschutzstrategie ist, die jede Einseitigkeit der Zielsetzung vermeidet, in dem sie offen am jeweiligen Objekt Vor- und Nachteile der verschiedenen Ziele diskutiert und dann die individuelle Entscheidung trifft. Der vorliegende Beitrag möchte auch hierzu ein wenig zur Versachlichung der Diskussion beitragen.

## 2. Historische Betrachtung

### 2.1 Situation

Die heutige Biodiversität in Mitteleuropa ist ohne Kenntnis der Geschichte der agrarischen Landnutzung nicht zu verstehen. Deshalb wird im folgenden auf zwei wichtige, die Pflanzendecke prägende Prozesse eingegangen, die als Basis für künftige Strategien einer biodiversitätsorientierten Naturschutzpolitik dienen können, nämlich erstens die Differenzierung der Nutzungsweisen und -intensitäten durch die geringen, den Landnutzern zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten (jedenfalls bis zur Einführung der mineralischen Dünger Mitte des 19. Jahrhunderts), und zweitens eine in wesentlichen Ausprägungen (nicht in allen) nicht-nachhaltige Bodennutzung vor allem in peripheren Räumen.

Zu den heute besonders schützenswerten Objekten der mitteleuropäischen Kulturlandschaft gehören Magerrasen auf feuchten und trockenen Böden (Trocken- und Halbtrockenrasen, Pfeifengraswiesen), Zwergstrauch- und Moorheiden, lichte Wälder (z.B. der größte Teil der Schneeheide-Kiefernwälder des Alpenrands), parkartig strukturierte Landschaften (wie die heute als Erholungsräume besonders interessanten ehemaligen Allmenden), ferner die Pflanzendecke in Dörfern mit einer Reihe alter Gewürz- und Heilpflanzen sowie die Ruderalflora auf Äckern und in den Städten, soweit es sich um Spezialisten nährstoffarmer und in irgendeiner Hinsicht extremer Standorte handelt. Alle diese Vegetationstypen sind das Ergebnis einer vorindustriellen Landnutzung, die

auf der Basis des Stands der technischen Entwicklung auf dem Subsidiaritätsprinzip beruhte. Ausdruck dieses Systems war die Dreifelderwirtschaft als eine ausgeklügelte Form der agrarischen Landnutzung (Abb. 1); sie führte zu einer kleinteiligen Nutzungsdifferenzierung der ortsnahen Dorfgemarkung in unterschiedliche Nutzungsweisen und -intensitäten und einer räumlichen und zeitlichen Verflechtung (KONOLD 1996).

Der ortsfornere Bereich der alten Allmende diente der Gewinnung der für die Produktivität des Gesamtsystems nötigen Nährstoffe. Organisches Material (Laubstreu, Humusaufgaben, Torf) holte man aus der Peripherie der Gemeindeflur (mit oft gleichzeitig weniger fruchtbaren Böden) und brachte es als Dünger mit oder ohne Umweg über die Ställe auf die Äcker des ortsnahen Bereichs der Gemarkung. Die Böden der Peripherie verarmten durch den ständigen Stoffentzug und unterlagen im hängigen Gelände sogar der Erosion. Fehlende Baumverjüngung, durch Verbiss der Weidetiere ließen schließlich nur alte, oft aber markante Baumgestalten übrig. In Landschaftsansichten von Malern des 17. bis 19. Jahrhunderts ist diese Situation gut erkennbar (MAKOWSKI & BUDERATH 1983).

Es besteht heute kein Zweifel, dass diese Art der vorindustriellen Landwirtschaft aus der Sicht des Bodenschutzes und der Nachhaltigkeit der agrarischen Landnutzung überwiegend negativ, aus der Sicht des Artenschutzes aber positiv zu bewerten ist. So kann man heute anhand von Grabungen nachweisen, dass mit rund 55% im 14. Jahrhundert (heute knapp 40%) zur Zeit der größten Ausdehnung des Ackerbaus, ausgelöst durch besonders intensive Niederschlagsereignisse, fast 16 Milliarden Tonnen Boden im Gebiet des heutigen Deutschlands abgetragen wurden, das sind knapp 6 cm auf die beackerte Fläche des Gebiets bezogen (BORK et al. 1998; Tab. 1). Solche Ereignisse wiederholten sich mehrmals im Lauf der Jahrhunderte (v.a. nochmals in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts), wenn auch nicht mehr in dieser Stärke. Es ist nicht verwunderlich, dass es im Gefolge der Abtragsereignisse zu katastrophalen Hungersnöten und Seuchen kam, von denen besonders die Beulenpest die Ursache für die spätmittelalterliche Wüstungsperiode wurde. Die Gesamtmasse der mittelalterlich-neuzeitlichen Bodenverlagerung von insgesamt 67 Mrd. t (= 40 Mrd. m<sup>3</sup>) findet sich in den Flussauen des Unterlaufs der großen Flüsse als braune Aueböden und im Meer.

### 2.2 Konsequenzen

Die Konsequenzen für die Diversität höherer Pflanzen sind bemerkenswert. Erosionsereignisse großflächigen Ausmaßes auf ackerbaulich genutzten Böden und der Nährstoffentzug in peripheren Gebieten der Allmende schufen produktionsarme, gehölzarme Flächen, die später auf den topographischen Karten des 19. Jahrhunderts als Ödland bezeichnet wurden.

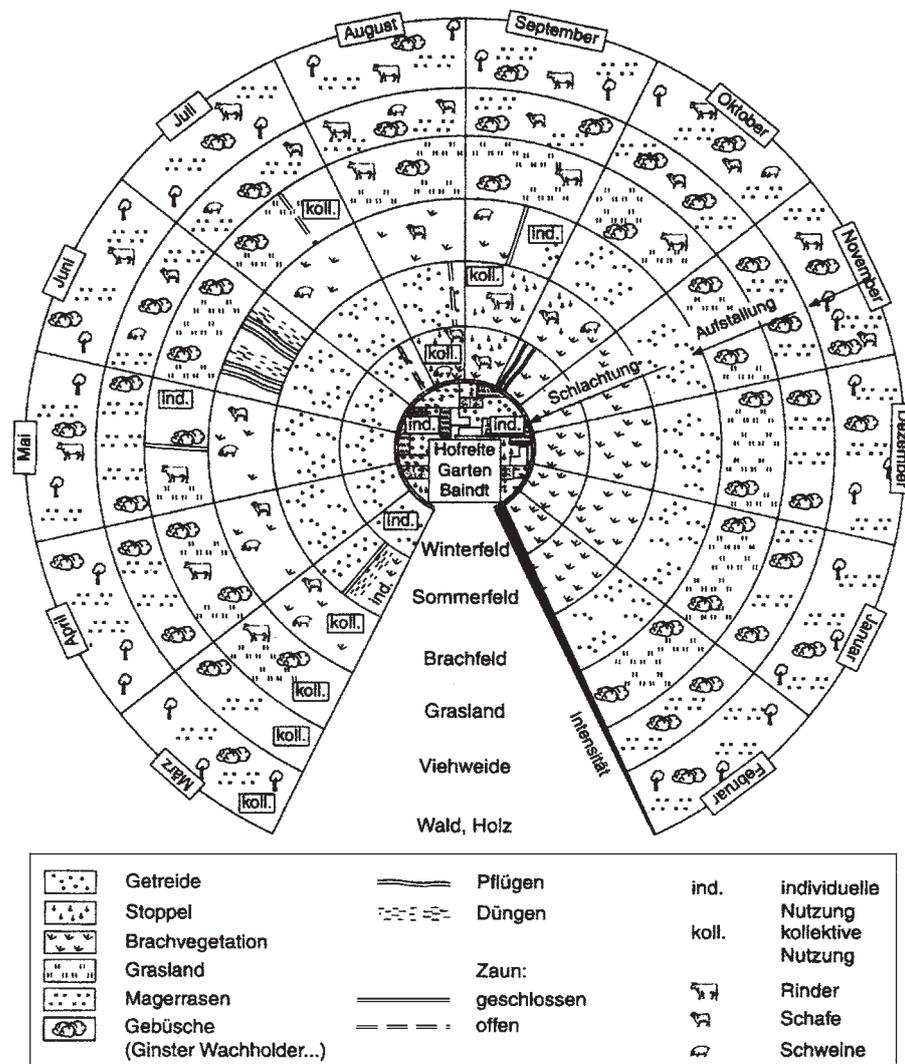


Abbildung 1

Historische Dorfgemarkung mit Dreifelder-Wirtschaft (aus KONOLD 1996).

Tabelle 1

Ausmaß der mittelalterlich-neuzeitlichen Bodenerosion in Deutschland (ohne Alpenraum) aus BORK et al. 1998 (Tab. 4.10, S. 197).

Zeitraum (n. Chr.)	Ackerfläche (% der Gesamtfläche)	Erosions- gefährdetet Hangstandorte	Mittlerer Bodenabtrag		
			auf erosionsgefähr- deten Hangstandorten (mm a <sup>-1</sup> )	in der Gesamtfläche	
			(mm a <sup>-1</sup> )	(Mio. t a <sup>-1</sup> )	
650-660	5	3	00,5	0,002	0,9
750-759	7	5	00,5	0,003	1
900-909	18	14	0,1	0,01	8
1000-1009	20	16	0,1	0,02	9
1250-1259	51	42	0,3	0,1	70
1313-1318	55	46	7	3,2	1 900
1319-1341	54	45	2	0,9	500
1342	54	45	50	23	13 000
1370-1379	33	28	0,1	0,03	16
1420-1429	28	23	0,1	0,02	13
1520-1529	38	33	0,1	0,03	19
1608-1617	41	35	0,1	0,04	20
1650-1659	32	27	0,1	0,03	16
33	39	33	1	0,3	200
1870-1879	40	34	0,1	0,03	20
1961-1990	38	28	0,3	0,08	50

\* Fläche der Bundesrepublik Deutschland ohne den Alpenraum (340 000 km<sup>2</sup>).

Es entstanden Rohböden, lichtreiche Offenlandschaften, weiche Übergänge zwischen Wald und Offenland sowie zwischen nährstoffreichen und nährstoffarmen Lebensräumen (biozönotische Diversität). Sie eröffneten denjenigen Arten neue Lebensräume, die Spezialisten für die Besiedlung nährstoffarmer, sonniger bis halbschattiger Biotope sind und Pioniereigenschaften besitzen (Taxa-Diversität). Vegetationsgeschichtlich ist dies in der Regel durch den Anstieg der Pollenzahlen von Degradationszeigern wie *Calluna vulgaris* und Compositen gut nachweisbar (POTT 1992). Zeitliche Nutzungsdifferenzierung (z.B. Dreifelderwirtschaft, Feldgraswirtschaft und Wald-Feld-Wechselwirtschaft in den Mittelgebirgen, langfristige Beweidung brachgefallener Wüstungen) mit rasch ablaufenden Entwicklungszyklen in Form einer Rotation eröffneten Arten, sich räumlich und zeitlich einzunischen und erzwangen eine differenzierte genetische Adaptation (genetische Diversität, funktionale Diversität).

Transportsysteme für Dünger, Nahrungsmittel, Weidetiere, verschiedene Handelsprodukte wie Wolle, Saatgut sorgten sowohl lokal als auch regional für den Transport von Pflanzenarten und ermöglichte der Flora Mitteleuropas, gleichsam überall präsent zu sein. Mit anderen Worten: Erosion und Degradation schufen zwar die potentiellen Wuchsorte beispielsweise für Magerwiesenarten; ohne einen effizienten Transport ihrer Diasporen wäre ihre Etablierung an solchen Stellen überhaupt nicht möglich gewesen. Ein Beispiel aus den agrarisch genutzten Räumen ist die Vielzahl von Düngerarten, die noch bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts verwendet wurde, wie Mist, Ploggen, Kompost, Torf, Gewässerschlam, Erde (Aushub), Kehricht, Ölkuchen, Wollabfälle und andere Abfälle, denen heute in der Regel nur mehr Gülle, Mineraldünger, Mist, Klärschlamm und die verkehrsbedingten N-Einträge aus der Luft gegenüberstehen (BONN & POSCHLOD 1998). Für die allgegenwärtige Präsenz von Ackerwildpflanzen war noch in der Zeit der verbesserten Dreifelderwirtschaft das Saatgut verantwortlich (SIEBEN & OTTE 1992). Die Wanderschäfferei als das Ergebnis der mittelalterlichen Wüstungsperioden (ABEL 1978) sorgte für die Verschleppung von Magerwiesenarten über Distanzen von mehreren hundert Kilometern (vgl. HORNBERGER 1959); nach Experimenten von FISCHER et al (1996) dürfte sie recht effizient gewesen sein. Die Verflechtung von Wäldern, Stand- und Fließgewässern, Heiden bzw. Mooren mit Äckern, Wiesen und Weiden und dem Dorfkern durch den Hin- und Hertransport von Material (Erntegut, Dünger) ermöglichte auch den Austausch von Arten (Abb. 2; POSCHLOD & BONN 1998). Heute sind diese Transporte stark verkürzt und durch die Mechanisierung der landwirtschaftlichen Bodennutzung wenig effizient (MAYER et al 1998).

Eine besondere Rolle spielen die Hemerochoren, also durch die Tätigkeit des Menschen absichtlich oder unabsichtlich eingeschleppte Arten. Soweit sie in der

Lage waren, sich einzubürgern, d.h. auf Dauer in Mitteleuropa zu überleben, stellen sie mit 30% Archäo- und rund 10% Neophyten einen beträchtlichen Anteil des Floreninventars Deutschlands (KORNECK et al. 1998). Der größte Teil davon sind Anökophyten, die den Schwerpunkt ihrer Verbreitung auf anthropogenen Standorten haben. Zu ihnen gehören auch viele einheimische Pflanzen, die aus Lebensräumen mit einer natürlichen regelmäßigen Störung stammen (Flussauen, Küsten, Gebirge). Sie sind insofern interessant, als sich viele von ihnen entweder direkt unter dem Druck der Landnutzung oder indirekt durch die selektionswirksamen neuen Standortbedingungen genetisch verändert haben und nicht mehr den Populationen ihres ursprünglichen Herkunftsortes bzw. ihrer Herkunftszeit entsprechen (KOWARIK & SUKOPP 2000). So unterscheidet man Anökophyten mit und ohne kultigene Merkmale, und innerhalb dieser beiden Gruppen archäophytische und neophytische Arten (Tab. 2). Zu ersteren gehören zum Beispiel alte Ackerwildpflanzen wie *Bromus secalinus* und *Setaria viridis*, aber auch *Pyrus*- und *Malus*-Sippen. Zu letzteren zählen viele eurasiatische Ursprungsarten (Relikte kaltzeitlicher Steppen) wie *Papaver rhoeas*, aber auch neophytische Einwanderer wie die ruderalen *Oenothera*-Sippen, oder einheimische Apomikten wie *Taraxacum*- und *Rubus*-Sippen. Artbildungsprozesse finden also direkt unter unseren Augen statt. So unterscheiden sich *Molinia caerulea*-Populationen des Paartals von solchen aus dem Freisinger Moos durch ihre um ca. zwei Wochen frühere Blütezeit (bestimmt im Gewächshaus unter völlig gleichen Kulturbedingungen), hervorgerufen durch ein zwischen beiden Orten unterschiedliches Streumahdregime (Abb. 3).

Zusammenfassend hatte die historische agrarische Landnutzung folgende Konsequenzen:

Für die Artendichte (Taxa-Diversität):

- Förderung der Artenzahl pro Flächeneinheit außerhalb von Naturwäldern
- Förderung der Ausbreitung durch räumlich/zeitliche Nutzungsdurchmischung
- Förderung der Einwanderung und Etablierung nicht heimischer Arten
- Förderung von eiszeitlichen Relikten (Tundren- und Steppen-Elemente)

Für die biozönotische Diversität (strukturelle Diversität):

- Förderung der Anzahl horizontaler, vertikaler und zeitlicher Nischen
- Erhöhung der Zahl von Vegetationstypen pro Landschaftsausschnitt

Für die biozönotische Diversität (funktionelle Diversität):

- Förderung von Arten mit Pioniercharakter
- Förderung der Ausbreitung durch regionale und überregionale Materialtransporte und Weidesysteme
- Förderung stresstoleranter, lichtbedürftiger, konkurrenzschwacher Arten
- Förderung von Hemikryptophyten

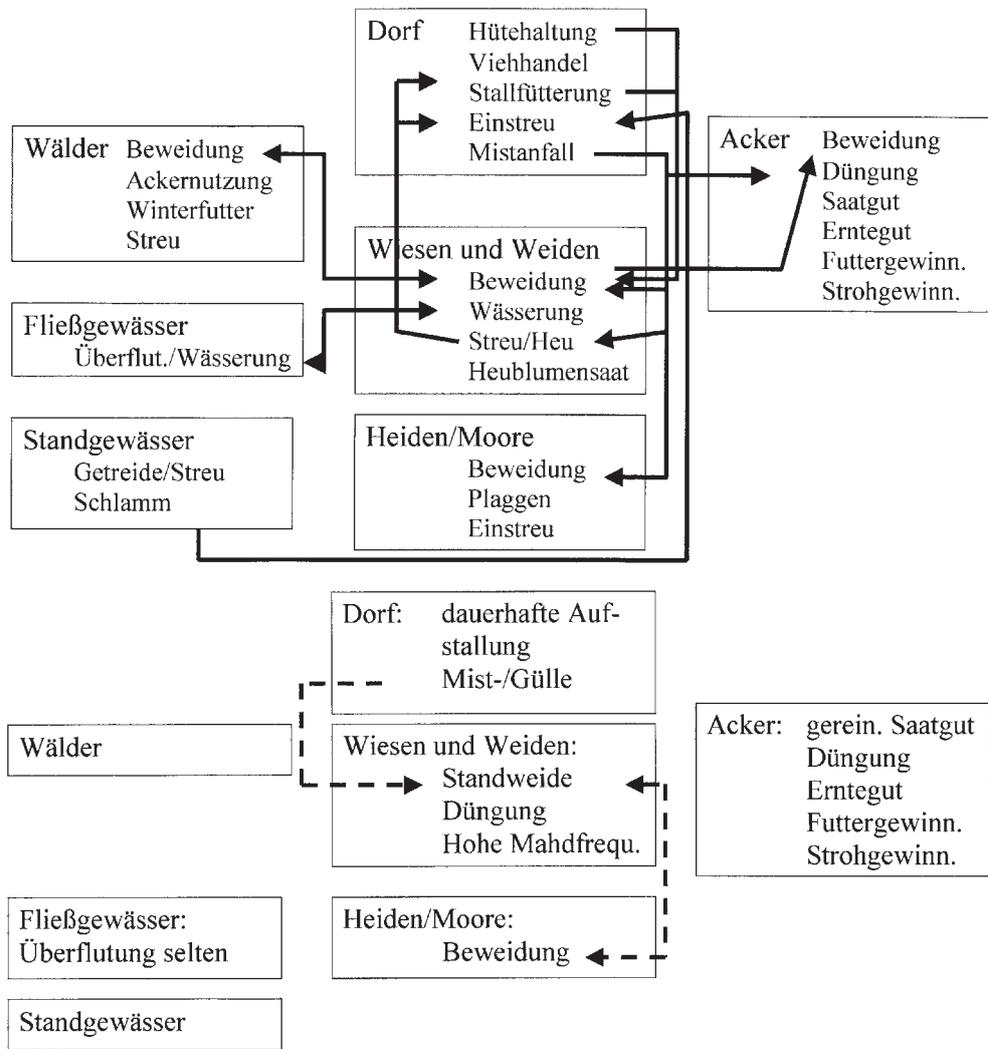


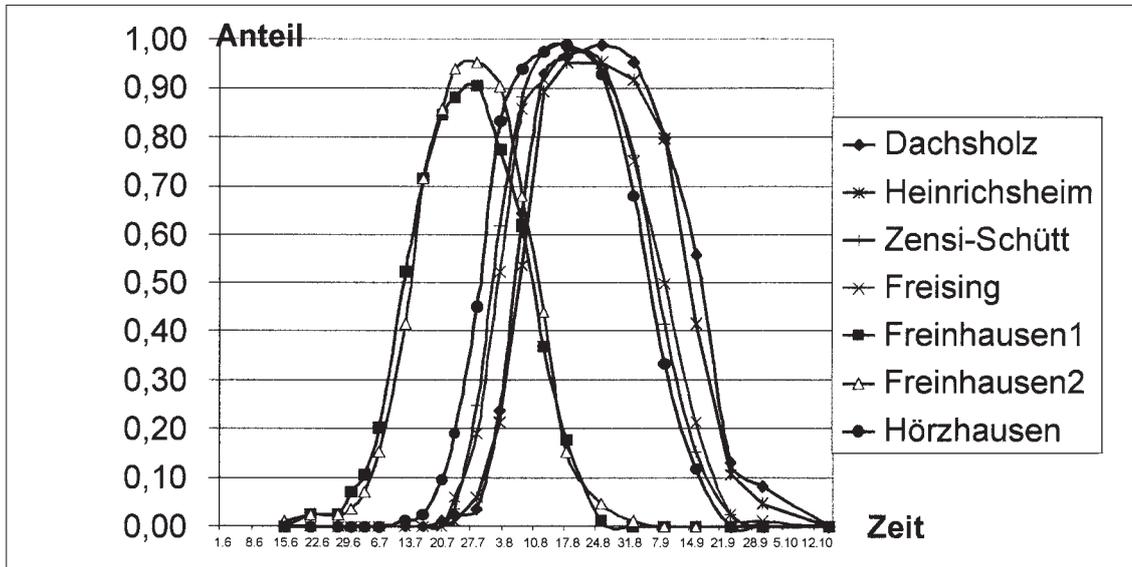
Abbildung 2

Ausbreitungsvektoren und -prozesse zwischen verschiedenen Ökosystemen einer historischen Kulturlandschaft (oben) und heute (unten). Vereinfacht nach POSCHLOD et al. (1997). Gestrichelte Pfeile = Transport vergleichsweise weniger Diasporen.

Tabelle 2

Differenzierung der Anökophyten nach ihrem Entstehungszeitraum und nach dem Vorhandensein kultigener Merkmale (aus KOWARIK & SUKOPP 2000, vereinfacht).

Entstehungszeitraum	Anökophyten mit kultigenen Merkmalen (konvergenter Entwicklungstyp)	Anökophyten ohne kultigene Merkmale (divergenter Entwicklungstyp)
<b>Vor 1500 entstandene Anökophyten</b> (archäophytisch)	Unkraut-Kulturpflanzen-Komplex. Beispiele: <i>Bromus secalinus</i> , <i>Avena fatua</i> <i>Setaria viridis</i> <i>Pyrus</i> -, <i>Malus</i> -, <i>Prunus</i> -Sippen	Eurasiatische Ursprungsarten: <i>Papaver rhoeas</i> , <i>Rumex alpinus</i> Mitteleurop. Ursprungsarten: <i>Poa annua</i> , <i>Stellaria media</i> Kosmopolitisch: <i>Cynodon dactylon</i>
<b>Nach 1500 entstandene Anökophyten</b> (neophytisch)	Unkraut-Kulturpflanzen-Komplex. Beispiele: <i>Panicum miliaceum</i> <i>Solidago</i> -Sippen <i>Aster</i> -Sippen	Ursprungsarten aus Amerika: <i>Oenothera</i> -, <i>Xanthium</i> -Sippen Ursprungsarten aus Ostasien: <i>Reynoutria x bohémica</i> Apomikten: <i>Taraxacum</i> -, <i>Rubus</i> -Sippen



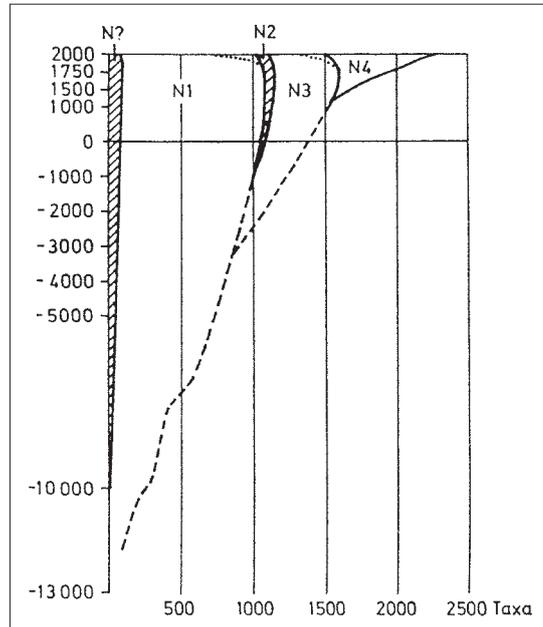
**Abbildung 3**  
**Anteil blühender Pflanzen von *Succisa pratensis* verschiedener Herkunft aus Südbayern in Reinkultur** (nach GRÜNBAUER 2001, n.p.)

Für die genetische Diversität

- Selektion von an anthropogene Standorte angepasste Arten mit hoher Seltenheit in den wenigen störungsreichen Lebensräumen der Naturlandschaft
- Beschleunigung des Artbildungsprozesses bei einheimischen Arten und bei Hemerochoren

In Abb. 4 ist der Verlauf der Artenzahlen vom Ende der letzten Eiszeit bis heute für die Flora Mecklenburgs schematisiert wiedergegeben (FUKAREK 1988). Man erkennt daraus ein Maximum der Artenzahlen etwa um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhunderts. Es folgte ein rapider Artenrückgang, der insbesondere die weniger flexiblen Arten betraf, die verzögert oder gar nicht auf die raschen Veränderungen des Landnutzungssystem reagieren konnten. Dieser Artenschwund ist ausreichend oft und profund analysiert worden und in den Roten Listen dokumentiert. Ebenso sind die Gründe bekannt und die Hauptverursacher längst überführt (KORNECK et al. 1998). Die heutige Situation der Landschaft mit ihrem meist gleichmäßig hohem trophischen Niveau, der anthropogenen Phragmentation zusammenhängender schutzwürdiger Lebensräume in isolierte Restflächen und der Vereinheitlichung der Landnutzungssysteme steht einer Erhaltung der durch die vorindustrielle Landwirtschaft geschaffenen Vielfalt gegenüber. Es zeigt sich am Fall der landwirtschaftlichen Bodennutzung ein Missverhältnis zwischen dem Anspruch, die „Kulturlandschaft“ als Gemisch aus Wirtschaftsgut und Natur (KONOLD 1999) erhalten zu wollen und dem über die Subventionspolitik motivierten Zwang zur Produktionssteigerung. Dass sich heute durch die Arbeit der Landschaftspflegeverbände sowie durch den Vertragsnaturschutz eine Trendwende abzeich-

net, ist erfreulich; möglicherweise wird auch das durch BSE erschütterte Vertrauen der Verbraucher in zu billig erzeugte Nahrungsmittel einen Umschwung in der Landwirtschaft zu stärker umweltorientierter Nutzung erzeugen.



**Abbildung 4**  
**Natürliche und anthropogene Erweiterung der Flora Mecklenburgs** (nach FUKAREK aus KOWARIK & SUKOPP 2000).

- N1 = 978 einheimische Sippen
- N2 = 69 Agriophyten
- N3 = 441 Epökophyten
- N4 = 727 Ephemerothyten.

Die gepunkteten Linien deuten den Artenrückgang an.

Jedenfalls bestehen ausreichend Chancen, in den Agrarlandschaften mithilfe einer neuen Agrarumweltpolitik die Biodiversität im o.g. Sinn zu erhalten oder zu erhöhen sowie die dazu nötigen Prozesse zu stärken. Dass dies in manchen Landschaften Mitteleuropas bereits geschieht, zeigen die Blauen Listen (GIGON et al. 1998). Dabei kann es nicht um eine Rückkehr zu historischen Zuständen gehen; sie sind weder wünschenswert noch möglich. Man kann aber aus den historischen Geschehnissen die Zusammenhänge zwischen Landnutzung und Biodiversität besser verstehen und mit diesen Kenntnissen künftige Entwicklungen im Sinn der Ziele eines integrierten Naturschutzes mitgestalten. Gesucht wird nach einer Lösung, die es erlaubt, die Produktivität landwirtschaftlicher Kulturen auf hohem Niveau zu stabilisieren, das Einkommen der Betriebe zusichern und gleichzeitig die noch bestehende Vielfalt zu erhalten bzw. durch Renaturierung (einschließlich Extensivierung) zu fördern. Im folgenden soll an zwei Fallbeispielen aus dem Forschungsgebiet des Verfassers dargelegt werden, wie die Neugestaltung von Agrarlandschaften aussehen könnte und welche Auswirkungen sie auf die Biodiversität hat.

### 3. Fallbeispiel Scheyern

#### 3.1 Grundlagen

Der Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) wurde 1990 mit dem Ziel gegründet, allgemein als umweltschonend angesehene Verfahren der landwirtschaftlichen Betriebsweise auf ihre Auswirkung auf die Qualität schutzwürdiger Ressourcen zu testen und gegebenenfalls neue Verfahren zu entwickeln. Der FAM ist ein Zusammenschluss von Forschungsinstitutionen der Technischen Universität München und der GSF-Forschungsgesellschaft für Umwelt und Gesundheit, Oberschleißheim. Als Versuchsgelände wurde die landwirtschaftliche Betriebsfläche des Benediktinerklosters Scheyern, etwa 40 km nordöstlich von München im Naturraum „Tertiärhügelland“ angepachtet. Diese ist ein repräsentativer Ausschnitt einer mitteleuropäischen Agrarlandschaft mit vorwiegend Ackerbau, sodass die Ergebnisse des FAM mit einigen nötigen Modifikationen auf andere Landschaftsausschnitte ähnlichen Zuschnitts übertragbar sind.

Das Versuchsgelände wurde nach einer zweijährigen Vorphase nach den Prinzipien des integrierten Naturschutzes und planerischen Grundsätzen konsequent umgestaltet (ANDERLIK-WESINGER et al. 1995). Die Betriebsweise wurde umgestellt, und zwar so, dass auf der Hälfte mit den weniger fruchtbaren Böden nach den Richtlinien der Verbände des Ökologischen Landbaus, auf der anderen Hälfte (hoher Anteil an kolluvialen Böden) nach den Prinzipien des Integrierten Pflanzenbaus gewirtschaftet wurde. Dabei kommen alle derzeit zur Verfügung stehenden neuen Technologien zum Einsatz. Die Forschung

wurde integrativ aus verschiedenen Disziplinen konzipiert. Sie ist prozessorientiert und langfristig angelegt: Nach Umgestaltung bzw. Umstellung im Winter 1992/93 werden kontinuierlich Energieflüsse, Wasser- und Stofftransporte, Informationsflüsse (wie Ausbreitung von Genomen) und monetäre Flüsse bis zum Ende der Laufzeit des Projekts im Jahr 2003 untersucht. Die Veränderung des Landnutzungssystems ist eine Störung des bisherigen Gleichgewichts; sie erlaubt dem FAM die Untersuchung dieser Flüsse, während sich das Agrarökosystem auf ein neues Gleichgewicht zubewegt. Daraus lässt sich ableiten, ob die Umgestaltung des Versuchsgeländes und die Umstellung der Betriebsweise die Belastungen biotischer und abiotischer Ressourcen reduzieren und gleichzeitig die ökonomische Situation verbessern.

#### 3.2 Prinzipien

Das Tertiärhügelland, in dem die 114 ha große Versuchsfläche des Klosters Scheyern liegt, umfasst 30% der gesamten Ackerfläche Bayerns. Charakteristisch sind ausgeprägte Bodenunterschiede in den vorherrschenden Parabraunerden auf kurzer Distanz (z.B. >50% Unterschiede im Tongehalt auf 100 m) und ausgeprägte asymmetrische Talformen mit in der Regel hoher Erosionsgefährdung unter einem sommerwarmen, durch häufige Gewitterregen gekennzeichnetem Klima (SINOWSKI & AUERSWALD 1999). Die Fläche wurde vom Kloster seit den 60er Jahren auf durchschnittlich 12 ha großen Schlägen intensiv ackerbaulich bewirtschaftet (Ölraps, Wintergetreide, Silomais; Abb. 5, links). Nach der Übernahme durch den FAM wurde sie im Rahmen einer Vorphase des Forschungsprojekts unter Beibehaltung der alten Schlägeinteilung für zwei Jahre einheitlich bebaut (1991 Sommergerste, 1992 Winterweizen). Umgestaltung des Geländes und Umstellung der Betriebsweise im Winter 1992/93 führten zu einer völlig neuen Flächenaufteilung und Landnutzungsstruktur (Abb. 5, rechts): Der Ökologische Landbau (ÖL) umfasst insgesamt 68 ha (davon 31,2 ha Ackerland verteilt auf 14 Schläge) und hat eine Fruchtfolge aus Klee gras/Kartoffeln/Winterweizen/Winterroggen/Lupinen/Sonnenblumen. Der Integrierte Landbau (IL) wird auf 46 ha betrieben (davon 30 ha Ackerland verteilt auf 8 Schläge); die Fruchtfolge besteht aus Kartoffeln/Winterweizen/ Mais/Winterweizen. Der ÖL nutzt das Grünland für eine Herde von 30 Mutterkühen; der anfallende Mist aus der winterlichen Aufstallung dient als wirtschaftseigener Dünger. Im IL wird eine Bullenmast simuliert und Gülle ausgebracht.

Das planerische Konzept für die Umgestaltung des Versuchsgeländes (ANDERLIK-WESINGER et al. 1995) beruht auf dem Prinzip des integrierten Naturschutzes. Dementsprechend musste die Nutzung des Versuchsgeländes standortsspezifisch konzipiert werden. Wegen der Heterogenität des Geländes wurde die Schlaggröße verkleinert, und zwar unter Berücksichtigung der Fruchtfolgeglieder des jeweiligen Be-

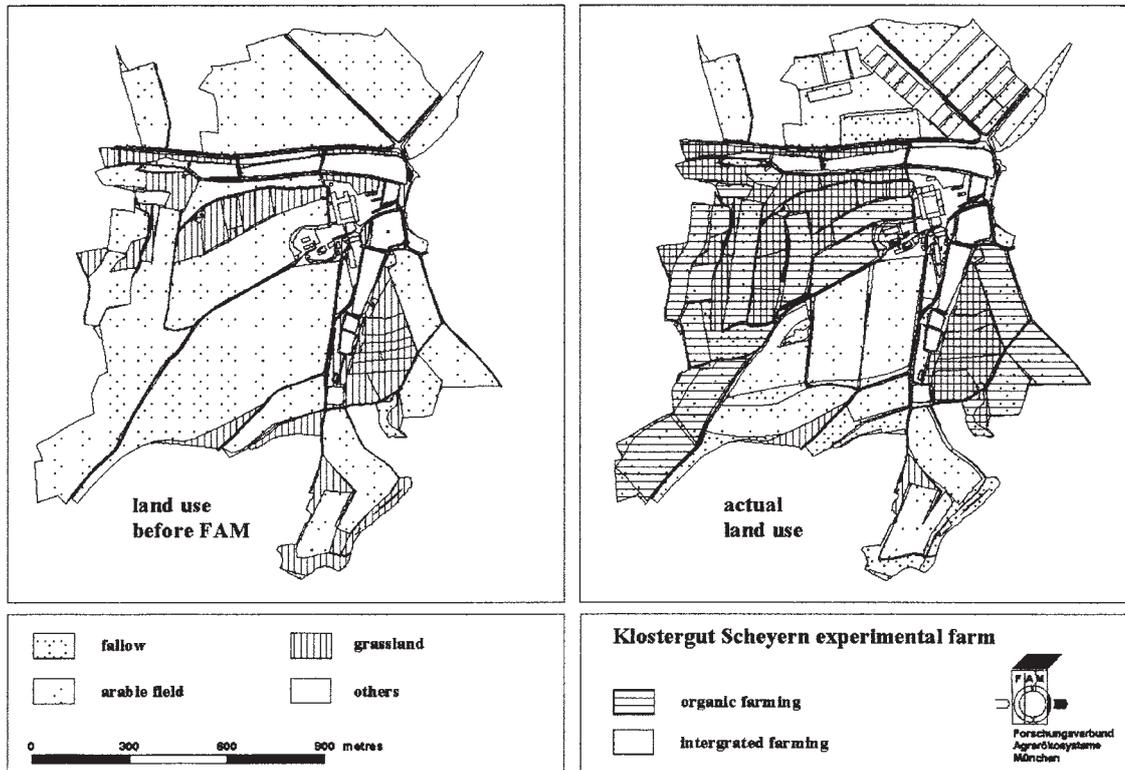


Abbildung 5

Struktur und Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Versuchsstation Klostergut Scheyern vor und nach der Umgestaltung bzw. Umstellung der Betriebsweise durch den FAM.

triebssystems. Um den damit verbundenen höheren Arbeitsaufwand wieder zu kompensieren, wurde die Schlagform maschinengerecht optimiert. Da die Variabilität der Bodeneigenschaften hangabwärts höher ist als quer zum Hang, wurden die Schläge höhenlinienparallel ausgerichtet. Dadurch gelang es gleichzeitig, die Bodenerosion zu verringern (Verkürzung der Hanglänge, Schlaggrenzen bei entsprechender Gestaltung als abtragbremsende Strukturen).

Schwer nutzbare Zwickel, besonders erosionsanfällige Steilhänge und Muldenzüge, in denen bei stärkeren Regenfällen Wasser abfließt, wurden zu Brachland. Die Brachevegetation sollte die Abflussgeschwindigkeit verringern, die Versickerung des Überschusswassers fördern, die Sedimentation von Feststoffen ermöglichen, die aus den angrenzenden Ackerschlägen ausgetragen werden, und so deren Eintrag in die Gewässer verhindern. Zusätzlich wurden Kompensationsstreifen an Bächen und Teichen angelegt, um den direkten Einfluss der Ackernutzung zu reduzieren. Entlang der Feldwege und zwischen den Ackerschlägen wurden bis zu vier Meter breite Streifen aus der Bewirtschaftung genommen und zu Grasland oder Hecken entwickelt. Die primär aus Gründen des Bodenschutzes angelegten Brachflächen sowie Feldraine, Wegränder und Hecken (lineare Landschaftsstrukturen) sollten als ein die Agrarlandschaft durchziehendes Netzwerk auch dazu dienen, die Lebensbedingungen für Fauna und Flora zu verbessern. Ins-

gesamt wurden mit diesen Maßnahmen 13,5% der Gesamtfläche im ÖL und 28,5% im IL als „Schutzland“ aus der Bewirtschaftung genommen.

Die grundsätzliche Überlegung bei der Konzipierung der ackerbaulichen Nutzung auf dem Versuchsgelände war es, den Boden im Sinn der Nachhaltigkeit als Schutzgut zu bewahren. Um seine Fruchtbarkeit zu erhalten (z.B. Vermeidung von Auswaschungsverlusten bei Nitrat) und jegliche Form der Erosion weitestgehend zu verhindern, wurden alle Bearbeitungsweisen dahingehend ausgerichtet, die Oberfläche während des ganzen Jahres mit Pflanzen abzudecken (Kulturpflanzen, Wildpflanzen, Zwischenfrüchte, Mulch). Die Konsequenz waren Einführung und Optimierung der Mulchsaat nach Zwischenfruchtanbau für Mais und Kartoffeln (KAINZ 1989) und als Folge davon die Reduzierung der Bodenbearbeitung auf das absolut notwendige Maß. Der Einsatz von Breitreifen (Vermeidung der Bodenverdichtung), Gülleausbringung mit Schleppschläuchen (Reduktion gasförmiger N-Verluste), Verzicht auf den Wendepflug sowie minimierte Bodenbearbeitungstiefe und -frequenz (Erhaltung der Bodenstruktur und des Bodenlebens), höhenlinienparallele Anordnung der Bifänge im Kartoffelanbau, Verzicht auf mineralische P- und K-Düngung im IL (Vorräte ausreichend für die nächsten 20 bis 30 Jahre; WEINFURTNER 2000) sowie Einsatz von N-Düngern nach Entzug

und von Herbiziden nach Schadschwellen unterstützen das Konzept.

Das umfangreiche Messprogramm für die relevanten ökosystemaren Komponenten und Prozesse (Details s. PFADENHAUER et al. 1996, LÜTZOW et al. 1998) basiert auf einem Rasternetz mit der Seitenlänge von 50 m. Die rund 400 Rasterpunkte dienen der kontinuierlichen Untersuchung der Bodeneigenschaften, des Nährstoff- und Wasserhaushalts, des Ertragsgeschehens sowie der Vegetation und Fauna. Zusätzlich wurden Stationen für die kontinuierliche Messung der klimatischen Bedingungen sowie des Oberflächenabflusses, des Oberbodenabtrags und der Grundwasserneubildung eingerichtet.

### 3.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind vor allem im abiotischen Ressourcenschutz fulminant (AUERSWALD et al. 2000). So gelang es, Bodenabtrag, Oberflächenabfluss und Phosphataustrag fast völlig zu beseitigen. Was die Pflanzenwelt angeht, stieg die Anzahl der Pflanzenarten, auf die Rasterpunkte bezogen, signifikant fast in allen Flächen des Versuchsgeländes an (Tab. 3). Dagegen blieb die Gesamtartenzahl einigermaßen konstant: Sie betrug in der Vorphase (1992) 279 und lag fünf Jahre nach der Umgestaltung bei 289 (Abb. 6). Dieses Ergebnis zeigt, dass keine Arten von außen eingewandert sind. Bedenkt man, dass Samengehalte in der von den umliegenden landwirtschaftlichen Betrieben zugekauften Gülle äußerst gering sind und auch der Samentransport durch das an landwirtschaftlichen Maschinen haftende Bodenmaterial vernachlässigbar ist (MAYER et al. 1998), so ist dieser Sachverhalt auch nicht verwunderlich.

Innerhalb des Versuchsgeländes sind aber offensichtlich Artenwanderungen aufgetreten, die dazu geführt haben, dass Artenzahlen an Rasterpunkten angestiegen sind, die in den Acker- und Grünlandschlägen des ÖL sowie in den Brachen liegen. Hier hat sich die Reduktion der Nutzungsintensität deutlich bemerkbar gemacht. Allerdings handelt es sich zumeist um Ubiquisten und nicht um naturschutzrelevante

Spezialisten. Zu den Ubiquisten zählt beispielsweise *Taraxacum officinale* agg.; die anemochore Art ist überall auf dem Versuchsgelände präsent und fasste auf den Äckern des ÖL unmittelbar nach Verzicht auf Herbizidanwendung Fuß. Die Spezialisten unter den Ackerwildpflanzen, die unter extremeren Standortbedingungen zu gedeihen vermögen (wie die Magerkeitszeiger und Kältekeimer *Legousia speculum veneris*, *Papaver argemone*, *Veronica triphyllos*), haben sich bezeichnenderweise ausschließlich auf dem Gelände des ÖL halten können, soweit sie von Anfang an dort vorkamen. Sie nahmen an 49 Rasterpunkten zu, an 18 ab. Aus den Äckern des IL sind sie inzwischen fast völlig verschwunden. Hier nahmen sie (bis 1997) an 22 Rasterpunkten ab und nur an 11 zu. Der Grund ist eine effiziente Herbizidanwendung, die

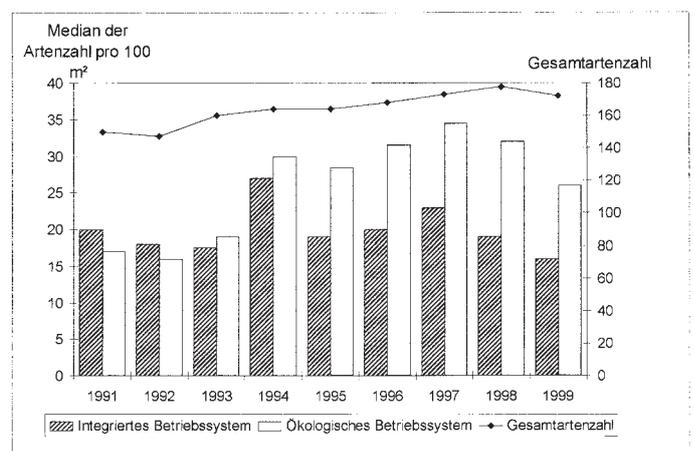
**Tabelle 3**

**Veränderung der Artenzahlen pro Rasterfläche in den verschiedenen Nutzungssystemen des Kloster-guts Scheyern (nach AUERSWALD et al. 2000, verändert).**

Nutzung	Anzahl Probeflächen	Anzahl Arten		Signifikanz
		1992	1997	
Ackerschläge				
Ökol. Landbau	129	17	32	***
Integrierter Landbau	129	19	19	n.s.
Brachflächen				
früher Ackerbau	26	18,5	39,5	***
früher Grünland	12	20	23,5	n.s.
Grünland (ökol. Landbau)				
Angesät	29	19	28	***
Weiden	42	25,5	32	***
Mähwiesen	25	28	40	***
Lineare Strukturen				
neu	6	20	30	n.s.
erweitert	8	24	31	n.s.
alt	6	35	32	n.s.
Gesamt	412	20	30	***

**Abbildung 6**

**Entwicklung der Artenzahlen von Ackerwildpflanzen auf den Betriebssystemen des Ökologischen und des Integrierten Landbaus der FAM-Versuchstation Klostergut Scheyern von 1992 bis 1998 (nach BELDE, n.p.).**



wegen der Anreicherung der Samen an der Bodenoberfläche bei pflugloser Bearbeitung notwendig wurde (ALBRECHT & MATTHEIS 1998).

Im Gegensatz zu Pflanzenarten hat sich die Umgestaltung des Versuchsgeländes bei Tieren in einer Zuwanderung von außen bemerkbar gemacht (AGRICOLA et al. 1996). So nahm die Zahl brütender agrarlandschaftstypischer Vogelarten in den ersten beiden Jahren nach der Umgestaltung 36 (1991/1992) auf 46 (1995) zu; die Zahl der Brutpaare stieg von 212 (1991) auf 339 (1995), wobei vor allem die auf Feldgehölze und auf die halboffene Agrarlandschaft angewiesenen Gilden von der Umgestaltung profitierten (LAUSSMANN & PLACHTER 1998). Einige wie der in der Region längst ausgestorben geglaubte Neuntöter (*Lanius collurio*) sowie Rebhuhn (*Perdix perdix*), Baumpieper (*Anthus trivialis*) und Wachtel (*Coturnix coturnix*) etablierten sich neu und bilden inzwischen stabile Populationen.

#### 4. Fallbeispiel Nördliche Münchner Ebene

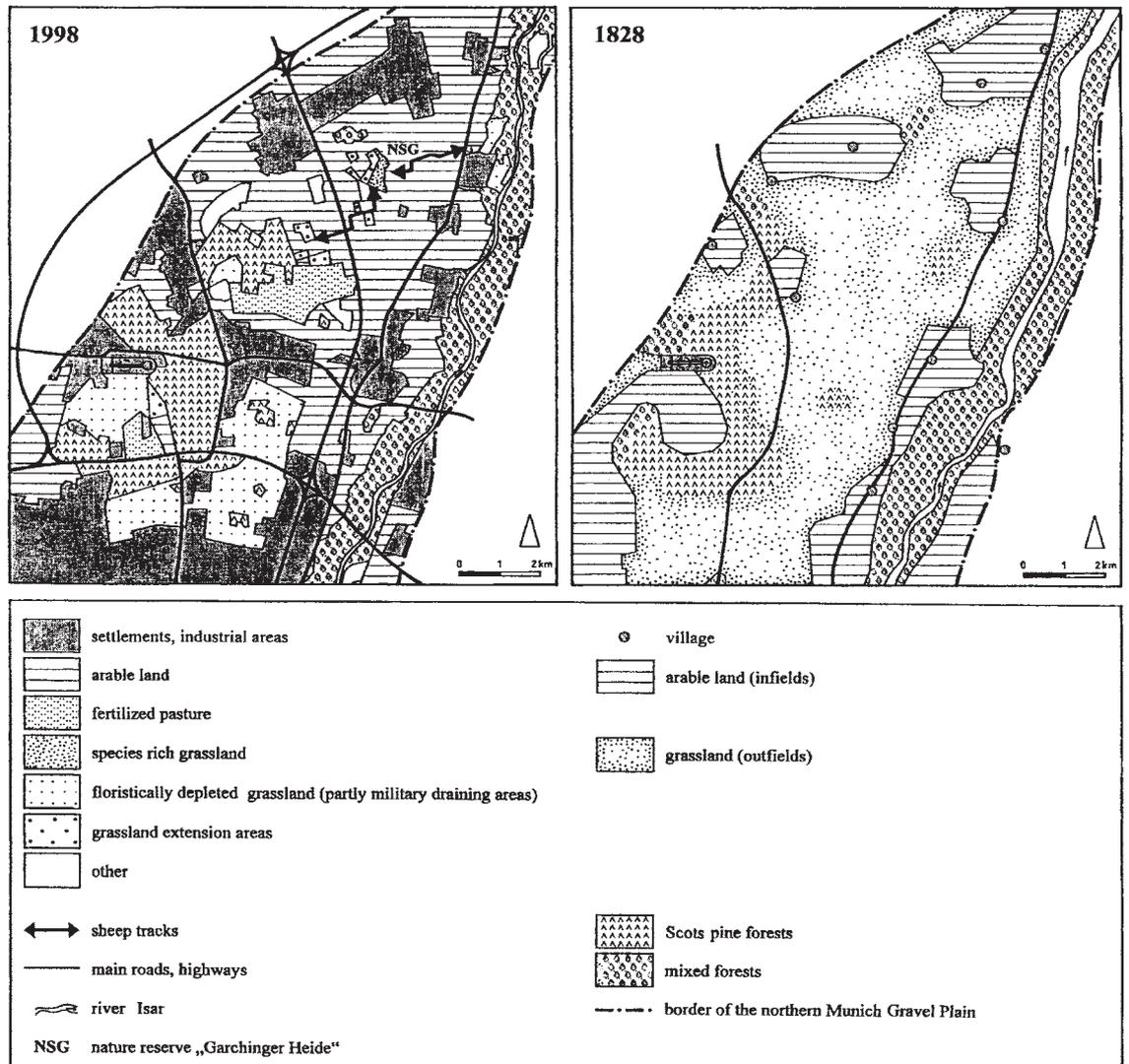
##### 4.1 Grundlagen

Die Münchner Schotterebene ist der größte würmeiszeitliche Sander des Alpenvorlands nördlich der Alpen. Sie besteht aus bis zu 40 m mächtigen Schmelzwasserschottern und fällt von Süden nach Norden ab. Die Böden sind flachgründige Pararendzinen mit einem zwei bis drei Dezimeter mächtigen A-Horizont und einem Kiesanteil von rund 50%. Die Siedlungen folgen weitgehend dem Übergang zwischen der unfruchtbaren Schotterebene und den angrenzenden Niedermooren im Norden und Westen („Moosrain“) sowie den Isarauen im Osten („Isarrain“); sieht man von einigen später gegründeten Schwaigen ab, blieb die Schotterebene selbst siedlungsfrei. Sie war wohl bis zum Beginn menschlicher Sesshaftigkeit (frühe Bronzezeit; KOLLMANNBERGER 1973) von einem lockeren Waldbestand aus Eichen und Waldföhren bedeckt, in dessen Lücken sich zahlreiche dealpine und – als Relikte der postglazialen Kältesteppe – pontische Florenelemente behaupten konnten. Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts war das „G’fild“ allgemeines Weideland (Allmende), auf das Schafe, Rinder, Schweine, Geißen getrieben wurden. Diese Weidelandchaft wird von den ortsansässigen Bauern als Hart bezeichnet. Es entstand so eine weite, nur von einzelnen Gehölzinseln durchbrochene, von niedrigwüchsigen Kalkmagerrasen bedeckte Landschaft (Abb. 7 rechts). Noch 1850 erstreckten sich diese Heidewiesen im Münchner Norden über eine Fläche von schätzungsweise 15.000 ha. Ende des 19. Jahrhunderts wurde der „gemeine Grund“ an die einzelnen Hofbesitzer aufgeteilt. Seit etwa 1890 wurden Wiesen und Weiden großflächig umgebrochen, weil die nun zur Verfügung stehenden Mineraldünger auch die Kultivierung trockenen Ödlands zuließ. Ab ca. 1930 bis ca. 1970 wurden die meisten Äcker mit Klärschlamm ge-

düngt, was zur Krümenvertiefung und erhöhter Bodenfruchtbarkeit führte. Nur wenige Heidereste entgingen der Zerstörung; hierzu gehört das von der Bayerischen Botanischen Gesellschaft in weiser Voraussicht aufgekaufte heutige Naturschutzgebiet Garchinger Heide sowie floristisch inzwischen stark verarmte Flächen im ehemaligen Truppenübungsplatz Mallertshofer Holz (Abb. 7 links).

Seit 1994 wird auf der nördlichen Münchner Schotterebene ein Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben mit dem Titel „Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München“ durchgeführt (PFADENHAUER et al. 2000, KIEHL et al. 2001). Ziel ist es, Verfahren der Neuanlage der für dieses Gebiet charakteristischen Grasheiden auf bisher ackerbaulich genutzten Flächen als Arrondierung des NSG Garchinger Heide sowie als Trittsteine im Biotopverbund zum NSG „Mallertshofer Holz mit Heiden“ zu entwickeln. Träger ist der Heideflächenverein Münchener Norden e.V., der die Organisation und Durchführung des investiven Teils des E+E-Vorhabens übernommen hat (Flächenkauf bzw. -anpachtung, Durchführung der Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen, Öffentlichkeitsarbeit usw.). Der wissenschaftliche Teil umfasst die Kontrolle der Vegetations-, Faunen- und Pilz-Entwicklung auf den Erweiterungsflächen sowie Untersuchungen zum Verhalten von Zielarten bei der Neubesiedlung.

Dem Vorhaben liegt eine Idee des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz aus dem Jahr 1991 (n.p.) zugrunde, die aus der Sicht des Arten- und Biotopschutzes für Süddeutschland floristisch und faunistisch besonders wertvollen Grasheiden zu erweitern, um den drohenden Rückgang von Pflanzen- und Tierarten zu stoppen. Dieser Rückgang betrifft vor allem die auf offene Bodenstellen angewiesenen Arten, unter denen sich auch Relikte der hochglazialen Wiesensteppen befinden (mit dem heutigen Verbreitungsschwerpunkt in den natürlichen Steppengebieten Osteuropas und Zentralasiens), und ist vermutlich auf die zu kleine Fläche des Schutzgebiets sowie auf Veränderungen des Pflegeregimes zurückzuführen. Die Idee wurde 1995 zu einem „Landschaftsplanerischen Konzept zur Entwicklung der Heiden im Norden von München“ (VALENTIEN und VALENTIEN & BURKHADT n.p.) ausgearbeitet. Es enthält neben der räumlichen Verknüpfung der Heidereste auch Vorschläge für die künftige Nutzung und Gestaltung der Nördlichen Münchner Ebene, die durch die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung sowie durch die überwiegend intensive landwirtschaftliche Nutzung als hoch belasteter Raum eingestuft werden kann, in dem dringend Handlungsbedarf besteht. Aus diesem Grund wurde das Heideprojekt durch weitere Forschungsvorhaben erweitert, die beispielsweise die Einbeziehung der Schäfereibetriebe in die landschaftliche Entwicklung vorsehen (WIESINGER & PFADENHAUER 1998) und Vorschläge für die Landnutzungsplanung machen (WIESINGER 2000).



**Abbildung 7**

**Zustand der nördlichen Münchner Schotterebene im Jahr 1928 und heute (1998).** Unter Verwendung von Blatt Nr. 70 und 77 des Topographischen Atlas des Königreichs Bayern 1:50000.

## 4.2 Prinzipien

Im Zusammenhang mit der Förderung der Biodiversität im eingangs genannten Umfang sind vor allem folgende Aspekte des gesamten Forschungskomplexes relevant:

- **Heideerweiterung:** Bisher ackerbaulich genutzte Parzellen wurden vom Heideflächenverein gekauft, gepachtet oder von den Flächeneigentümern kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Flächen wurden mit frischem Mähgut aus dem NSG Garching Heide belegt (mit und ohne Bodenabtrag von ca 30 cm), ein autochthones Ansaatverfahren, das sich inzwischen hervorragend bewährt hat, um möglichst viele Heidearten zu übertragen.
- **Heideverbesserung:** Seit Jahrzehnten nicht mehr genutzte Heiden wurden unter Einbindung von Schäfereibetrieben wieder in ein Beweidungssystem integriert. Versuchsweise werden derzeit auch

lichte Flächen in alten Kiefernauflösungen im NSG Mallertshofer Holz beweidet. Da alle Heiden letztendlich durch Beweidung entstanden sind, werden auch alle neu geschaffenen Heideflächen in das Beweidungssystem mit einbezogen. Dieses ist eine stationäre Hütelhaltung mit Winter-einstallung und festen Pferchflächen außerhalb der Heiden. Die eingesetzten Tiere sind Merino-Landschafe, die zur Deckung des Grundfutterbedarfs auch gedüngte Weideflächen benötigen.

- **Heideverbund:** Die räumlich isolierten, d.h. durch Äcker und Verkehrswege getrennten alten und neuen Heideflächen wurden über 10 m breite Triebwege miteinander verbunden, sodass sie über den Diasporetransport im Fell der Weidetiere miteinander vernetzt sind. Die Schäfereibetriebe werden über das Bayerische Vertragsnaturschutzprogramm finanziell unterstützt.

Das Projekt, das eine Laufzeit von neun Jahren hat (1994 bis 2002), besteht aus den Teilen Vegetation/Flora/Koordination, Fauna und Mykologie. Das Teilprojekt Vegetation/Flora untersucht die Effizienz verschiedener Ansaatvarianten sowie die Verhaltensmuster repräsentativer Zielarten bei der Etablierung auf den neu geschaffenen Heideflächen. Das Teilprojekt Fauna hat zum Ziel, anhand der Laufkäfer- und Springschreckenfauna als Leitartengruppen a) die Auswirkungen der Vergrößerung des Naturschutzgebietes und den Einfluss der Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen auf Artenspektrum und Populationsgröße sowie b) die Art und Intensität des Individuenaustausches zu untersuchen. Teilprojekt Mykologie bearbeitet die Großpilzflora auf dem Naturschutzgebiet Garching Heide, prüft den Mykorrhizierungsgrad von Heidepflanzen bei der Neuansiedlung und erprobt Techniken zur Neuansiedlung von Pilzen durch Ausbringung von vorkultivierten Myzelien. Die Methoden sind in PFADENHAUER et al. (2000) im einzelnen erläutert.

### 4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts sind, soweit sie bisher vorliegen, in zweierlei Hinsicht für die künftige Gestaltung einer Agrarlandschaft von Bedeutung: Erstens zeigte sich schon nach kurzer Laufzeit, dass es möglich ist, historisch bedingte (anthropogene) Biozönosen sozusagen zu reproduzieren und an anderer Stelle neu zu etablieren. Zweitens ist die dauerhafte Erhaltung solcher neu geschaffener Flächen nur möglich, wenn sie in ein entsprechend angepasstes Landnutzungssystem eingebunden werden können. Dieses Landnutzungssystem kann und darf nicht die historische Situation imittieren, es muss vielmehr den derzeitigen und – soweit überhaupt vorhersagbar – künftigen sozioökonomischen Rahmenbedingungen entsprechen.

Die erfolgreiche Etablierung der Grasheiden der nördlichen Münchner Ebene auf ehemaligen Acker-

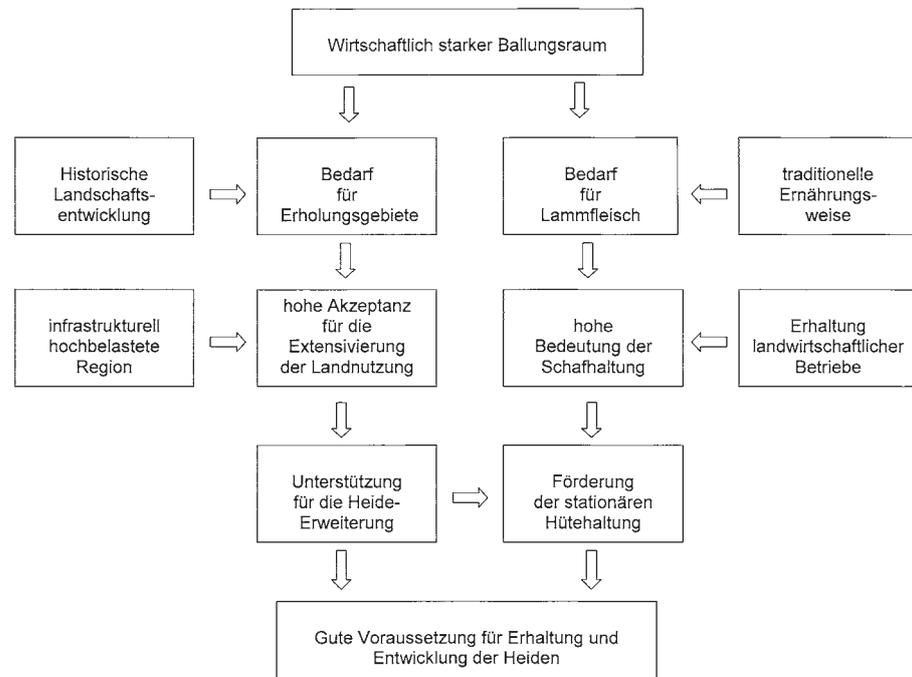
flächen ist durch die Ergebnisse aller drei oben genannter Teilprojekte belegt. Die Übertragung von autochthonem Mähgut hat sich als Ansaatmaßnahme bestens bewährt; denn das Material enthält ein breites Spektrum an Zielarten, enthält häufige (Matrix-) Arten ebenso wie seltene Relikte und ist in seiner genetischen Konstitution optimal an die lokalen Standorts- und Nutzungsbedingungen angepasst. Mit dem Mähgut wird auch die gesamte, in den Spenderpopulationen vorhandene genetische Varianz transferiert (GRÜNBAUER n.p.). Der Übertragungserfolg lag zwischen 70 und 95% aller im Mähgut in Form von keimfähigen Samen nachgewiesenen Arten (Tab. 4). Pflanzen, die nicht übertragen werden konnten (wie beispielsweise solche, die lang vor oder nach der Mähgutgewinnung fruchten) müssen entweder gärtnerisch vermehrt und dann ausgepflanzt oder durch eine vor- oder nachgeschaltete Mahd erfasst werden.

Über die Effizienz entscheidet aber auch die Qualität der Empfängerflächen. Die Simulation der mittelalterlichen Oberbodenerosion durch künstlichen Oberbodenabtrag hat sich erwartungsgemäß als besonders effizient erwiesen. Xerophile (also heidetypische) Laufkäfer und Springschrecken siedelten sich ebenso wie konkurrenzschwache Xerophyten und für Magerrasen charakteristische (saprophytische) Großpilze am nachhaltigsten auf den Abtragungsflächen an. Die nicht abgetragenen Ackerbrachen bieten zwar schon zwei Jahre nach dem Mähgutauftrag ein sehr buntes und daher attraktives Bild, womit man den Erfolg des Projekts gut der Öffentlichkeit verkaufen kann; in Wirklichkeit handelt es sich aber um mehr oder weniger hochwüchsige Stauden und Leguminosen (wie *Buphthalmum salicifolium*, *Coronilla varia*), während die exklusiven Arten zumindest ohne Mahd oder Beweidung als Aushagerungsmaßnahme eher geringe Etablierungschancen haben (KIEHL et al. 2001).

**Tabelle 4**

**Anzahl und prozentualer Anteil der durch Mähgut übertragenen und bis 1998 etablierten Arten** (bezogen auf die im Mähgut mit reifen Samen vorhandenen Arten = potentiell übertragbare Arten) **auf verschiedenen Flurstücken mit und ohne Bodenabtrag**, berechnet auf der Basis der untersuchten Dauerflächen (aus KIEHL et al. 2001).

Untersuchungsfläche	506	506 A	508	520	520 A	2526	gesamt
Bodenabtrag	ohne	mit	ohne	ohne	mit	ohne	
Mähgutauftrag	3 x	1 x	1 x	1 x	1 x	1 x	
Verhältnis Spender- zu Empfängerfläche	5:1	2:1	2:1	2:1	3:1	4:1	
Anzahl der durch Mähgut übertragenen Und bis 1998 etablierten Pflanzenarten	55	48	51	48	55	60	87
Anzahl im Mähgut vorhandener, aber Nicht etablierter Arten	21	7	11	8	10	6	6
Prozentualer Anteil der übertragenen (bis 1998 etablierten) Arten	72 %	87 %	82 %	86 %	85 %	91 %	94 %



**Abbildung 8**

**Modell für die Heideentwicklung auf der nördlichen Münchener Schotterebene** (aus PFADENHAUER 2000).

Die Einbindung der neuen und alten Heideflächen in das Landnutzungssystem (im Sinn eines integrierten Naturschutzes) ist die zweite Säule, auf der die naturschutzoptimierte Konzeption der nördlichen Münchner Ebene beruht. Das gilt für die Wiederaufnahme der Beweidung auf den brachgefallenen Heidewiesen ebenso wie für das Biotopverbundsystem. Die Weideführung auf den Flächen des Mallertshofer Holzes lässt nach bisherigen Ergebnissen hoffen, dass durch die fraßbedingte Schwächung des durch Brache und/oder Nährstoffzufuhr dominant gewordenen Rhizomgeophyten *Brachypodium rupestre* die eigentlichen Zielarten wieder eine Chance erhalten – jedenfalls sofern sie wenigstens in der Samenbank noch vorhanden sind. Andernfalls müssen sie auch hier durch Ansaat oder Pflanzung neu etabliert werden. Die Triebwege sorgen außerdem dafür, dass ein Samentransport von Heidearten möglich wird. Damit ist der Biotopverbund nicht nur optisch als lineare, landschaftgliedernde Struktur sichtbar, sondern hat als Transportweg auch Vernetzungsfunktion.

Das Heideprojekt weiter zu entwickeln ist langfristig nur möglich, wenn es gelingt, die naturschutzpolitischen Ziele in die Landnutzungssysteme der nördlichen Münchner Ebene einzubinden (Abb. 8). Außerhalb des besiedelten Bereichs stehen land- und forstwirtschaftliche Nutzung einerseits und Naherholung andererseits an erster Stelle für eine Integrationspolitik. Im Fall der Naherholung wird es zunehmend wichtiger, die örtliche Bevölkerung über akzeptanzfördernde Maßnahmen (z.B. Lockerung von Betretungsverboten) in das Heideprojekt einzubeziehen. Alternativen zu den derzeit bestehenden Formen der

agarischen Bewirtschaftung sind die Umwandlung mancher konventioneller Marktfruchtbetriebe in Betriebe des ökologischen Landbaus, deren Produkte sich in dem Ballungsraum besser absetzen lassen als irgendwo in ländlichen Räumen. Dann hätten auch die Reste der Ackerwildpflanzenflora der Kalkäcker noch eine Chance (s. Fallbeispiel 1). Im Zentrum des Projektgebietes stehen aber die Schäfereibetriebe. Da sie für die Erhaltung und Entwicklung der Grasheiden unverzichtbar sind, müssen sie sorgsam gepflegt werden, um sie im Gebiet zu halten. Einer drohenden Aufgabe muss mit allen Mitteln entgegengewirkt werden. Hier haben auch lokale Vermarktungsstrategien für Lammfleisch ihren Platz. So könnte die nördliche Münchner Ebene im Lauf der kommenden Jahrzehnte ein Beispiel dafür werden, wie die Ziele des Naturschutzes und die Nutzungsansprüche der Gesellschaft in einem ballungsgebietsnahen, hochbelasteten Raum zu einem integrierten Gesamtkonzept verschmelzen können.

## 5. Ausblick

In Kulturlandschaften bestimmen Art und Intensität der Landnutzungssysteme die Diversität von Arten und Lebensgemeinschaften oft in höherem Maß als die Standortvariabilität. Die beiden Fallbeispiele zeigen, dass biodiversitätsfördernde Maßnahmen in der Agrarlandschaft nötig und möglich sind. Artenzahlen pro Flächeneinheit werden allein schon durch die Anreicherung eines vorher einheitlich strukturierten Gebiets mit linearen Landschaftselementen erhöht. Allerdings werden dadurch fast ausschließlich Ubiquisten gefördert, also Arten mit breiter öko-

logischer Valenz und einer flexiblen Etablierungsstrategie, die ihnen eine Ansiedlung auf verschiedenen Standorten und unter unterschiedlichen Konkurrenzbedingungen erlaubt. Beispiel ist der Anökophyt *Taraxacum officinale* mit einer Vielzahl von (vermutlich ständig neu entstehenden) Ökotypen.

Historische Landschaftsanalysen lehren allerdings, dass häufig gerade nicht-nachhaltige Nutzungsweisen die Vielfalt von Strukturen und Taxa erhöhen. Ohne dass Extremstandorte neu geschaffen werden, bleiben deshalb die Chancen für die Ansiedlung von spezialisierten und daher eher seltenen (oft auch gefährdeten) Arten begrenzt. Radikale Eingriffe beispielsweise zur Senkung der Nährstoffvorräte, wie sie der Abtrag eines nährstoffbefruchteten Oberbodens darstellt, sind jedenfalls für solche Spezialisten angebracht, die anders nicht erhalten oder in dem nötigen Umfang gefördert werden können.

Ohne die Etablierung von Prozessen, die dafür sorgen, dass Arten wandern können und damit ein Genaustausch zwischen isolierten Populationen möglich wird, bleibt die Ansiedlung von Arten und Biozöosen durch Renaturierungsmaßnahmen wie Ansaat oder Anlage von Verbundsystemen nur eine vorübergehend wirksame (statische) Naturschutzstrategie. Wünschenswert wäre somit ein System von Vektoren, die Diasporen transportieren können. Ein solches System können Fließgewässer mit natürlicher oder wiederhergestellter Hochwasserdynamik sein, aber auch extensive Weidesysteme. In Ermangelung solcher Transportmedien muss der Mensch durch Ansaat oder Pflanzung eingreifen, wenn das Ziel die Erhaltung der gesamten regionaltypischen Flora sein soll. Biodiversität muss in Kulturlandschaften zu einer eigenen, honorierbaren Aufgabe von Landnutzungssystemen werden

## 6. Zusammenfassung

In den europäischen Kulturlandschaften ist die Biodiversität in all ihren Formen (Taxa-Biodiversität, genetische Diversität, biozönotische Diversität) von den verschiedenen Landnutzungsweisen und ihrer Intensität abhängig. Flächenmäßig am bedeutendsten ist die agrarische Landnutzung, deren Einfluss auf Vielfalt von Arten und landschaftlichen Strukturen allerdings einem beträchtlichem zeitlichem Wandel unterlag. Während die hochtechnisierte moderne Landwirtschaft zu einer Vereinheitlichung auf hohem trophischem Niveau geführt hat, trug die vorindustrielle Landwirtschaft eher zu einer Diversifizierung der Landschaft bei. So bestand die Dorfgemarkung während der klassischen Dreifelderwirtschaft aus einer Vielzahl unterschiedlich intensiv genutzter Felder, die sich entlang eines Kultur- und Trophiegradienten anordneten. In der weiter vom Dorf entfernten Allmende („outfields“) entstanden durch permanenten Stoffentzug, unterstützt durch katastrophale Erosionsereignisse, Magerstandorte, die vielen anspruchslosen, konkurrenzschwachen Pflanzenarten Lebens-

raum boten. Weit verbreitete extensive Weidesysteme („Transhumanz“) sorgten für die Ausbreitung einheimischer Arten über hunderte von Kilometern Distanz und ermöglichten, dass sich auch eingeschleppte Hemerophyten überall ansiedeln konnten. Verglichen mit einer nicht genutzten (freilich hypothetischen) mitteleuropäischen Landschaft erhöhte die vorindustrielle, auf dem Subsidiaritätsprinzip beruhende, eher nicht nachhaltige, oft sogar raubbauartig betriebene Landwirtschaft die Diversität beträchtlich, allerdings um den Preis einer verarmten ländlichen Bevölkerung und regelmäßig wiederkehrenden Hungersnöten.

Die heutige Situation der Landschaft mit ihrem meist gleichmäßig hohem trophischen Niveau, der anthropogenen Fragmentation von Restlebensräumen und der Vereinheitlichung der Landnutzungssysteme steht einer Erhaltung der durch diese vorindustrielle Landwirtschaft geschaffenen Vielfalt entgegen. Da eine Rückkehr zu solchen Verhältnissen weder möglich noch wünschenswert ist, wird derzeit nach einer Lösung gesucht, die es erlaubt, Produktivität landwirtschaftlicher Kulturen auf hohem Niveau zu stabilisieren, das Einkommen der Betriebe zu sichern und gleichzeitig die noch bestehende Vielfalt zu erhalten oder durch Renaturierung (inklusive Extensivierung) sogar zu fördern. Anhand von zwei Beispielen werden mögliche Lösungswege für eine derartige Gradwanderung aufgezeigt. Es erweist sich als notwendig, umweltpolitische Ziele wie Erhaltung und Förderung einer (der jeweiligen landschaftlichen Situation entsprechend) hohen Biodiversität in die Landnutzungssysteme zu integrieren und je nach naturräumlicher Situation nach individuellen Wegen zu suchen.

## Literatur

- ABEL, W. (1978):  
Geschichte der deutschen Landwirtschaft vom frühen Mittelalter bis zum 19. Jahrhundert.- Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- AGRICOLA, U.; J. BARTHEL, H. LAUSSMANN & H. PLACHTER (1996):  
Struktur und Dynamik der Fauna einer süddeutschen Agrarlandschaft nach Nutzungsumstellung auf ökologischen und integrierten Landbau.- Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 26: 681-692.
- ALBRECHT, H. & A. MATTHEIS (2000):  
The effects of organic and integrated farming on rare arable weeds on the FAM research station in Southern Bavaria.- Biological Conservation 86: 347-356.
- ANDERLIK-WESINGER, G.; M. KAINZ & J. PFADENHAUER (1995):  
Integrierte Naturschutzplanung auf dem FAM-Versuchsgut Scheyern.- Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 24: 507-515.
- AUERSWALD, K.; H. ALBRECHT, M. KAINZ & J. PFADENHAUER (2000):  
Principles of sustainable land use systems developed and evaluated by the Munich Research Alliance on Agroecosystems (FAM).- Petermanns Geographische Mitteilungen 144: 16-25.

- BONN, S. & P. POSCHLOD (1998):  
Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas. Quelle & Meyer, Wiesbaden.
- BORK, H.-R.; H. BORK, K. DALCHOW, B. FAUST, H.-P. PIORR & T. SCHATZ (1998):  
Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Justus Perthes-Verlag, Gotha.
- DIANA, O. (1998):  
Natura 2000: Bedeutung und Perspektiven des Netzes.- *Natur* 87:7
- FISCHER, S. F.; P. POSCHLOD & B. BEINLICH (1996):  
Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grasslands.- *J.Appl.Ecol.*33: 1206-1222.
- GIGON, A.; R. LANGENAUER, C. MEIER & B. NIEVERGELT (1998):  
Blaue Listen der erfolgreich erhaltenen oder geförderten Tier- und Pflanzenarten der Roten Listen – Methodik und Anwendung in der nördlichen Schweiz.- *Veröff. Geobot. Inst. ETH Zürich Stiftung Rübel* 129: 137 S.
- HORNBERGER, T. (1959):  
Die kulturgeographische Bedeutung der Wanderschäferei in Süddeutschland.- *Forschungen zur deutschen Landeskunde* 109: 173 S.
- JEDICKE, E. (1994):  
Biotopverbund. 2. Auflage.- Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- KAINZ, M. (1989):  
Runoff, Erosion and sugar beet yields in conventional and mulched cultivation. Results of the 1988 experiment.- *Soil Technol.Ser.*1:103-114.
- KIEHL, K.; A. THORMANN & J. PFADENHAUER (2001):  
Neuschaffung von Kalkmagerrasen auf ehemaligen Ackerflächen – Ergebnisse des E+E-Vorhabens „Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München“.- *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz, Augsburg*, im Druck.
- KOLLMANNBERGER, G. (Hrsg.) (1973):  
Eching – Gemeinde auf dem G'fild. Eine Heimatgeschichte der Orte Eching – Dietersheim – Hollern. Gemeindeverwaltung Eching, Selbstverlag.
- KONOLD, W. (1996):  
Von der Dynamik einer Kulturlandschaft.- In KONOLD, W. (Hrsg) *Naturlandschaft Kulturlandschaft*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech, S. 121-136.
- . (1999):  
Kulturlandschaftsentwicklung – den Weg zwischen Tradition und Fortschritt finden.- *Schriftenreihe Landesamt für Flurneuordnung und Landentwicklung Baden-Württemberg* 9: 7-16.
- KORNECK, D.; M. SCHNITTLER, G. L. KLINGENSTEIN, M. TAKLA, U. BOHN & R. MAY (1998):  
Warum verarmt unsere Flora? Auswertung der Roten Liste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands.- *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 29: 299-444.
- LAUSSMANN, H. & H. PLACHTER (1998):  
Der Einfluss der Umstrukturierung eines Landwirtschaftsbetriebs auf die Vogelfauna: Ein Fallbeispiel aus Süddeutschland.- *Vogelwelt* 119, 7-19.
- LÜTZOW, M. von; J. ILSER, M. KAINZ & J. PFADENHAUER (1998):  
Jahresbericht 1997.- *FAM-Bericht* 22, Neuherberg.
- MAKOWSKI, H. & B. BUDERATH (1983):  
Die Natur dem Menschen untertan. Ökologie im Spiegel der Landschaftsmalerei.- München.
- MAYER, F.; H. ALBRECHT & J. PFADENHAUER (1998):  
The transport of diaspores by soil working implements.- *Aspects Applied Biology* 51: 83-89.
- PFADENHAUER, J., 1996:  
Integration der Landnutzung bei der Umsetzung von Naturschutzziele. *Veröff. Projekt Angewandte Ökologie (Karlsruhe)* 14, 189-213.
- PFADENHAUER, J.; F. P. FISCHER, W. HELFER, C. JOAS, R. LÖSCH, U. MILLER, C. MILTZ, H. SCHMID, E. SIEREN & K. WIESINGER (2000):  
Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München. Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben 89211-1/94 des Bundesamtes für Naturschutz, Bonn.- *Angewandte Landschaftsökologie* 32, 311 S.
- PFADENHAUER, J.; J. FILSER & M. KAINZ (1996):  
Verlängerungsantrag Hauptphase 2.- *FAM-Bericht* 8, Neuherberg.
- POSCHLOD, P. & S. BONN (1998):  
Changing dispersal processes in the central European landscape since the last ice age: an explanation for the actual decrease of plant species richness in different habitats?- *Acta Bot. Neerl.* 47: 27-44.
- POTT, R. (1992):  
Geschichte der Wälder des westfälischen Berglandes unter dem Einfluss des Menschen. *Fortsarchiv* 63, 171-182.
- RIEDL, U. (1991):  
Integrierter Naturschutz – Notwendigkeit des Umdenkens, normativer Begründungszusammenhang, konzeptioneller Ansatz. – *Beiträge zur räumlichen Planung* 31: 303 S.
- RINGLER, A. (1999):  
Biotopverbund: Mehr als ein wohlfeiles Schlagwort?- *Ber.ANL* 23:5-62.
- SIEBEN, A. & A. OTTE (1992):  
Nutzungsgeschichte, Vegetation und Erhaltungsmöglichkeiten einer historischen Agrarlandschaft in der südlichen Frankenalb (Landkreis Eichstätt).- *Ber.Bayer.Bot.Ges. Beihft* 6: 1-55.
- VAN DER MAAREL, E. (1997):  
Biodiversity: from babel to biosphere management. Special Feature in *Biosystematics and Biodiversity* 2: 60 pp (Opulus Press, Uppsala).
- WEINFURTNER, K. (2000):  
Phosphor- und Kalium-Haushalt in einem Agrarökosystem des Tertiärhügellandes.- *Diss. TU München*.
- WIESINGER, K. (2000):  
Integration landwirtschaftlicher Betriebe.- In PFADENHAUER, J.; F. P. FISCHER, W. HELFER, C. JOAS, R. LÖSCH, U. MILLER, C. MILTZ, H. SCHMID, E. SIEREN & K. WIESINGER, *Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München*. Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben 89211-1/94 des Bundesamtes für Naturschutz, Bonn.- *Angewandte Landschaftsökologie* 32: 281-294.
- WIESINGER, K. & J. PFADENHAUER (1998):  
Konzept zur Schafbeweidung von Kalkmagerrasen auf der nördlichen Münchner Schotterebene.- *Agrarökologie* 29.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Jörg Padenhauer  
Technische Universität München  
Department für Ökologie  
Lehrstuhl für Vegetationsökologie  
D-85350 Freising



# Was will der Naturschutz und was sind Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege?

Wolfgang SCHUMACHER

## Gliederung

### Einleitung

1. Ziele des Naturschutzes
  2. Definition und Bezugsbasis von Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege
  3. Beispiele ökologischer und landeskultureller Leistungen
    - 3.1 Abiotischer Ressourcenschutz
    - 3.2 Biotischer Ressourcenschutz
    - 3.3 Ästhetischer Ressourcenschutz
  4. Naturschutzfachliche Bewertung ökologischer Leistungen landwirtschaftlicher Betriebe
    - 4.1 Vorbemerkungen
    - 4.2 Äcker und Weinberge
    - 4.3 Wiesen und Weiden
    - 4.4 Sonderbiotope
    - 4.5 Zwischenstrukturen
  5. Lösungsansätze zur Honorierung
- ### Literatur

## Einleitung

Die Thematik dieses Symposiums hat seit etwa Mitte der 1980er Jahre in Wissenschaft, Verbänden und Politik zunehmend Aufmerksamkeit gefunden (vgl. u.a. KNAUER 1988, SCHUMACHER 1988). Besonders Gewicht hat sie durch die EU-Agrarreformen von 1992 und 1999 erhalten. Inzwischen besteht sowohl aus wissenschaftlicher wie auch aus agrar- und gesellschaftspolitischer Sicht weitgehend Konsens darüber, dass eine Honorierung der Landwirtschaft für ökologische Leistungen bzw. Leistungen zu Gunsten des Naturschutzes und der Landschaftspflege erforderlich ist. Allerdings herrschen über das „Wie“ und „Wie viel“ noch recht unterschiedliche Vorstellungen.

Auf Initiative des Verfassers hat der Dachverband Agrarforschung 1995 ein Symposium mit ähnlicher Thematik durchgeführt, das in Band 24 „Ökologische Leistungen der Landwirtschaft – Definition, Beurteilung und ökonomische Bewertung“ publiziert worden ist. Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich vor allem auf Beiträge in diesem Band (SCHUMACHER 1995a, 1995b).

### 1. Ziele des Naturschutzes

Die Hauptziele eines modernen, ganzheitlichen Naturschutzes werden nach dem Bundesnaturschutzge-

setz, den entsprechenden Ländergesetzen und internationalen Vereinbarungen (z.B. Biodiversitätskonvention von Rio und FFH-Richtlinie der EU) heute meist wie folgt formuliert.

- Bestandessicherung der regionaltypischen Flora und Fauna einschließlich ihrer Lebensräume (biotischer Ressourcenschutz),
- Schutz von Boden, Wasser und Luft als Teilbereiche der Biosphäre (abiotischer Ressourcenschutz),
- Erhaltung der Vielfalt und Schönheit von Natur und Landschaft (ästhetischer Ressourcenschutz).

Hinsichtlich der Hauptziele gibt es im Bereich von Naturschutz und Landschaftspflege weitgehende Übereinstimmung, während über die Strategien einschließlich regionalisierter Feinziele sehr unterschiedliche Auffassungen bestehen. Sie reichen z.B. von „differenzierter Landnutzung“ bis zu „flächendeckender Extensivierung“ von „Pflege der Kulturlandschaft und ihrer Biotope“ bis zum „Entwicklungsziel Wildnis“, vom „Vorrang des Ordnungsrechtes“ gegenüber dem „Vertragsnaturschutz“ und umgekehrt oder von der überwiegend für erforderlich gehaltenen „Honorierung ökologischer Leistungen der Landwirtschaft“ bis zur „systemimmanenten Gewährleistung ohne Entgelt“.

Ohne auf die unterschiedlichen Vorstellungen im Detail eingehen zu wollen: Naturschutz in der Kulturlandschaft hatte jeher sowohl den Schutz natürlicher und naturnaher Ökosysteme ohne Nutzung des Menschen und auch der sog. Kulturlandschaftsbiotope zum Ziel, die ihre Entstehung und Erhaltung der Land- und Forstwirtschaft verdanken.

Da in den mitteleuropäischen Landschaften je nach Region 70 bis 90% der Fläche von der Land- und Forstwirtschaft genutzt werden, ergibt sich zwangsläufig, dass eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen Naturschutz und Landnutzung erforderlich ist, wenn die oben genannten Ziele erreicht werden sollen. Hinzu kommt, dass mehr als 50% aller Rote Liste-Arten der Bundesrepublik Deutschland auf extensiv bis höchstens halbintensiv genutzte Offenlandbiotope (SCHUMACHER 1992, 1995c) angewiesen sind. Würden diese von Landwirten nicht mehr genutzt und der natürlichen Sukzession überlassen, würde die Rote Liste gefährdeter Pflanzen- und Tierarten erheblich zunehmen.

## 2. Definition und Bezugsbasis von Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege

Als Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege werden vorrangig solche Nutzungen bzw. Maßnahmen bezeichnet, die zur Sicherung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit von Natur und Landschaft beitragen, und zwar im Hinblick auf die abiotischen und die biotischen Ressourcen. Hierfür wird auch der Begriff „ökologische Leistungen“ (exakt müsste es „ökologisch relevante Leistungen“ heißen) verwendet. Maßnahmen für den ästhetischen Ressourcenschutz (z.B. Erhaltung des Landschaftsbildes werden auch als „landeskulturelle Leistungen“ bezeichnet (vgl. SCHUMACHER 1995 a).

Die Definition dieser Leistungen kann sich in Mitteleuropa nicht am Leitbild bzw. der Alternative einer unberührten Naturlandschaft orientieren, sondern Leitbild müssen die von Menschen geprägten Kulturlandschaften mit ihren Ver- und Entsorgungsfunktionen sein, die je nach Bevölkerungsdichte und naturräumlichen Bedingungen unterschiedlich hohe Flächenanteile extensiv bzw. nicht genutzter und natürlicher bis naturnaher Ökosysteme aufweisen können. Daraus lässt sich ableiten, dass die Grundlage für regionale Leitbilder die jeweiligen naturräumlichen Einheiten und ihre biotischen, abiotischen und ästhetischen Potentiale sein müssen.

Hinsichtlich der *abiotischen Ressourcen* stellt eine standortangepasste, umweltschonende Landwirtschaft (in diesem Sinn als ordnungsgemäße Landwirtschaft bzw. „gute fachliche Praxis“ zu verstehen) die nur unvermeidbare Stoffeinträge in Wasser, Boden und Luft verursacht, heute den Standard dar, auch wenn dieser in manchen Regionen noch nicht oder nur teilweise realisiert ist. Dabei kann es sich zwar auch um ökologische Leistungen handeln, doch wird eine Honorierung nach Auffassung der meisten Autoren in diesem Fall für nicht erforderlich gehalten. Wenn jedoch aus Vorsorgeaspekten oder wegen spezifischer Standortqualitäten die systemimmanenten Stoffausträge noch weiter abgesenkt werden sollen, sind hierzu erforderliche Maßnahmen durchweg als ökologische Leistungen anzusehen.

Im Hinblick auf die *biotischen Ressourcen* sind Maßnahmen, die über die Sicherung der abiotischen Ressourcen hinausgehen und nachweislich der Erhaltung und Förderung der standort- und naturraumspezifischen Biodiversität dienen, generell als ökologische Leistungen zu betrachten. Denn in Agrarlandschaften ist höhere Biodiversität im wesentlichen an extensiv bis höchstens halbintensiv genutzte Flächen oder an nicht genutzte Zwischenstrukturen gebunden, wie sie 1950/60 noch in großem Umfang vorhanden waren. Artenvielfalt war damals überwiegend das Koppelprodukt der „normalen“ Landnutzung (SCHUMACHER 1992, 1995c; SCHUMACHER et al. 1998).

Letzteres gilt auch für den *ästhetischen Ressourcenschutz*. Wenn hierfür spezifische Maßnahmen erforder-

lich werden, sind diese als landeskulturelle Leistungen aufzufassen (teilweise auch als ökologische Leistungen, s.u.).

## 3. Beispiele ökologischer und landeskultureller Leistungen

### 3.1 Abiotischer Ressourcenschutz

Als ökologische Leistungen der Landwirtschaft im abiotischen Ressourcenschutz können, sofern die Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Ressourcen Boden, Wasser und Luft nachhaltig gesichert sind, insbesondere drei Bereiche genannt werden:

- *Produktion von Nahrungsmitteln* und nachwachsenden Rohstoffen,
- *Recycling organischer Stoffe*,
- *Erzeugung von Energie* aus Biomasse, Gülle und anderen organischen Abfällen.

Neben dem Prinzip der Nachhaltigkeit ist hierbei ferner der Verbrauch von fossiler Energie und Betriebsmitteln zu berücksichtigen, wobei diese Parameter auch in Relation zur Produktivität der Betriebsflächen zu sehen sind. Weiterhin sollten (wie bereits erwähnt) nur unvermeidbare Stoffeinträge in die Umweltmedien erfolgen. Hinsichtlich des Umweltfaktors Stickstoff (N) der als Schlüsselfaktor für die terrestrischen Ökosysteme gilt, wird nach wissenschaftlichen Erkenntnissen ein N-Austrag von 50 kg/ha/Jahr für unvermeidbar angesehen. Dies gilt auch für extensive landwirtschaftliche Nutzungsformen.

Da die o.g. ökologischen Leistungen ebenso wie Erosions- und Bodenschutz nicht nur im Interesse der Gesellschaft sondern auch der Landwirte selbst liegen, wird hierfür nach übereinstimmender Auffassung eine Honorierung als ökonomisch nicht sinnvoll angesehen.

### 3.2 Biotischer Ressourcenschutz

Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sind als ökologische Leistungen im biotischen Ressourcenschutz anzusehen:

- *Aktive Handlungen*, wie die Anlage und/oder Pflege von Hecken, Feldgehölzen, Kopfbäumen, Streuobstwiesen und Feuchtbiotopen,
- *Beibehaltung der extensiven Nutzung* artenreicher Wiesen, Weiden und Äcker,
- *Extensivierung* einer bislang intensiven Grünland- oder Ackernutzung zugunsten der Förderung der Artenvielfalt,
- *Schaffung und Erhaltung* von Brachflächen sowie langfristig bzw. dauerhaft nicht oder extensiv genutzter Zwischenstrukturen (z.B. Raine, Säume, Acker- und Uferrandstreifen).

Im Bereich der Forstwirtschaft seien u.a. genannt:

- *Beibehaltung oder Wiedereinführung* historischer Waldnutzungsformen, sofern sie umweltverträglich sind,

- *Förderung* von Alt- und Totholz,
- *Einrichtung* von Naturwaldzellen, Bannwälder u.ä.,
- *Umwandlung* von Beständen mit nichtheimischen Gehölzen in Wälder mit standortgerechten, einheimischen Baum- und Straucharten,
- *Erstaufforstung* von Flächen, die bisher keine oder nur geringe Bedeutung für den Artenschutz haben.

Die o.g. ökologischen Leistungen zur Erhaltung und Förderung der biotischen Ressourcen können i. d. R. nur durch eine entsprechende Honorierung erreicht und auf größerer Fläche nur von der Land- und Forstwirtschaft erbracht werden. Handelt es sich um Offenlandbiotope, zu deren Erhaltung eine extensive Nutzung erforderlich ist, kommen hierfür ausschließlich landwirtschaftliche Betriebe in Frage. Denn nur sie sind in der Lage, die anfallende Biomasse durch Beweidung oder Schnittnutzung sinnvoll zu verwerten und in Kreisläufe zurückzuführen. Eine „museale“ Biotop- und Landschaftspflege durch reine Landschaftspflegehöfe, Betriebe des Garten- und Landschaftsbaus oder gar Pflgetrupps aus Zivildienstleistenden und ABM-Kräften ist auf Dauer – abgesehen von Erstpflegemaßnahmen und wenigen Spezialfällen – nicht nur nicht bezahlbar, sie ist vor allem aus naturhaushaltlichen Gründen nicht vertretbar.

### 3.3 Ästhetischer Ressourcenschutz

Hierunter werden meistens die Erhaltung und Gestaltung des Landschaftsbildes sowie interessanter, oftmals historisch geprägter Kulturlandschaften in ihrer Gesamtheit verstanden, wobei diese z.T. zugleich auch hohe Bedeutung für den biotischen und abiotischen Ressourcenschutz haben können.

Als Koppelprodukt verschiedenartiger historischer Nutzungen (nicht nur landwirtschaftlicher Art) entstanden, sind zu ihrer Erhaltung i.d.R. spezifische landschaftspflegerische Maßnahmen erforderlich, die in den meisten Fällen eine Honorierung erfordern.

Als Beispiele für derartige landeskulturelle Leistungen, die heute nur in begrenztem Umfang von Landwirten erbracht werden können, seien die Erhaltung und Pflege (z.T. auch Neuanlage) von Alleen, historischen Parks, markanten landschaftsprägenden Solitäräumen und Baumgruppen, Aussichtspunkten, alten Handels- und Hohlwegen, Wall-, Gebüsch- und Baumhecken sowie Acker- und Weinbergterrassen genannt.

## 4. Naturschutzfachliche Bewertung ökologischer Leistungen landwirtschaftlicher Betriebe

### 4.1 Vorbemerkungen

Aus den vorangegangenen Abschnitten lässt sich ableiten, dass honorierungsbedürftige ökologische Leistungen der Land- und Forstwirtschaft vor allem im biotischen Ressourcenschutz liegen. Dabei geht es bekanntlich nicht um eine maximale Artenvielfalt, Bezugsbasis ist vielmehr die *naturraum- oder regio-*

*naltypische Biodiversität*. Sie ist hinsichtlich der Flora und großer Teile der Fauna in nahezu allen Regionen Deutschlands ebenso bekannt wie die jeweilige *standort- und biotopspezifische Artenvielfalt*. Da hiermit das entscheidende Indikatorsystem als „Messlatte“ für die naturschutzfachliche Bewertung der biotischen Ressourcen vorliegt, bedarf es weder spezifischer Leitbilder noch aus Gründen der Verhältnismäßigkeit zeit- und kostenaufwendiger Bewertungs- (z.B. SCHICK & SCHUMACHER 1994) oder Analyseverfahren wie der Ökobilanz-Methode (GEIER 2000). Zusätzliche Bewertungskriterien für landwirtschaftliche Betriebe können z.B. die Flächenanteile dauerhafter Zwischenstrukturen und extensiv genutzter Wiesen, Weiden oder Äcker sein.

Die *anthropogenen Ökosysteme* der historischen und der heutigen Kulturlandschaften sind bekanntlich vollständig von land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung abhängig. Sie können insbesondere in den Mittelgebirgen auch heute noch eine hohe bis sehr hohe Diversität besitzen. Überdies beherbergen sie mehr als 50% aller Rote Liste-Arten und besitzen offenbar ein hohes *evolutionsbiologisches Potential*, das seit dem Neolithikum zur Entstehung zahlreicher neuer Sippen (Arten, Kleinarten, Unterarten, Varietäten, Ökotypen) geführt hat. Die Erhaltung der biologischen Vielfalt als wesentliches Ziel eines modernen, ganzheitlichen Naturschutzes in der Kulturlandschaft muss neben den natürlichen und naturnahem Ökosystemen daher vor allem die von land- und forstwirtschaftlicher Nutzung abhängigen Lebensräume einschließlich der Zwischenstrukturen berücksichtigen.

Die vor 40-50 Jahren in den meisten Kulturlandschaften noch vorhandene hohe regionaltypische Biodiversität der damals ganz überwiegend extensiv genutzten Landschaften ist im Zuge der Intensivierung der Landwirtschaft je nach Region, Nutzungs- und Betriebsform mehr oder weniger stark zurückgegangen. Keine Form heutiger Landwirtschaft – weder ökologische noch integrierte oder konventionelle – ist in der Lage die regionaltypische Biodiversität auch nur annähernd systemimmanent zu erhalten. Die Gründe dafür liegen vor allem in dem im Vergleich zu früher deutlich höheren Stickstoffniveau sowie in der grundlegend anderen Art der Betriebsformen.

Insofern war es nur folgerichtig, das Instrument des Vertragsnaturschutzes zur Förderung und Erhaltung der Artenvielfalt einzuführen. Im Hinblick auf eine höhere Effizienz der Vertragsnaturschutzprogramme und eine ergebnisorientierte Honorierung der erbrachten Leistung ist jedoch eine differenzierte naturschutzfachliche Bewertung notwendig, was im Folgenden dargestellt wird.

### 4.2 Äcker und Weinberge

Die Erhaltung der spezifischen Flora und Fauna der *Äcker* wird durch den ökologischen Landbau im Ver-

gleich zum extensiven Ackerbau der Vergangenheit systemimmanent heute auf einem mittleren Niveau gewährleistet, während integrierte oder konventionelle Anbauformen hier erwartungsgemäß, nur von geringer Bedeutung sind. Wenn diese sich jedoch am Ackerrandstreifenprogramm beteiligen, können gleich hohe oder höhere Erfolge erzielt werden, wie langjährige Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz gezeigt haben (OESAU 1998; SCHUMACHER et al. 1999).

Wie differenziert und zugleich relativ Extensivierungsmaßnahmen z. B. im Hinblick auf die N-Düngung zu beurteilen sind (s. hierzu insb. SCHIEFER 1984) ist an anderer Stelle ausführlich dargestellt (SCHUMACHER 1995 a,c). Dabei wurden für das Grünland fünf Intensitätsstufen der N-Düngung unterschieden: extensiv (0-50 kg N/ha\*a), halbintensiv (50-100 kg N/ha\*a), intensiv (150-200 kg N/ha\*a) und hochintensiv (< 250 kg N/ha\*a).

### 4.3 Wiesen und Weiden

Im Hinblick auf die biologische Vielfalt besitzen *Wiesen und Weiden* eine deutlich höhere Bedeutung als Ackerland. Doch ist eine extensive Grünlandnutzung im Sinne der Naturschutzprogramme auf der gesamten Betriebsfläche weder für ökologisch wirtschaftende noch für konventionelle Milchviehbetriebe möglich. Bei der EU-Grundextensivierung (z.B. in Nordrhein-Westfalen und in anderen Bundesländern gilt: keine mineralische Düngung und maximal 1,4 Großvieh-Einheiten/ha, was ca. 110 kg N/ha entspricht). Wie von beiden Betriebsformen gleichermaßen praktiziert wird, können erfahrungsgemäß nur geringe Erfolge im Artenschutz erzielt werden, weil erst bei deutlich weniger als 100 kg N/ha die Artenvielfalt in Wiesen und Weiden signifikant zunimmt.

### 4.4 Sonderbiotope

*Sonderbiotope* wie Magerrasen und Streuwiesen weisen im Mitteleuropa bekanntlich mit die höchsten Artenzahlen und besonders viele Rote Listen-Arten auf. Auch ihre Erhaltung ist bis auf geringe Ausnahmen von landwirtschaftlicher Nutzung abhängig. Hier stellt sich allerdings die Frage der Integration dieser Flächen in Landwirtschaftliche Betriebe und die Verwertung der Aufwüchse im besonderem Maße. Unsere rund 15jährigen Erfahrungen mit größeren milchviehhaltenden Betrieben zeigen, dass dies unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist, und dass zugleich die Populationen vieler seltener und gefährdeter Arten im Vergleich zu den 1970er Jahren vielerorts stark angestiegen sind (SCHUMACHER 1995b, POSCHLOD & SCHUMACHER 1999).

### 4.5 Zwischenstrukturen

Für eine funktionsfähige, den ökologischen Anforderungen und dem Erholungsanspruch gerecht werdende Agrarlandschaft sind artenreiche Wiesen und ungespritzte Ackerrandstreifen oder Äcker nicht aus-

reichend, so bunt sie auch sein mögen. Mindestens ebenso wichtig sind besonders im Hinblick auf die Kleintierfauna dauerhafte *Zwischenstrukturen*, die sich als Ergänzung zu herbizidfrei bewirtschafteten Ackerrandstreifen oder extensiv genutzten Wiesen und Weiden anbieten.

Diese nicht oder extensiv zu nutzenden Teilflächen in Form von Uferrandstreifen, Rainen, Säumen und Hecken sind Lebens- und Rückzugsräume für Flora und Fauna. In der Regel stellen sie auch unverzichtbare Elemente für den Biotopverbund bzw. die -vernetzung im Sinne einer integrierten und/oder ökologisch ausgerichteten Landwirtschaft dar. Da sie dem biotischen z.T. auch dem abiotischen Ressourcenschutz dienen und i.d.R. auch mit Ertragsverzicht verbunden sind, ist eine differenzierte Honorierung erforderlich.

## 5. Lösungsansätze zur Honorierung

Bei ökologischen Leistungen für den *abiotischen Ressourcenschutz* wird davon ausgegangen, dass die ordnungsgemäße, d.h. standortangepasste und umweltschonende Landwirtschaft bzw. „gute fachliche Praxis“ grundsätzlich keiner Vergütung bedarf. Der Verzicht auf eine unsachgemäße Nutzung, die Belastungen von Boden, Wasser und Luft verursacht, ist folgerichtig erst recht nicht zu honorieren. Dies schließt jedoch nicht aus, dass vorübergehend (wie bei der Einführung des Katalysators) finanzielle Anreize (Beihilfen, Steuervorteile) eingesetzt werden können, um die Ziele des abiotischen Ressourcenschutzes schneller zu erreichen oder um Wettbewerbsnachteile zu vermeiden.

Es kann dennoch Fälle geben, bei denen eine Honorierung ökologischer Leistungen für den abiotischen Ressourcenschutz sinnvoll ist, z.B. wenn es um die Sanierung von Umweltschäden an Böden und Gewässern durch Dritte geht. Gleiches gilt, wenn in niederschlagsarmen Gebieten mit hohem Wasserverbrauch die Beibehaltung der Acker- oder Grünlandnutzung zur Sicherung einer höheren Grundwasserspende erforderlich ist, obwohl Boden und/oder vorhandene Betriebsstrukturen eine konkurrenzfähige Landwirtschaft nicht zulassen.

Nach Auffassung der meisten mit der Thematik vertrauten Autoren werden Leistungen für den *biotischen Ressourcenschutz* generell als honorierungsbedürftig angesehen, weil alle heutigen Landnutzungsformen zwangsläufig die Lebensgrundlagen zahlreicher wildlebender Tier- und Pflanzenarten mehr oder weniger stark einschränken. Je nach Höhe des Beitrags zur Erhaltung und Förderung der Artenvielfalt bzw. nach der Höhe des Arbeitsaufwandes und/oder des Einkommensverzichtes sollte eine differenzierte Vergütung erfolgen, und zwar nicht nur handlungsorientiert, sondern auch ergebnisorientiert

(HAMPICKE 1991, SCHUMACHER 1995c). Bei hohen bis sehr hohen Leistungen könnte dies z.B. in Form eines Zuschlages auf die Sockelbeiträge der Naturschutzprogramme erfolgen (SCHUMACHER et al. 1999), was auch durch die EU-Förderung abgedeckt wäre, die einen 20%igen Zuschlag als Anreiz ermöglicht.

Bei den oben erwähnten „*landeskulturellen Leistungen*“ zur Erhaltung und Gestaltung des Landschaftsbildes könnte analog verfahren werden. Wenn sie im Rahmen der heutigen Landnutzung systemimmanent erbracht werden (was eher selten ist), ist keine Honorierung nötig. Werden hingegen zusätzliche Leistungen erforderlich, so sind diese entsprechend zu vergüten.

Wenn die Landwirtschaft in der Bundesrepublik zukünftig eine wesentliche Rolle bei der Erhaltung der Biodiversität spielen soll, muss zunächst die *Wertschätzung für unser Naturerbe* in der Gesellschaft weiter zunehmen, etwa vergleichbar mit derjenigen, die unserem Kulturerbe beigemessen wird. Da es für die Erhaltung der Biodiversität bzw. generell für den Arten- und Biotopschutz bislang keine oder nur sehr begrenzte Märkte gibt, müssen die erforderlichen Mittel zwangsläufig in erster Linie aus Steuermitteln finanziert werden, wie dies seit langem auch bei der Kulturförderung in Deutschland geschieht (z.Z. kommen hier bundesweit fast 90% der Ausgaben in Höhe von 14 Mrd. DM/Jahr aus Steuermitteln).

Es war eine *Illusion des Naturschutzes* – in Teilen der Politik und der Umweltverbände besteht sie offenbar immer noch – zu glauben, dass in Wirtschaftssystemen, in denen nahezu alles nach ökonomischen Prinzipien „funktioniert“, ausgerechnet die Natur und insbesondere die biologische Vielfalt vorrangig mit moralischen Appellen, Verordnungen und Gesetzen erhalten werden können.

Wenn es gelingt, die o.g. Voraussetzungen z.B. im Rahmen der lokalen Agenden und in den Agrar- und Umweltpolitiken der Länder und des Bundes zu schaffen, würde sich für landwirtschaftliche Betriebe eine zusätzliche ökonomische Perspektive eröffnen: Neben die Erzeugung von Nahrungsmitteln, die auch weiterhin die Haupteinnahmequelle bleiben wird, könnte die Erhaltung der regionaltypischen Biodiversität nach Standort und Betrieb differenziert als weiteres *integrales Produktionsziel* treten. Das gilt in besonderem Maße für die sog. Benachteiligten Regionen, die meist noch eine hohe Biodiversität besitzen und oftmals beliebte Erholungslandschaften sind. Die Landwirte sind hierzu in viel größerem Umfang bereit, als manchmal behauptet wird, wie eine Befragung von rund 150 Haupterwerbsbetrieben im Rahmen des vom Verfasser wissenschaftlich begleiteten Eifelprojektes des Deutschen Bauernverbandes ergeben hat (WEIS et al. 2000).

## Literatur

- GEIER, U. (2000): Anwendung der Ökobilanzmethode in der Landwirtschaft – dargestellt am Beispiel einer regionalen Prozess-Ökobilanz konventioneller und organischer Bewirtschaftung. Dissertation. Institut für Organischen Landbau, Bonn.
- HAMPICKE, U. (1991): Naturschutz-Ökonomie. Stuttgart. 342 S.
- KNAUER, N. (1988): Katalog zur Bewertung und Honorierung ökologischer Leistungen der Landwirtschaft.- VDLUFA – Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, 1241-1262.
- OESAU, A. (1998): Möglichkeiten zur Erhaltung der Artenvielfalt im Ackerbau – Erfahrungen aus der Praxis.- Schriftenreihe f. Vegetationskunde 29, 69-79.
- POSCHLOD, P. & W. SCHUMACHER (1999): Naturschutzziele für extensiv genutzte Kulturlandschaften, 87-97.
- SCHICK, H.-P. & W. SCHUMACHER (1994): Bewertung und Bilanzierung einer Grünlandregion der Westeifel im Hinblick auf den biotischen und abiotischen Ressourcenschutz.- Forschungsberichte 15, Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, 89-109.
- SCHIEFER, J. (1984): Möglichkeiten der Aushagerung von nährstoffreichen Grünlandflächen. Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 57/58. S. 32-62.
- SCHUMACHER, W. (1988): Notwendigkeit und Umfang von Pflegemaßnahmen auf Schutzflächen anhand ausgewählter Beispiele – Landwirte als Partner des Naturschutzes?- Schriftenreihe Angewandter Naturschutz 7, 25-38.
- (1992): Extensivierung – Möglichkeiten und Grenzen für den Arten und Biotopschutz in der Kulturlandschaft.- VDLUFA-Schriftenreihe 35, 87-97.
- (1995a): Ökologische Leistungen der Landwirtschaft und ihre Honorierung – Thesen, Rahmenbedingungen, Empfehlungen – Dachverband Agrarforschung. [Hrsg.]: Ökologische Leistungen der Landwirtschaft Definition, Beurteilung und ökonomische Bewertung.- Agrarspectrum 24, 181-185.
- (1995b): Artenschutz in den heutigen Agrarökosystemen.- Dachverband Agrarforschung. [Hrsg.]: Ökologische Leistungen der Landwirtschaft. Agrarspectrum 24, 75-84.
- (1995c): Offenhaltung der Kulturlandschaft?- LÖBF-Mitteilungen 1995 (4), 52-61.
- SCHUMACHER, W. & H.P. SCHICK (1998): Rückgang von Pflanzen der Äcker und Wienberge – Ursachen und Handlungsbedarf.- Schriftenreihe für Vegetationskunde 29, S. 49-57.
- SCHUMACHER, W.; F. OPITZ & J. WEIS (1998): Zur Populationsentwicklung seltener und gefährdeter Orchideen in Offenlandökosystemen der Eifel während der letzten Jahrzehnte.- Jahresberichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal 51, 230-255.
- SCHUMACHER, W.; J. WEIS, S. REMER & T. KUHL (1999): Effizienzkontrolle des Mittelgebirgsprogramms von Nordrhein-Westfalen: Naturschutzfachliche Effizienzkontrolle. - Forschungsberichte des Lehr- und Forschungsschwer-

punkt „Umweltverträgliche Standortangepasste Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn (im Druck). 106 S.

WEIS, J.; T. MUCHOW & W. SCHUMACHER (2000): Akzeptanz von Programmen zur Honorierung ökologischer Leistungen der Landwirtschaft.- Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg (im Druck).

**Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Wolfgang Schumacher  
Abteilung Geobotanik und Naturschutz  
Institut für Landwirtschaftliche Botanik Universität Bonn  
z.Zt. Ministerium für Umwelt, Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Schwannstr. 3  
D-40478 Düsseldorf

# Auf dem Weg zu einem Biotopverbund

## Untersuchungen – Fakten – Probleme – Empfehlungen

Otto SIEBECK

### Gliederung

1. **Einleitung: Der Biotopverbund als letzte Chance**
2. **Die Naturschutzgebiete Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte und Seener Seen: Landschaften mit einer Vielfalt kleinräumiger Strukturen als Grundlage für eine außergewöhnliche Vielfalt an Pflanzen und Tieren**
3. **Die Gefährdung des Schutzziels „Förderung der Artenvielfalt“**
4. **Indizien für die Gefährdung von Arten in den NSG Seener Seen und Eggstätt-Hemhofer Seenplatte**
5. **Warum Biotopverbund zwischen den Naturschutzgebieten Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte und Seener Seen?**
6. **Die Fragestellungen**
7. **Bisherige Ergebnisse**
  - 7.1 Angaben zum Artenbestand
  - 7.2 Untersuchungen in Fließgewässern
  - 7.3 Ergebnisse der Untersuchungen an Standgewässern
  - 7.4 Bestandsaufnahme und Verteilung der Vogelarten
  - 7.5 Bestandsaufnahme der Fledermäuse
  - 7.6 Die Insekten und Spinnenfauna auf bewirtschafteten und nichtbewirtschafteten Flächen
8. **Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse**
9. **Probleme**
10. **Empfehlungen unter dem Aspekt von Nachhaltigkeit und Förderung der Artenvielfalt**
12. **Öffentlichkeitsarbeit**
13. **Schlussbetrachtung**
  - Dank
  - Literatur

### 1. Einleitung: Der Biotopverbund als letzte Chance

Alle bisherigen Schutzmaßnahmen durch Ausweisung von besonderen Schutzgebieten, vom Naturschutzgebiet angefangen bis zu den Nationalparks und Biosphären haben nicht verhindert, dass der Mensch drauf und dran ist, die phantastische Vielfalt an Pflanzen und Tieren, die sich zusammen mit ihm in vielen hundert Millionen Jahren entwickelt hat, zu zerstören.

Die Signale, die im Jahre 1992 von der Konferenz von Rio ausgegangen sind, könnten eine Wende einleiten, dieses inzwischen geradezu dramatische, wenn auch lautlose und unsichtbare Geschehen allmählich zu verzögern und vielleicht auf einem Niveau anzuhalten, welches auch den nachfolgenden Generationen noch die Möglichkeiten sichert, die zu einem Leben in einer lebensfreundlichen Umwelt unerlässlich sind.

10-20% der Erdoberfläche, in der alle Bioregionen vertreten sein müssen, werden vom *Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umwelt-*

*veränderungen (WBGU)* in seinem Jahresgutachten 1999 für den totalen Schutz gefordert, doch auch dies wird nicht reichen, wenn wir nicht lernen, auch mit den von uns genutzten Flächen wesentlich sorgfältiger umzugehen als dies bisher der Fall ist. „Nachhaltigkeit“ heißt die Devise: Was wir heute zum Leben nutzen, müssen morgen auch unsere Nachfahren nutzen können und darüber hinaus müssen ihnen die Möglichkeiten erhalten bleiben, die sich aus der Vielfalt von Bakterien, Pflanzen und Tieren mit den Fortschritten der Wissenschaft in Zukunft eröffnen.

„Global denken, lokal handeln“ hallt es von überall. In der Wirklichkeit ist davon aber immer noch wenig zu spüren: Nach einem Artikel in der Zeitschrift „Die Zeit“ (Nr. 9 vom 24. Februar 2000) mit dem Titel „Der betonierte Wahnsinn“ werden in Deutschland 40.000 ha pro Jahr versiegelt. Zwischen 1993 und 1997 hat die landwirtschaftliche Fläche um 1.8% abgenommen; zugenommen haben aber die Flächen für Gebäude und Freiflächen um 6.2%, die Verkehrsflächen um 2.8%, die Betriebsflächen um 3.6% und die Erholungsflächen um 2.9%. (Statistisches Bundesamt 1998). Dass sich eine solche „Wachstumskurve“ nicht unbeschränkt fortsetzen lässt, liegt auf der Hand. In einer Pressemitteilung des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen vom 10. Mai 2001 heißt es, dass in Bayern „Tag für Tag rund 29 Hektar, das sind rund 40 Fußballfelder, für Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch genommen“ werden. Der tägliche Flächenverbrauch liegt in Bayern bei 13%, der jährliche Zuwachs an Naturschutzgebieten inkl. Nationalparks liegt unter 3% (Bayerisches Landesamt für Naturschutz, Außenstelle Nordbayern, Kulmbach 2001).

Wer sich umschaute, wunderte sich nicht über diese Zahlen: Fast jede Gemeinde weitet sich aus, in den letzten Jahren immer rascher: Überall wird bester Grund und Boden versiegelt! (WEIGER 2000). Wie aus der oben zitierten Pressemitteilung hervorgeht, arbeitet das Bayerische Umweltministerium „derzeit gemeinsam mit der Obersten Baubehörde im Innenministerium und den kommunalen Spitzenverbänden an einem Kommunalen *Flächenressourcen-Management* für die über 2000 Gemeinden im Freistaat. Kernpunkt ist die „Wiedernutzung von alten Industrie- und Gewerbebrachflächen“ und die „Nachverdichtung von Siedlungen“. Das wäre eine Trendwende wie sie der Bayerische Umweltminister, Dr. Werner Schnappauf, am 10. Mai 2001 im Bayerischen Landtag gefordert hat.

Aber auch alle übrigen Flächen erfordern ein Management, in welchem die Einzelinteressen von Personen und Verbänden dem landesweiten Ziel: Erhaltung einer lebensfreundlichen Umwelt, untergeordnet werden müssen. Das Konzept hat der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen mit 3 Kategorien für die nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raumes vorgestellt: 1. „Naturschutz“: Schutz vor Nutzung, 2. „Mittlere Schutzerefordernis“: Schutz durch Nutzung und 3. Gruppe: „Wirtschaftliche Nutzung“: Schutz trotz Nutzung.

Dem Biotopkonzept fällt in dieser Strategie eine ganz besondere Rolle zu: Es verhindert die Isolation der schützenswerten Flächen und fördert damit ihre Funktionsfähigkeit, indem sie diese zu größeren Einheiten zusammenschließt. Grundlage ist die Biotopkartierung, die in Bayern bereits 1974 bis 1977 in großem Stil durchgeführt (Lehrstuhl für Landschaftsökologie Weihenstephan 1979) und in den Folgejahren, insbesondere von der ABSP-Gruppe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (BLfU), ergänzt bzw. ausgedehnt worden ist.

Bei dieser Biotopkartierung wird der Begriff „Biotop“ auf Lebensräume eingeeengt, die für den Naturschutz besonders wichtig und daher erhaltenswert sind (LfU 1997). Ihre Erhaltung ist ohne besondere Hege- und Pflegemaßnahmen aber meist nicht möglich und da diese jeweils auf bestimmte Arten abgestimmt ist, bleibt offen, ob nicht andere, funktionell wichtige, aber unauffällige Arten dadurch benachteiligt werden. In solchen Fällen würde die betreffende Lebensgemeinschaft früher oder später trotz aller Pflege zerstört („totgepflegt“) werden. Auf diese Problematik hat kürzlich auch der Präsident der Münchner Entomologischen Gesellschaft e.V. und ehemalige Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, Dr.-Ing. Dr. W. Ruckdeschel hingewiesen (Pressemitteilung v. 12.03.2001).

Die nachhaltige Funktionsfähigkeit eines Verbundes von Biotopen setzt voraus, dass in ihm ein möglichst großer Lebensraum mit ungestörten Entwicklungsmöglichkeiten enthalten ist, der demnach auch Lebensräume hinreichender Größe enthält, die nicht unter den erwähnten engen Biotopbegriff fallen. Insofern sind möglichst große Flächen der beste Garant für eine nachhaltige Entwicklung (PLACHTER 1985), weil diese die Robustheit (= Fehlerfreundlichkeit in Anlehnung an den von E.U. von Weizsäcker 1989 geprägten Begriff) der Lebensgemeinschaft stärken und ihr damit die Möglichkeit bieten, kurzfristige Belastungen zu kompensieren und sich auf der Ebene der Arten (die Art ist die eigentliche Einheit der Evolution, E. MAYR 1979) den langfristigen Umweltveränderungen anzupassen.

Im folgenden Beitrag geht es um die ersten Schritte auf dem Weg zu einem Biotopverbund, der im Laufe der Jahre dazu führen soll, zwei Naturschutzgebiete, mit uneingeschränktem Schutz über ein Landschafts-

mosaik miteinander zu verbinden, in welchem die genannten Schutz- und Nutzungsansprüche in abgestufter Intensität wirksam sind.

Grundlage sind die umfangreichen Daten, die im Rahmen des Arten- und Biotopschutzprogrammes seit Mitte der 70er Jahre (im Untersuchungsgebiet vor allem in den 90er Jahren) in Bayern erhoben worden sind. Hier wurden die Kartierungen von Pflanzen- und Tierarten auch erstmals durch eine Kartierung der schutzwürdigen Biotope ergänzt (HABER 1983).

Beide, das Arten- und das Biotopschutzprogramm, haben sich innerhalb weniger Jahre zu einem umfassenden Zielkonzept des Naturschutzes entwickelt (PLACHTER 1987).

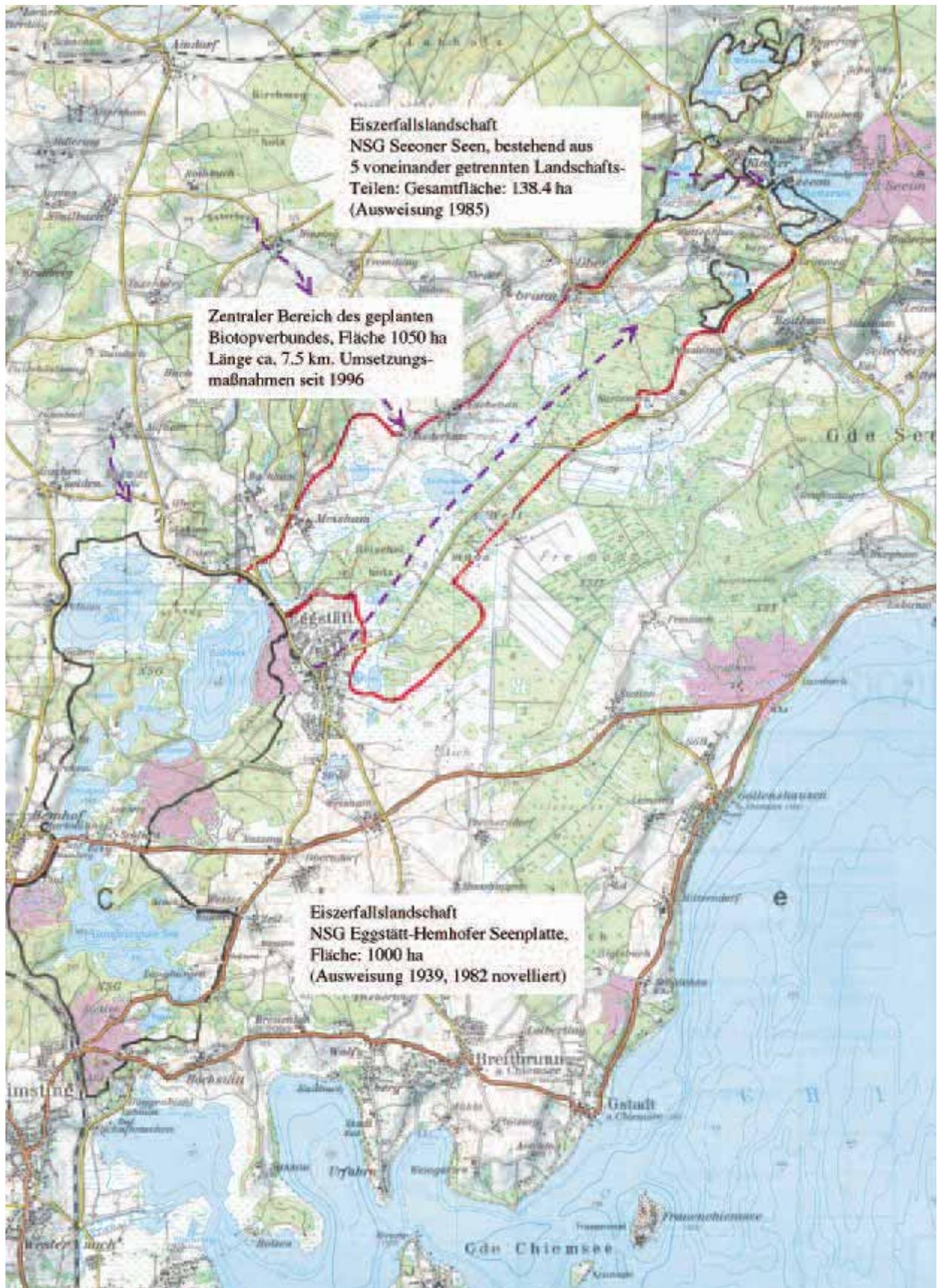
## **2. Die Naturschutzgebiete Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte und Seener Seen: Landschaften mit einer Vielfalt kleinräumiger Strukturen als Grundlage für eine außergewöhnliche Vielfalt an Pflanzen und Tieren**

Mit dem Rückzug der würmeiszeitlichen Vergletscherung vor ca. 10.000 Jahren entstand im Nahtgebiet der Eismassen des Inn-, Prien- und des Chiemseegletschers eine vielfältig modulierte, durch kleinräumige Reliefs gekennzeichnete Landschaft: Die Eiszerfallslandschaft des ehemaligen Rimsting-Seeoner-Tals. Sie erstreckt sich nördlich von Rimsting am Chiemsee in nordöstlicher Richtung bis in den Raum westlich von Altenmarkt a.d. Alz (TROLL 1924, 1925, 1936, GANSS 1953, FINSTERWALDER & FEHN 1957, HORMANN 1974).

Die für die Eiszerfallslandschaft typische Geländevielfalt, die von Moränen, Osern, Kames, Drumlins und den dazwischen liegenden Toteiskesseln mit oder ohne Wasserfüllung gebildet wird, ist an beiden Enden des „Rimsting-Seeoner Tals“ besonders markant: Im Südwesten durch die Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und im Nordosten durch das Gebiet um die Seener Seen (Abb. 1).

Leider sind es nur jeweils Teile dieser beiden Kernbereiche, die durch ihre Ausweisung als Naturschutzgebiete unter besonderem Schutz stehen: Das *Naturschutzgebiet Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* (KILIAN 1949) stellt immerhin ein einheitliches Gebiet von ca. 1000 ha mit 10 Seen und 10 Weihern, Tümpeln und Moorkolken dar. In seinem mittleren Abschnitt und in der Nähe der südlichen Begrenzung wird es jeweils durch eine von West nach Ost gerichtete Straße mit lebhaftem Autoverkehr durchquert. Das *Naturschutzgebiet Seener Seen* besteht aus 5 voneinander getrennten Landschaftsteilen. Seine Gesamtfläche beträgt nur 138,4 ha mit 6 Seen, 6 Weihern und 7 Quelltrichtern (westlich des Brunnsees) und einigen Moorkolken.

Trotz vieler Gemeinsamkeiten unterscheiden sich die Seen und Weiher sowohl innerhalb als auch zwischen



**Abbildung 1**

Das Kerngebiet des entstehenden Biotopverbundes zwischen den NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Seener Seen. NSG: schwarz; Grenze des Kerngebietes: rot; Wasserschutzgebiet mit Brunnen zur Trinkwassergewinnung: violett; Strömungsrichtung des Grundwassers: violett strichliert.

den beiden Naturschutzgebieten z.T. erheblich in ihren ökologischen Eigenschaften. Das trifft sogar für diejenigen Seen zu, die im *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* bzw. im *NSG Seeoner Seen* jeweils miteinander verbunden sind. Neben diesen in einer Kette aneinandergereihten Seen gibt es in beiden Naturschutzgebieten eine Anzahl kleinerer Seen und Weiher, die voneinander isoliert und vom Grundwasser entweder vollständig abgekoppelt sind oder nur noch geringfügig von ihm beeinflusst werden. Über die Vielgestaltigkeit der Ufer und ihre Vegetation informiert eine Spezialuntersuchung zu diesem Thema (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1987).

Insgesamt gibt es daher auf engstem Raum eine bemerkenswerte Gewässervielfalt. Diese Besonderheit war übrigens der Grund, im Jahre 1970 in Seeon eine *Limnologische Forschungsstation Seeon des Zoologischen Instituts der Ludwig-Maximilians-Universität München* zu gründen – die erste an einer Bayerischen Universität (SIEBECK 1989).

Wichtige Unterschiede zwischen den Seen ergeben sich bereits aus den Folgen der verschiedenen Seetiefen (Tab. 1). So bilden nur die Seen mit Tiefen > 8 m eine über die Sommermonate andauernde Temperaturschichtung mit klarer Trennung zwischen Epi- und Hypolimnion aus. Im Frühjahr und Herbst findet im Verlauf des vertikalen Temperatúrausgleichs jeweils eine völlige Durchmischung (dimiktische Seen: Gries-, Brunn-, Seeleiten-, Klostersee bzw. Pelhamer-, Hart-, Kessel-, Schlos- und Langbürgenersee) statt.

Der Bansee, der in einer der 5 „Naturschutzinseln“ des *NSG Seeoner Seen* liegt und der Thalersee im *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* zeichnen sich in Schlechtwetterperioden mit hohen Niederschlagsmengen zumindest zeitweise durch einen relativ raschen Wasseraustausch (< 1 Monat) aus. Unter diesen Bedingungen kann es auch im Sommer zur Vollzirkulation kommen. Ähnlich verhielt sich in den 50er

Jahren der Brunnsee, dessen Wasseraustauschzeit nach dem starken Rückgang der Grundwasserzuflüsse etwa ab der 70er Jahre inzwischen zumindest zeitweise auf > 5 Monate angestiegen ist (Ergebnisse von Kursuntersuchungen, unpubl.).

Die jeweils den Anfang der beiden Seenketten markierenden Seen (Thalersee im *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* und Brunnsee im *NSG Seeoner Seen*) erhalten durch Oberflächen- und Grundwasserzufluss (Thalersee) oder nur durch Grundwasserzufluss (Brunnsee) bikarbonatreiches Wasser, dessen Konzentration im weiteren Verlauf vor allem durch biogene Entkalkung herabgesetzt wird. Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit nehmen daher in der Reihe: Thalersee – Langbürgenersee – Schloßsee – Kautsee – Hartsee, bzw. Brunnsee – Seeleitensee – Mittersee – Jägersee – Klostersee fortlaufend ab.

In den von diesem Durchfluss-System bzw. vom Grundwasserstrom weitgehend ausgeschlossenen Seen ist die Konzentration des gelösten Kalks mehr oder weniger niedrig. Extrem niedrig ist sie in den rein dystrophen Seen: im Blassee und in den Lemberger Gumpen bzw. im Moor-, Thienemann- und Naumannweiher (Tab. 2).

Im Gegensatz zu den miteinander verbundenen Seen im Seeoner Naturschutzgebiet, die mit Ausnahme des Griessees (geringer eigener Grundwasserzufluss) überwiegend vom Grundwasserzufluss über den Brunnsee versorgt werden, erhalten die miteinander verbundenen Seen im Eggstätt-Hemhofer Naturschutzgebiet zusätzlich noch Oberflächenzuflüsse. So mündet der Hemhofer Bach in den am Anfang der Seenkette liegenden Thalersee. Der Pelhamersee wird über den Gachensoldenerbach und über zwei von Südwesten einmündende Gräben reichlich mit Oberflächenwasser versorgt.

Die Grundwasserzuflüsse erfolgen beim Brunnsee und beim Thalersee durch 7 bzw. 3 Quelltümpel jenseits des Westufers und durch unterseeische Quellen,

	Fläche (km <sup>2</sup> )	Volumen (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Maximale Tiefe (m)	Mittlere Tiefe (m)
Thalersee	0.0379	0.166	7.0	4.4
Langbürgenersee	1.0350	9.4576	37.3	9.1
Schlosssee	0.2679	2.4233	24.1	9.0
Kesselsee	0.0275	0.1583	11.4	5.8
Kautsee	0.1649	0.5349	6.0	3.2
Hartsee	0.8646	15.2297	39.1	17.6
Pelhamersee	0.7141	6.7573	21.2	9.5
Einbessee	0.0568	0.2945	8.6	5.2
Blassee	0.0343	0.1161	5.3	3.4
Stettnersee	0.0418	0.2130	6.1	5.1
Griessee	0.0924	0.4005	10.7	4.3
Brunnsee	0.0588	0.502	18.6	8.5
Seeleitensee	0.0840	0.5342	14.3	6.4
Mittersee	0.0091	0.0365	8.0	4.0
Jägersee	0.0207	0.0747	7.2	3.6
Klostersee	0.4699	2.7620	16.0	5.8
Bansee	0.0331	0.0799	4.1	2.4

**Tabelle 1**  
**Hydrografische Kennzeichen der Eggstätt-Hemhofer und der Seeoner Seen**  
 (SIEBECK 1991)

die sich im Bereich der Halde am Westufer befinden. Unterseeische Quellen gibt es auch im Langbürgenersee (von Tauchern nachgewiesen) und im Seeleitensee (diese sind aufgrund der Grundwasserhöhen gleichen zu erwarten). Seewasserverluste an das Grundwasser erfolgen zumindest im Langbürgenersee in Richtung Stettnersee und im Klostersee in Richtung Alz, deren Sohle hoch über dem dortigen Grundwasserspiegel liegt (WROBEL 1983, 1989).

Die Vielfalt der hydrologischen Eigenschaften ist an Unterschieden in den chemischen Verhältnissen beteiligt. So entsteht mit Ausnahme im Brunensee in allen Seen und Weihern im Laufe der Sommermonate, aber auch unter der Eisdecke im Winter, eine mehr oder weniger weit vom Seegrund nach oben ausgehende anoxische Tiefenzone, in die nur während der Phasen der Vollzirkulation Sauerstoffnachschub erfolgt (SIEBECK 1991). Ursache des Sauerstoffverbrauchs in der Tiefe ist das nicht in die Nahrungskette eingeschleuste Phytoplankton, welches unter Sauerstoffverbrauch dem bakteriellen Abbau anheimfällt. Hinzu kommt der im Herbst verstärkt stattfindende Import von abgestorbener Ufervegetation und Laub. In den dystrophen Seen kommt die Sauerstoffzehrung vor allem durch die aus den umliegenden

den Mooren stammenden organischen Substanzen (Huminstoffe) zustande.

Die Vielfalt der hier nur angedeuteten morphometrischen und hydrologischen Unterschiede und ihrer unmittelbaren Folgen für die Temperaturverhältnisse, Wasseraustauschzeiten und für das chemische Milieu sind von erheblicher Bedeutung für die Zusammensetzung der Bakterien-, Protozoen-, und Algenesellschaften, die ihrerseits in die chemischen Prozesse eingreifen. Abgesehen von Einzelbeobachtungen, z.B. über die auffälligen Massenentwicklungen von Purpurbakterien (z.B. von *Thiopedia rosea*, in den tieferen Schichten z.B. des Griessees, GESSNER 1953) ist über die Zusammensetzung der Bakterien- und Protozoengesellschaften in den Seen bisher nichts bekannt.

Über das Phyto- und das Zooplankton im Lebensraum der Freiwasserzone (Pelagial) gibt es jedoch mehrere Untersuchungen, von welchen aber keine einzige primär zur Erfassung des Artenbestandes angesetzt worden war. Die vorliegenden Daten sind daher unvollständig. Dennoch ergibt sich aus ihnen schon jetzt eine bemerkenswerte Vielfalt.

An Land sind es im Gegensatz zum Pelagial die groß- und kleinräumigen Strukturen, welche die Vor-

**Tabelle 2**

**Elektrische Leitfähigkeit**  
(SIEBECK 1991)

\*) die im Vergleich zum Kautsee etwas höhere Leitfähigkeit ist vor allem auf den Pelhamersee zurückzuführen, der ebenfalls in den Hartsee mündet  
\*\*) der Zufluss zum Brunensee ist – von Hochwasserperioden abgesehen, vernachlässigbar gering

Gewässername Eggstätt-Hemhofer Seen	Elektrische Leitfähigkeit ( $\chi$ 25 °C $\mu$ S/cm)	Gewässername Seeoner Seen	Elektrische Leitfähigkeit ( $\chi$ 25 °C $\mu$ S/cm)
Thalersee	540	Griessee **	180
Langbürgenersee	260	Brunensee	510
Schlossee	380	Seeleitensee	490
Kesselsee	210	Mittersee	480
Kautsee	300	Jägersee	470
Hartsee*	360*	Klostersee	250
Pelhamersee	410	Moorweiher	16
Einbessee	16	Thienmanweiher	14
Blassee	15	Naumannweiher	15
Stettnersee	170		
Lemberger Gumpen	19		

**Tabelle 3**

**Phytoplankton: Zahl der Taxa** (SIEBECK et al. 1990, ergänzt durch unpubl. Kursunterlagen)

Taxa	Pel	Har	Lbg	Sch	Kes	Tha	Kau	Bla	Ein	Bru	Kls	SI*
Cyanob.	16	17	19	18	18	13	21	6	9	4	17	10
Bacillar.	10	13	9	6	6	12	8	6	5	14	10	9
Chrysoph.	10	14	20	13	13	13	26	4	1	24	18	4
Dinophyc.	5	9	8	7	8	11	9	9	11	11	9	5
Cryptophyc.	3	5	4	6	4	6	5	4	4	5	6	7
Chlorophyc.	28	26	21	19	15	30	20	19	9	25	27	12
Euglenophyc.	9	7	3	4	6	2	2	6	2	-	-	1
Chloromonad.	1	0	0	2	4	4	1	4	2	-	-	0
Summe	82	91	84	75	74	91	93	58	43	83	87	48

**Abkürzungen:** Pel Pelhamersee, Har Hartsee, Lbg Langbürgenersee, Sch Schlossee, Kes Kesselsee, Tha Thalersee, Kau Kautsee, Bla Blassee, Ein Einbessee, Bru Brunensee, Kls Klostersee, SI Seeleitensee\*: bisher nur 2 Untersuchungen im Sommer 1998 alle übrigen Seen mindestens 3 Sommer: 1987, 1988, 1989.

**Cyanobacteriaceae:** Blaualgen, **Bacillariophyceae:** Kieselalgen, **Chrysophyceae:** Goldalgen, **Dinophyceae:** Dinoflagellaten, **Cryptophyceae:** Schlundflagellaten, **Chlorophyceae:** Grünalgen, **Euglenophyceae:** Augenflagellaten, **Chloromonadophyceae:** Chloromonaden

**Tabelle 4****Metazooplankton: Zahl der Taxa (Cladoceren, Copopoden, Rotatorien)**

\*) GESSNER 1953, \*\*) SIEBECK et al. 1990,

°) TRÖGER 1994 ergänzt durch Kursergebnisse unpubl.

Gewässer	Zahl der Taxa
Griessee	23*
Brunnsee	32**
Seeleitensee	28
Jägersee	27*
Mittersee	27*
Bansee	15
Klostersee	29**
Pelhamersee	
Hartsee	
Langbürgenersee	22°
Schlosssee	
Kesselsee	
Thalersee	29**
Kautsee	
Blassee	
Einbessee	

aussetzungen für die Vielfalt von Pflanzen- und Tierarten schaffen. Der Wechsel von mineralischen Kuppen und Mulden bewirkt beispielsweise Unterschiede in der Sonnenexposition, wodurch die Voraussetzung für das Entstehen verschiedener Mikroklimata erfüllt ist, die ihrerseits die Zusammensetzung der Vegetation beeinflussen können.

Von großer Bedeutung ist die Wasserverfügbarkeit, die mit günstigen Bedingungen, z. B. am Rande der Gewässer beginnt und im Bereich der Hügel und Kuppen mit zunehmendem Höhenabstand vom Grundwasser immer knapper wird. Auch bezüglich der Nährstoffverfügbarkeit gibt es zwei Grenzfälle mit gleitendem Übergang: Günstige Bedingungen liegen im engen Kontakt mit dem Mineralboden vor und ungünstige, wenn dieser Kontakt durch das Wachstum von Torfmoosen unterbrochen ist. Für diese Grenzfälle und die zwischen ihnen liegenden Bedingungen gibt es Pflanzenarten bzw. Pflanzengesellschaften mit entsprechender Präferenz. Und mit der Mannigfaltigkeit der Vegetation wächst auch die Vielfalt der Nischen für die Fauna.

In beiden Naturschutzgebieten sind die Verlandungsgebiete und die Moore neben den zwischen ihnen liegenden Hügeln das beherrschende Landschaftselement. Nach KAULE (1973) zählen die Moore im Raum des *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* zu den interessantesten Süddeutschlands. Mit seinen Erlenbruchwäldern, Großseggenrieden, Schneidebinsensümpfen, Kalkflachmooren, Übergangs- und Hochmooren (PAUL & LUTZ 1941, HÖFLER et al. 1957, RINGLER 1972, KAULE 1973, KAULE & PFADENHAUER 1973, SCHMEIDL 1983) ist die beste

hende Vielfalt eindrucksvoll belegt. Das trifft mit Einschränkungen auch für das wesentlich kleinere *NSG Seener Seen* zu.

Zu den kennzeichnenden Teilen der Mooregebiete im *NSG Eggstätt Hemhofer Seenplatte* zählen nach SCHMEIDL (1983) die Niedermoore am West- und Ostufer des Pelhamersees und am West- und Südufer des Hartsees, die Übergangsmoore am Ostufer des Pelhamersees, am Einbessee und am Schernweiher sowie am West- und Südufer des Hartsees und die Hochmoorbildungen am Blassee, am Südufer des Thalersees und bei den Lemberger Gumpen. Am Kesselsee fallen die ausgedehnten Schneidebinsensümpfe auf, die bis zum Ufer des Schloßsees reichen und das Kalkflachmoor am Südufer des Thalersees.

Im *NSG Seener Seen* gibt es Niedermoore um den Seeleiten- und Jägersee, sowie östlich des Klostersees und südöstlich des Brunnsees. Nördlich des Griessees ist rings um den Moorweiher ein sehr schönes Hoch- und Übergangsmoor mit „Schwingrasen“ entstanden. Um den Naumannweiher südlich des Griessees liegt ein Übergangsmoor, dessen schmaler Niedermoorsaum mit Schilf bewachsen ist. Zur Demonstration der Pflanzenvielfalt sei für dieses Areal das Ergebnis einer im Rahmen einer Kursveranstaltung durchgeführten Kartierung genannt: Innerhalb der ca. 250 m<sup>2</sup> großen Fläche wurden insgesamt 103 Pflanzen-, Baum- und Straucharten nachgewiesen!

Aus den seit den 70er, insbesondere aber in den 90er Jahren wiederholt durchgeführten Bestandsaufnahmen zur Flora und Fauna in den beiden Naturschutzgebieten, vor allem durch die ABSP-Gruppe des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) liegen umfangreiche Artenlisten vor, u. a. mit über 80 Insektenarten und über 200 Arten von Blütenpflanzen. Durch weitere Untersuchungen werden sich die Zahlen noch erhöhen. Das Artenspektrum im Kerngebiet des Biotopverbundes steht diesen Ergebnissen aber nicht nach (vgl. 7.1.).

### 3. Die Gefährdung des Schutzziels „Förderung der Artenvielfalt“

Nach heutigem Kenntnisstand sind beide Naturschutzgebiete für fast alle Wirbeltiere, aber auch für viele Wirbellose aufgrund ihres Aktionsradius zu klein und die Distanz zu ähnlichen Biotopen zu groß. Das gilt insbesondere für das *NSG Seener Seen*. Abgesehen davon sind sie nicht frei von anthropogenen Störungen verschiedener Art.

Da jenseits der Naturschutzgebietsgrenzen auch landwirtschaftlich intensive Nutzungen erfolgen, sind Nährstoffimporte über den Wind bis in die zentralen Bereiche möglich. Dichte Bestände von Brennnessel, Holunder und Brombeere wachsen nicht nur an ihrem äußeren Rand, sondern auch in Waldlichtungen und an Wegrändern innerhalb der Naturschutzgebiete. Sie sind ein deutliches Indiz für das reichli-

che Vorhandensein pflanzenverfügbarer Stickstoffverbindungen, z. T. bis in die Nähe von Hochmooren.

Reichliche Nährstoffimporte kommen aber auch durch die Zuflüsse zustande: Im *NSG Seener Seen* vor allem über den Grundwasserzulauf in den Brunnsee, welcher durch den Mangel an Phosphat bei hohen Nitratwerten (SIEBECK et al. 1990) erfreulicherweise wenig wirksam ist; im *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* vor allem über den Oberflächenzufluss in den Thalersee (Hemhofer Bach) aber auch durch das Grundwasser. Am Pelhamersee erfolgt der Hauptimport an Nährstoffen über drei Zuflüsse und am Schloßsee sind die im Frühjahr entstehenden und oft bis zum Herbst bleibenden dichten Algenwatten am Westufer des südlichen Seeabschnittes ein besonders auffälliges Indiz für erhebliche diffuse Nährstoffimporte aus den landwirtschaftlich genutzten Hanglagen.

Der in früheren Jahren beträchtliche Schäden an der Ufervegetation verursachende Bade- und Bootsbetrieb wurde in den letzten Jahren sukzessive zurückgedrängt. Eingeschränkt wurde auch die Angelfischerei und mit ihr der Besatz von Fischarten, die allein für dieses Hobby von Interesse sind. Das ist sehr wichtig, denn es liegt auf der Hand, dass die anhaltende

Bevorzugung einiger weniger Fischarten der angestrebten Förderung der Artenvielfalt in Naturschutzgebieten entgegenwirkt.

Die in verschiedenen Teilgebieten des *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* vorhandenen Fichtenmonokulturen, wie z.B. nordöstlich des Kesselsees, fördern ebenfalls Artenarmut und bewirken daher genau das Gegenteil gegenüber den dringend notwendigen Bestrebungen, Arten-Vielfalt zu fördern.

Im wichtigsten Teilgebiet des *NSG Seener Seen*, dem Bereich von Brunn- und Griessee und dem Bereich Seeleitensee waren die Wälder von der Inschutzstellung im Jahre 1985 bedauerlicherweise ausgenommen worden (Abb. 2). Solange sie ihre gegenwärtige Pufferwirkung gegenüber den Wirtschaftswiesen des Umfeldes bewahren, erfüllen sie immerhin eine gewisse Schutzfunktion. Die nach der Inschutzstellung weiter zugelassene Düngung der Wiesen beiderseits des Brunnsees wurde in den vergangenen Jahren aber erfreulicherweise sukzessiv zurückgenommen. Insgesamt ist seit der Ausweisung des *NSG Seener Seen* im Jahre 1985 an vielen Orten eine auffällige Erholung der Vegetation zu beobachten.



**Abbildung 2**

**Luftaufnahme des NSG Seener Seen:** Die größte der 5 „NSG-Inseln“ (56,6 ha) mit Griessee (G), Brunnsee (B), Naumannweiher (N), Thienmannweiher (T), Moorweiher (M). Die weiße Linie markiert die Grenzen des unter Naturschutz stehenden Gebietes. Die Wiesenfläche mit den hellen Doppelstreifen (= Parkflächen) in der Einbuchtung der NSG-Grenze nordwestlich des Griessees bis zu dessen Ufer mit Zugängen zum See gehört zu einem privaten Badegelände.

#### 4. Indizien für die Gefährdung von Arten in den NSG Seener Seen und Eggstätt-Hemhofer Seenplatte

Es gibt in den beiden Naturschutzgebieten keine systematisch geplanten Untersuchungen zur Frage des Rückgangs der Artenzahlen, wie man sie z.B. durch die Festlegung von Kontrollflächen und quantitativen Erhebungen hätte durchführen können. In der „Pionierphase“ der Limnologischen Forschungsstation Seener Seen zwischen 1970-1985 (SIEBECK 1989) war die globale Problematik des Artenrückgangs in ihrer vollen Tragweite noch nicht bekannt und als sie bekannt war, konnten neben den laufenden Forschungsaufgaben keine weiteren begonnen werden.

Die besonders intensiven Arten- und Biotopkartierungen durch die ABSP-Gruppe des LfU bzw. PAN-Partnerschaft begannen in den 90er Jahren. Erst gegenwärtig wären auf der Basis dieser z.T. über 10 Jahre zurückliegenden Artenkartierungen in definierten Biotopen Untersuchungen zum Vergleich mit früheren Ergebnissen möglich. Die hierzu erforderlichen Voraussetzungen wurden von der ABSP-Gruppe im Jahre 1997 durch die Auswahl von mehreren Dauerbeobachtungsstellen festgelegt. Es gibt aber zahlreiche Einzelbeobachtungen, aus welchen hervorgeht, dass viele der früher vorhandenen Pflanzen- und Tierarten entweder überhaupt nicht mehr oder nur in seltenen Fällen anzutreffen sind.

Dafür einige Beispiele zur Fauna des Gebietes: Auf Exkursionen (Leitung: Prof. Dr. Fritz Gessner und Dr. Rudolf Zahner 1956, 1958) im Gebiet um die Seener Seen waren unter den Wirbeltieren im Frühjahr während der Laichzeit Grasfrösche (*Rana temporaria*) in erheblicher Anzahl an und in den damals zahlreicher als heute vorhandenen Tümpeln anzutreffen. Über den ganzen Sommer hinweg waren dort und in den Wassergräben auch Wasserfrösche (*Rana „esculenta“*) reichlich vorhanden. In den nach ergiebigen Regenfällen entstandenen Pfützen auf dem Wanderweg westlich des Brunensees waren im Sommer häufig Gelbbauchunken (*Bombina variegata*) anzutreffen und in der Nähe von und auf den Hochmooren, sowie an benachbarten Waldrändern die Bergeidechse (*Lacerta vivipara*).

In der Nähe des Brunenseeabflusses und im Anfangsabschnitt des Schwellgrabens nach dem Banseeabfluss befanden sich jeweils große Ansammlungen von Teichmuscheln (*Anodonta cygnea*). Beim Käschern im Uferbereich des Brunensees waren im Sommer 1958 in zwei Fällen ein Steinbeißer (*Cobitis taenia*) im Fang und unter den Netzfängen in Torfstichtümpeln und am Ufer des Griessees waren meist eine oder mehrere Wasserspinnen (*Argyronauta aquatica*), Wasserskorpione (*Nepa cinerea*) und Stabwanzen (*Ranatra linearis*) enthalten. Heutzutage trifft man alle diese Arten, wenn überhaupt, so nur noch selten an, obgleich die Seener Seen und ihr nahes Umfeld seit 1985 durch die Ausweisung als Natur-

schutzgebiet unter besonderem Schutz stehen! Vom NSG Eggstätt-Hemhofer Seen liegt mir nur eine gesicherte Beobachtung aus dem Frühjahr 1958 vor: Laubfrösche (*Hyla arborea*) in dem Erlenbruchwäldchen am Einbessee! Heutzutage sucht man diese Art vergeblich.

#### 5. Warum Biotopverbund zwischen den Naturschutzgebieten Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte und Seener Seen?

Die in der Präambel von Naturschutzgebietsverordnungen genannten Schutzzwecke richten sich aus nahe liegenden Gründen nach den lokalen Besonderheiten. So heißt es im Bayerischen Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 13 (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen 1982) in „§ 3 Schutzzweck“ der „Verordnung über das Naturschutzgebiet „Eggstätt-Hemhofer Seenplatte“ vom 18. Mai 1982: „Zweck der Festlegung des Naturschutzgebietes ist es, 1. das für das voralpine Hügel- und Moorland seltene Gefüge einer Eiszerfallslandschaft mit zahlreichen Toteiskesseln, Rücken, Seen und Mooren zu erhalten, die dazu gehörigen Lebensgemeinschaften, wie Verlandungszonen, Nieder-, Übergangs- und Hochmoorgesellschaften, Bruchwälder, buchen- und tannenreiche Mischwälder zu schützen, 2. das Vorkommen seltener Tierarten, insbesondere von Sumpf- und Wasservögeln, und seltener Pflanzenarten und Pflanzengesellschaften zu sichern, 3. die Standort- und Lebensbedingungen, die zur Existenz dieser Pflanzengesellschaften, Tier- und Pflanzenarten notwendig sind, zu erhalten, insbesondere sie vor schädlicher Erholungsnutzung und gesteigerter Beeinflussung durch Bewirtschaftung zu bewahren“. Diese „Schutzzwecke“ lassen sich im Prinzip zwanglos mit dem globalen Ziel „Erhaltung der biologischen Vielfalt“ in Teil II, Kapitel 15 der Agenda 21 von der Konferenz in Rio de Janeiro vom Jahre 1992 vereinbaren. Bedauerlicherweise sind die hierzu erforderlichen Voraussetzungen weder im NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte noch im NSG Seener Seen erfüllt.

Abgesehen von den noch bestehenden Belastungen, welchen man in Zukunft noch mehr als bisher entgegenwirken kann, besteht kein Zweifel, dass beide Naturschutzgebiete viel zu klein sind, um den Artenrückgang zu bremsen, geschweige denn den Artenbestand zu sichern, der zu Beginn der Unterschutzstellung vorhanden gewesen war. Immerhin findet man innerhalb der Naturschutzgebiete im Vergleich zu den bewirtschafteten Flächen außerhalb ihrer Grenzen wesentlich mehr Arten, woraus sich ergibt, dass es mit der Unterschutzstellung gelungen ist, deren Lebensbedingungen in erheblichem Umfang zu erhalten. Es lässt sich aber nicht mit Gewissheit sagen, ob die gefährdeten Arten in den Naturschutzgebieten angetroffen werden, weil ihr Bestand gesichert ist oder ob sie dort nur langsamer ausgerottet werden als außerhalb.

Der sich aus der geringen Größe der Naturschutzgebiete in isolierter Lage für sehr viele Arten ergebende Nachteil durch eingeschränkte, im Grenzfall sogar verhinderte Austauschmöglichkeit zwischen verschiedenen Populationen ein und derselben Art ist gegenwärtig weitgehend wirksam. Verminderte genetische Variation im Genpool der isolierten Population ist in diesem Fall unvermeidbar. In einer sich ändernden Umwelt führt diese Situation unverhältnismäßig schneller zur Elimination der betreffenden Arten als neue Arten entstehen. Das Ergebnis ist eindeutig: Fortschreitende Reduktion der Biodiversität des Ökosystems. Dieser Entwicklung muss entgegengewirkt werden, mehr durch umfassenden Schutz vor anthropogenen Störungen in weitestem Sinne als durch Hege und Pflege einer begrenzten Zahl seltener Arten.

Aus zahlreichen Exkursionen zwischen 1980-1990 in die Landschaft zwischen den beiden Naturschutzgebieten, aus den Ergebnissen der Artenschutzkartierungen der ABSP-Gruppe des LfU und aus 4 Diplomarbeiten (BERND 1992, v. HOFER 1992, MRZLJAK 1992, SCHMITT 1992) ist bekannt, dass es neben den extensiv bzw. intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen noch zahlreiche Areale gibt, die in ihren ökologischen Eigenschaften jenen innerhalb der Naturschutzgebiete ähnlich sind. Das trifft ganz besonders für die Feuchtgebiete (Niedermoore, Übergangsmoore, Hochmoore, Streuwiesen) zu, in welchen sich eine bemerkenswerte Vielfalt an Pflanzen und Tieren erhalten hat. In den Bereichen, in welchen in den ersten Jahren nach dem 2. Weltkrieg zur Gewinnung von Heizmaterial das Torfstechen wieder belebt worden ist, sind viele Torftümpel entstanden, die sich nun in den verschiedensten Stadien der Verlandung befinden. Durch sie hat die kleinräumige Struktur eine zusätzliche Bereicherung erfahren (Abb. 3). Grundsätzlich ist festzustellen, dass in beiden Naturschutzgebieten und in dem dazwischen für den Biotopverbund ausersehenen Gebiet der besonders schutzwürdige Lebensraumtyp „Feuchtgebiet“ (HABER 1993) dominiert, der in unserem Land fast schon Seltenheitswert besitzt.

Aufgrund der „ökologischen Verwandtschaft“ der Biotope außerhalb und innerhalb der Naturschutzgebiete wäre es gut begründbar, erstere in das Naturschutzgebiet einzubeziehen. Es besteht aber kein Zweifel, dass diese Lösung mit der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung der Landwirtschaft innerhalb des Biotopverbundareals nicht ohne weiteres vereinbar ist.

Eine im Hinblick auf den Flächengewinn bescheidener, im Hinblick auf die zu wünschende stärkere Beteiligung der Landwirte zur Bewahrung einer möglichst großen Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten aber sogar bessere Lösung besteht darin, die beiden Naturschutzgebiete über einen Biotopverbund zu verknüpfen. Die wichtigsten damit verbundenen Forderungen sind erfüllbar. Es sind dies (KLEIN et al.

1997): Die „Erhaltung und Regeneration großräumiger Biotopkomplexe in Natur- und Kulturlandschaften. Dazu gehören: die Bewahrung verbliebener Restbestände natürlicher, naturnaher und halbnatürlicher Lebensräume, die flächenmäßige Konsolidierung und Vergrößerung schutzwürdiger Bereiche sowie die Schaffung geeigneter Pufferzonen, die Gestaltung und/oder Wiedereinführung fließender Übergänge und Verzahnungen zwischen den einzelnen Lebensraumtypen, der Erhalt bzw. die Wiederherstellung vor allem regionaler und überregionaler Verbundachsen“. Das zuletzt genannte Ziel ist Voraussetzung für den von Ministerpräsident Dr. E. Stoiber in seiner Regierungserklärung vom 19. Juli 1995 angekündigten „landesweiten Biotopverbund“.

Nachdem der Vorschlag, die Naturschutzgebiete Eggstätt-Hemhofer-Seengebiet und Seener Seen über einen Biotopverbund zu verbinden, auf den Weg gebracht war (Tab. 6) entwickelte sich eine wirkungsvolle Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Behörden des Landesamts für Umweltschutz (ABSP-Gruppe des LfU), der Oberen Naturschutzbehörde der Regierung von Oberbayern und den Unteren Naturschutzbehörden der Landratsämter Rosenheim und Traunstein. Die Planung, Organisation und Kontrolle der Umsetzungsmaßnahmen, über die in regelmäßigen Abständen Berichte angefertigt werden (z.B. DAHLHOF & SCHNIEPP 1998 und RADLMAIR 2000) obliegt den Unteren Naturschutzbehörden der beiden Landratsämter, die zu diesem Zweck eine befristete Stelle geschaffen und anfänglich mit zwei Projektleiterinnen, später mit einem Projektleiter (s. Tab. 6) besetzt haben. Das Gesamtprojekt wird durch den *Bayerischen Naturschutzfonds e.V.* unterstützt.

Die Umsetzungsmaßnahmen werden von ortsansässigen Landwirten durchgeführt, die im Rahmen des Bayerischen Kulturlandschaftsprogrammes (KULAP) bzw. des Vertragsnaturschutzprogrammes (VNP) und im Rahmen des Erschwernisausgleichs (EAF) gefördert werden (Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 1991). Darüber hinaus finden durch den *Wasser- und Bodenverband Ischler Achen* (Sprecher: Augustin Pfaffenberger, Fachwirt für Naturschutz und Landschaftspflege) seit 1993 Gewässerpflegemaßnahmen (Uferbepflanzungen u.a.) statt.

Unabhängig von dieser Organisationsstruktur, aber in engstem Kontakt mit allen zuständigen Personen der genannten Behörden arbeitet die *ARGE Biotopverbund der Gesellschaft der Freunde und Förderer der Limnologischen Forschungsstation Seon e.V.* an „wissenschaftlichen Begleituntersuchungen“ mit dem Ziel, ausgehend von den Ergebnissen des Arten- und Biotopschutzprogrammes, bestehende Lücken (insbesondere Artenbestandsaufnahmen im aquatischen Bereich) zu füllen, Belastungsherde aufzuspüren und Vorschläge für spezielle Umsetzungsmaßnahmen auszuarbeiten. Zwischen den Jahren 1998-2002 wurden 14 kleinere und größere Untersuchungen (Tab. 5) mit



**Abbildung 3**

Zur **Vielfalt der Kleingewässer im Biotopverbundareal** zählen die zahlreich vorhandenen dystrophen Tümpel, die durch das manuelle Torfstechen in den ersten Jahren nach dem 2. Weltkrieg entstanden sind. Sie befinden sich in verschiedenen Stadien der Verlandung, die u. a. durch das Hineinwachsen der umgebenden Torfmoose (Sphagnaceen) eingeleitet wird.

Unterstützung durch die *Andreas-Stihl-Stiftung*, Waiblingen, durchgeführt.

Der angestrebte Biotopverbund zwischen den Naturschutzgebieten Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Seener Seen ist einer von vielen. Im „landesweiten Biotopverbund“ sollen in Kürze nach den Worten des Bayerischen Staatsministers für Landesentwicklung und Umweltfragen Dr. Werner Schnappauf über 300 Biotopverbünde ausgewiesen sein.

Die Umsetzungsmaßnahmen basieren im wesentlichen auf den Ergebnissen des Arten- und Biotop-schutzprogramms des Bayerischen Landesamts für

Umweltschutz. In Abb. 4 ist das Raster der Flurkarten für Bayern abgebildet. Nördlich des Chiemsees befindet sich unter Nr. 8040 der rot umrandete Bereich, der den geplanten Biotopverbund zwischen den Naturschutzgebieten Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Seener Seen enthält. Dieser ist in den beiden darunter befindlichen Teilbildern vergrößert dargestellt, um die durch Zahlen gekennzeichneten Positionen der Biotope zu zeigen, in welchen die Kartierung der Pflanzen- und Tierarten bzw. eine Beschreibung nach „wertbestimmenden Merkmalen“ durchgeführt worden ist.

**Tabelle 5**

**Wissenschaftliche Begleituntersuchungen – Projekte**

<b>Name</b>	<b>Projektbezeichnung</b>	<b>Jahr</b>
Prof. Dr. Otto Siebeck Bad Endorf	Ausarbeitung des Konzepts, Planung, Gewässeruntersuchungen	1997 - 2003
Prof. Dr. Josef Reichholf Zoologische Staatssammlung München	Bestandsaufnahme der Vogelarten	Sommer 1998
Dipl. Biol. Manfred Colling Dipl. Biol. Guido Haas u. Dr. Gabriele Hofmann, München und Frankfurt	Bestandsaufnahme der Fließgewässerfauna	Frühjahr 1998
Georg Bierwirt Markt / Inn	Bestandsaufnahme von Insekten auf ausgewählten Arealen	Sommer 1998
Dipl. Biol. Claudia Raer-Jost, Dr. Berthold Kappus. Institut für Zoologie, Universität Hohenheim	Kartierung und Indikation nach dem Saprobien-system in der Ischler Achen	Sommer 1998
ARGE Limnologie - Innsbruck	Phyto- und Metazooplankton im Seen vergleich inkl. Phytoplanktonbiomasse	Sommer 2000
Dr. Christiane Mayr - Samerberg	Kartierungen der Ufervegetation an der Ischler Achen	Sommer 2000
Dipl. Biol. Manfred Colling Dipl. Biol. Guido Haas München und Frankfurt	Fließgewässerfauna Verteilung und Bewertung	Frühjahr 2000
Chemisches Untersuchungslaboratorium Dr.L. Blasy & Dr. T. Busse, Eching	Analyse chemischer Proben aus Fließgewässern	Sommer 2001
Dipl. Biol. Brigitte Henatsch Traunstein	Vergleichende Bestandsdichte von Vögeln auf verschiedenen Arealen	Sommer 2001
Dipl. Biol. Ines Hehl - Neuötting	Fledermäuse im Untersuchungsgebiet	Herbst 2001
Fa. Terraplan – 3 D, - München	Luftaufnahmen	Frühjahr 2001
Dr. Susanne Schneider Limnologische Forschungsstation der TU, Iffeldorf	Makrophytenkartierung und Tropieindikation in Fließgewässern	Herbst 2001
Dipl. Biol. Th. Kunz Zoologisches Institut der LMU München, Abt. Aquatische Ökologie	Statistische Auswertungen, Grafik, Fotodokumentation	1999-2003
IX-Media Service H. Kierdorf, Rosenheim	Media Service für Publikationen und Ausstellungen	2000 - 2002
Dipl. Ing. FH Heidrun Wangler Seeon	Datenzusammenstellungen über Artenbestände	Winter 2001
Dr. Gabriele Hofmann Frankfurt	Bacillariophyceenanalyse zur Trophie- indikation in Fließgewässern (geplant)	Frühjahr 2002

**6. Die Fragestellungen**

Aus streng fachlicher Sicht wäre zunächst eine Analyse des ökologischen status quo auf der Basis der Arten- und Biotopschutzkartierungen erforderlich, d.h. a) eine vergleichende quantitative Artenbestandsanalyse in jeweils einander entsprechenden, über das Gesamtgebiet verteilten Biotopen und b) eine experimentelle Untersuchung über den Individuenaustausch ausgewählter Arten zwischen ihnen. Aus den Ergebnissen würde man u.a. lernen, bis zu welchen Entfernungen zwischen entsprechenden Biotopen ein Austausch stattfindet. Untersuchungen dieser Art sind jedoch wegen ihres erheblichen Aufwandes an Personal und Zeit von vornherein aus, ganz abgesehen davon, dass eine Unterbrechung der bereits begonnenen Umsetzungsmaßnahmen (Streuwiesenmäh, Aushagerung, Entbuschung und Mulchung), die we-

gen ihres Störungspotentials möglicherweise notwendig geworden wäre, von vornherein nicht in Frage kam.

In Anpassung an diese vorgegebenen „äußeren“ Rahmenbedingungen wurde folgendem Programm der Vorzug gegeben:

**6.1 Bestandsaufnahme**

- Wieviele Pflanzen- und Tierarten wurden bisher nachgewiesen?

**6.2 Eigenschaften der Fließgewässer**

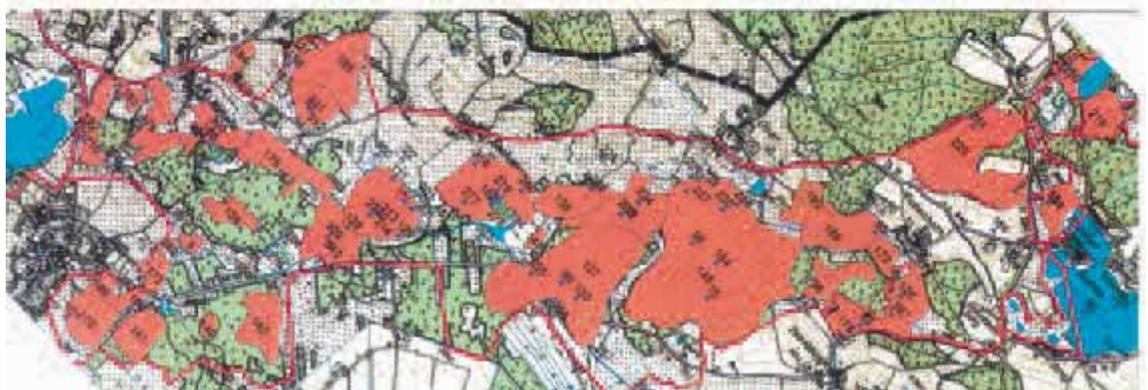
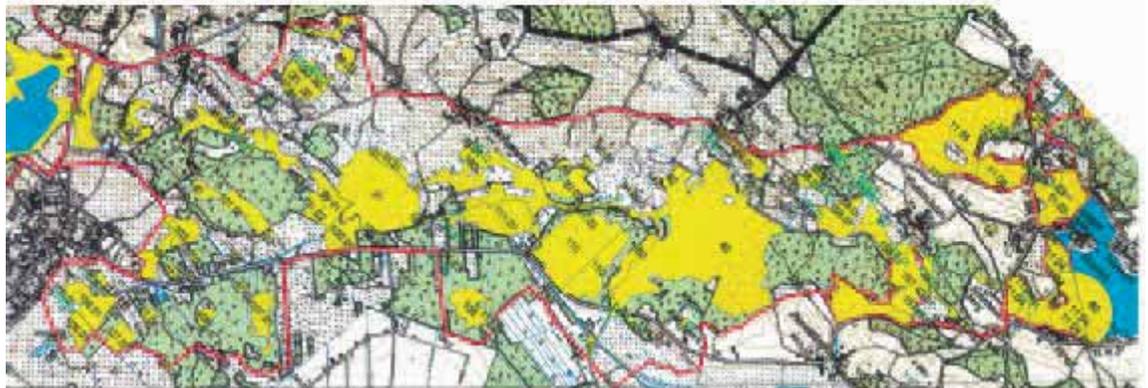
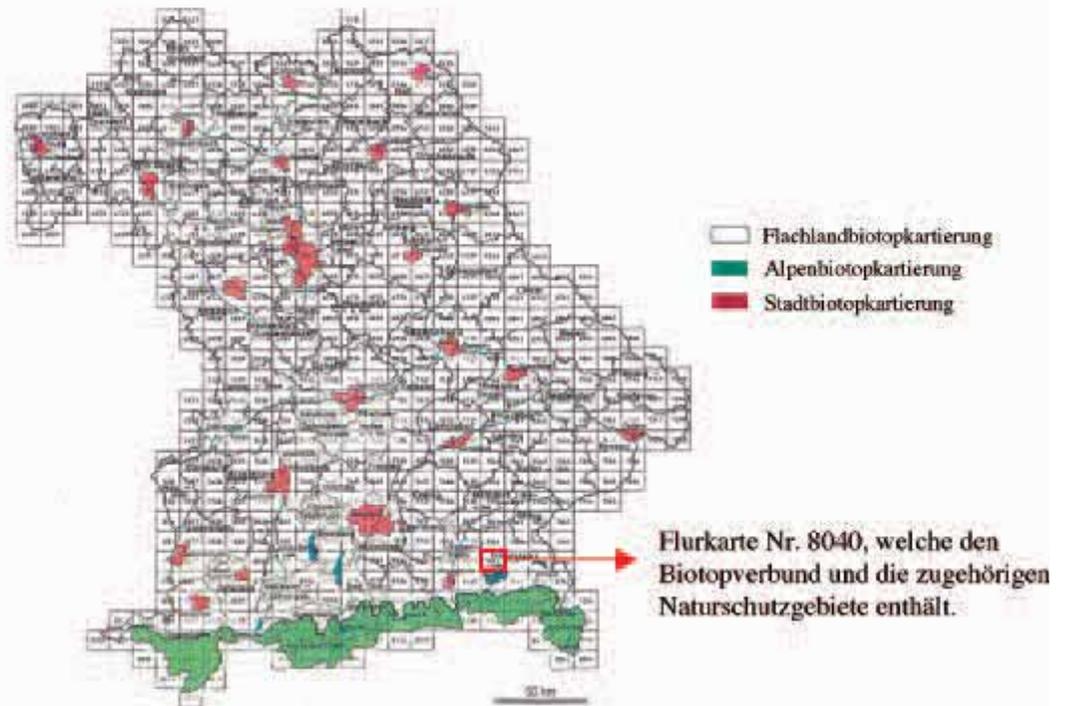
- Wie sind die in den wichtigsten Fließgewässern des Biotopverbundes vorkommenden Arten (Wirbellose, Makrophyten, Bacillariophyceen) verteilt? Wo befinden sich die Abschnitte mit den größten bzw. niedrigsten Artenzahlen?

Tabelle 6

## Wichtige und weniger wichtige Schritte auf dem Weg zum Biotopverbund

<p><b>1970 – 1988:</b> Aus Exkursionen im Rahmen von Kursen an der Limnologischen Forschungsstation Secon (Leitung: O. Siebeck) ergeben sich zahlreiche Ähnlichkeiten zwischen Biotopen und ihrer Besiedelung innerhalb des <i>NSG Seconer Seen</i> bzw. des <i>NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte</i> und zwischen diesen beiden NSG.</p>
<p><b>1988: 17.09.:</b> Der Oberste Naturschutzbeirat am BSTMLU wird von O. Siebeck über die Gefährdung der Schutzziele in den <i>NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte</i> und <i>Seconer Seen</i> und deren Folgen informiert.</p>
<p><b>1990: 18.12.:</b> O. Siebeck empfiehlt dem Obersten Naturschutzbeirat im BSTMLU Maßnahmen, die beiden NSG durch einen Biotopverbund zu verknüpfen. Dieser Vorschlag wird einstimmig unterstützt und an die Regierung von Oberbayern weitergeleitet.</p>
<p><b>1991:</b> Erarbeitung eines „Pflege- und Entwicklungsplan für das NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte“ (C. Siuda u. S. Scheer) i.A. der Regierung von Oberbayern. – <b>10.12.:</b> Arbeitstreffen in der Limnologischen Forschungsstation Secon mit Vertretern der ANL und der Naturschutzbehörden der LRA Rosenheim und Traunstein.</p>
<p><b>1991/92:</b> In 4 Diplomarbeiten (B. Bernd: Betreuer J. Grau sowie H. vom Hofe, M. Schmitt, J. Mrzljak; Betreuer: O. Siebeck) werden Eigenschaften typischer Biotope mit ihrer Flora und Fauna im Kerngebiet des vorgeschenen Biotopverbundareals beschrieben (vgl. Literaturverzeichnis).</p>
<p><b>1992: 16.07.:</b> Information des Obersten Naturschutzbeirats im BSTMLU durch O. Siebeck über das Verbundprojekt auf der Grundlage der bisher erarbeiteten Ergebnisse.</p>
<p><b>1993: 01.03:</b> Diskussionsveranstaltung im Zoologischen Institut der LMU mit Vertretern des BSTMLU, der Regierung von Oberbayern und der ANL zur Entwicklung einer Strategie für das weitere Vorgehen auf der Grundlage der Ergebnisse von 4 Diplomarbeiten (vgl. 1991/92). <b>17.03.:</b> Informationsveranstaltungen zu den Umsetzungsmaßnahmen mit Vertretern der Unteren Naturschutzbehörden der Landkreise Rosenheim und Traunstein, des WWA Rosenheim und der Maschinenringe Rosenheim und Traunstein – Das LRA Rosenheim erwirbt Schloss Hartmannsberg, den Schloss- und Kesselsee. – Beginn der Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen durch den <i>Wasser- und Bodenverband Ischler Ache</i>.</p>
<p><b>1994:</b> Kartierungen der Fauna durch die ABSP-Gruppe des LfU als Vorarbeit einer Diplomarbeit (s. 1995).</p>
<p><b>1995:</b> Diplomarbeit: „Von der Eggstätt-Hemhofer Seenplatte zu den Seconer Seen – ein Entwicklungskonzept“ (I. Schauner &amp; A. Wagner; Betreuer F. Auwerk, FH Weihenstephan) vgl. Literaturverzeichnis. – <b>22.10.:</b> Die <i>Limnologische Forschungsstation Secon</i> beteiligt sich mit dem Thema „Natur als Kulturaufgabe“ an einer Ausstellung im Schloss Hartmannsberg. Weitere Aussteller: WWA Rosenheim und Traunstein. – <b>19.10.:</b> Sitzung im LRA Rosenheim unter der Leitung von Landrat Dr. Max Gimple zur Umsetzung des Pflege- und Entwicklungsplans für das NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Festlegung der „Kernzone des geplanten Biotopverbundes“.</p>
<p><b>1996: 15.01.:</b> Vorstellung eines Sofortmaßnahmenkataloges der ABSP-Gruppe. – <b>17.01.:</b> Ausstellung im Priener Rathaus über das „NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte.“ – <b>28.02.:</b> Vorstellung des Verbundprojekts vor der Versammlung des <i>Wasser- und Bodenverbandes Ischler Ache</i>. – Gründung der <i>ARGE Biotopverbund</i> der GfL (Leitung: O. Siebeck). Beginn der Förderung der wissenschaftl. Begleituntersuchungen durch die <i>Andreas-Stihl-Stiftung</i> (Waiblingen). – Offizieller Start der Umsetzungsmaßnahmen zur Entwicklung des Biotopverbundes auf der Grundlage zweier ABM-Stellen (Projektleiterinnen Frau I. Dahlhof und Frau I. Schniepp) unter der Trägerschaft der Landratsämter Rosenheim und Traunstein. Für Extensivierungen wird das Vertragsnaturschutzprogramm und das Kulturlandschaftsprogramm des BSTMLU genutzt. – <b>27.10.:</b> Seminarveranstaltung mit Exkursion (Leitung: O. Siebeck) der Hanns-Seidel-Stiftung in Prien und Secon zum Thema „Natur- und Artenschutz“ am Beispiel des geplanten Biotopverbundes.</p>
<p><b>1997:</b> Pressefahrt mit Landrat J. Strobl in das Verbundgebiet und in die <i>Limnologische Forschungsstation Secon</i> – Entbuschungsarbeiten zur Förderung der Lebensbedingungen des Riedteufels (<i>Mionis dryas</i>). – Festlegung von Dauerbeobachtungsstellen durch die ABSP-Gruppe auf 53 Flächen und Transekten zur Kontrolle der Raupen des Abbiss-Schreckenfalters. In einer Informationsbroschüre des BSTMLU wird u.a. der künftige Biotopverbund vorgestellt.</p>
<p><b>1998: 15.10.:</b> Pressefahrt in das Biotopverbundgebiet mit dem Regierungspräsidenten W.H. Böhm, den Landräten Dr. M. Gimple und J. Strobl u.a. – <b>29.10.:</b> Beginn der Förderung durch den Bayerischen Naturschutzfonds. – Übernahme des Projektmanagements von I. Dahlhof und I. Schniepp durch St. Radlmair. – Das BSTMLU gibt die Druckschrift „Der zukunfts-bewusste Landkreis“ heraus, in welcher unter dem Titel „ABSP-Umsetzungsprojekt-Biotopverbund Eggstätt-Hemhofer Seenplatte - Seconer Seen“ das Biotopverbundprojekt als beispielhaft vorgestellt wird.</p>
<p><b>1999:</b> Auftaktveranstaltung im LRA Rosenheim zur Einführung einer projektbezogenen Arbeitsgruppe aus Vertretern der beteiligten Kommunen, Behörden und Verbände. – Herausgabe eines Faltblattes zum „Biotopverbund Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Seconer Seen“ durch das BSTMLU. – Eröffnung einer Wanderausstellung der Unteren Naturschutzbehörde des LRA Rosenheim im Haus des Gastes, Eggstätt, auf Einladung von Bgm. St. Beer zum Thema „Moore im Landkreis Rosenheim“. – Auf Initiative von Bgm. Beer beteiligt sich die Gemeinde Eggstätt am Projekt „Gemeinde-Netzwerk Allianz in den Alpen.“</p>
<p><b>2000:</b> Bewilligung der Mittel durch den Bayerischen Naturschutzfonds zum Ankauf von Seen im NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und der Wöhrmühle / Eggstätt mit Umfeld und Gebäuden. – Verlängerung der Förderung durch den Bayerischen Naturschutzfonds bis zum Jahr 2003. – <b>12.-13.10.:</b> 5. Franz-Ruttner-Symposium: „Das Ende der Biodiversität? Grundlagen zum Verständnis der Artenvielfalt und seiner Bedeutung und der Maßnahmen, dem Artensterben entgegen zu wirken.“ (Veranstalter ANL und GfL).</p>
<p><b>2001: 20.05.:</b> <i>BayernTourNatur</i> zum Thema „5 Jahre Aktivitäten zur Schaffung eines Biotopverbundes“ und Ausstellungen der <i>ARGE Biotopverbund</i> zum Thema „Faszination Vielfalt und ihre Gefährdung“ bei Schloss Hartmannsberg und Wöhrmühle. – <b>14.07.:</b> Dipl. Ing. FH St. Radlmair scheidet aus dem Amt. Nachfolgerin ist Frau Europ.ProBiol V. Feichtinger ab <b>01.09.</b> – Bgm. St. Beer (Eggstätt), Bgm. K. Glück (Secon-Seckbruck) u.a. ergreifen die Initiative zur Bewerbung der Teilnahme mehrerer Gemeinden am <i>Leader</i> - Projekt, in welchem u.a. auch der Biotopverbund im Zusammenhang mit der ländlichen Entwicklung eine Rolle spielt.</p>

## Biotopkartierung in Bayern



**Abbildung 4**

Oben: Übersichtskarte zur Biotopkartierung in Bayern (LfU 1997).

Mitte: Kerngebiet des entstehenden Biotopverbundes mit den nummerierten Flächen, in welchen von der ABSP-Gruppe des LfU Artenkartierungen durchgeführt worden sind.

Unten: Flächen, in welchen Biotopkartierungen nach „wertbestimmenden Merkmalen“ stattgefunden haben. (Landratsamt Rosenheim und Landratsamt Traunstein mit freundlicher Genehmigung, veränd.).

In welchen Abschnitten werden Belastungen durch Nährstoffimporte anhand dieser Ergebnisse angezeigt?

- Wie verändern sich die Konzentrationen der für die Anzeige von Nährstoffbelastungen relevanten chemischen Größen: Gesamtphosphat (PO<sub>4</sub> total), Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), Kjeldahl-Stickstoff (TKN) und Organisch gebundener Gesamtkohlenstoff (TOC) sowie der Biologische Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) im Fließgewässersystem von West nach Ost? Gibt es Indizien für besondere „Belastungsquellen“?
- Aus welchen Arten setzt sich die Vegetation längs der am wenigsten durch anthropogene Eingriffe gestörten Uferbereiche der Ischler Achen zusammen?

### 6.3 Eigenschaften der Standgewässer

- Bestandsaufnahmen zum Phyto- und Metazooplankton
- Welche Schlussfolgerungen ergeben sich aus Unterschieden in der Phyto- und Metazooplanktonzusammensetzung der Seen? Welchen Trophietypen lassen sich die Seen zuordnen?
- Welche Fischarten sind vertreten?

### 6.4 Bestand und Verteilung der Vogelarten

- Welche Vogelarten kommen im Nahbereich der zentralen Fließ- und Standgewässer vor?
- In welchen Gebieten sind die meisten bzw. die wenigsten Arten nachweisbar?

### 6.5 Bestand und Verteilung der Fledermäuse

- Welche Fledermausarten kommen innerhalb des Biotopverbundareals vor?

### 6.6 Bestand und Verteilung von Insekten und Spinnen auf bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Flächen

- Gibt es auffällige Unterschiede in der Artenzahl im Übergangsbereich zwischen dem *NSG Seener Seen* und dem nordöstlichen, daran anschließenden Bereich des Biotopverbundes?

### 6.7 Öffentlichkeitsarbeit

- Information von Landwirten
- Vorträge, Ausstellungen, Exkursionen

## 7. Bisherige Ergebnisse

### 7.1 Angaben zum Artenbestand

Bisher wurden nachgewiesen: 168 Insektenarten, darunter 44 Libellenarten, 57 Schmetterlingsarten, 22 Heuschreckenarten, 45 Wasserkäferarten, 66 Spinnenarten; 31 Schnecken-, 19 Fisch-, 7 Amphibien-, 7 Reptilien-, 96 Vogelarten; 244 Blütenpflanzenarten, darunter 22 Baum- und 27 Straucharten; 5 Farn- und 17 Moosarten. Unter den Tier- und Pflanzenarten befinden sich insgesamt 86 Arten der *Roten Liste*.

Da diese Bestandsaufnahmen bisher bevorzugt auf ausgewählten Biotopen stattgefunden haben, sind sie nicht flächendeckend. Es ist daher mit dem Nachweis vieler weiterer Arten zu rechnen. Gegenwärtig steht jedoch bereits fest, dass sich das für die Kernzone des Biotopverbundes ausersehene Gebiet durch eine bemerkenswerte Artenvielfalt auszeichnet.

## 7.2 Untersuchungen in Fließgewässern

### 7.2.1 Beschreibung des Gebietes

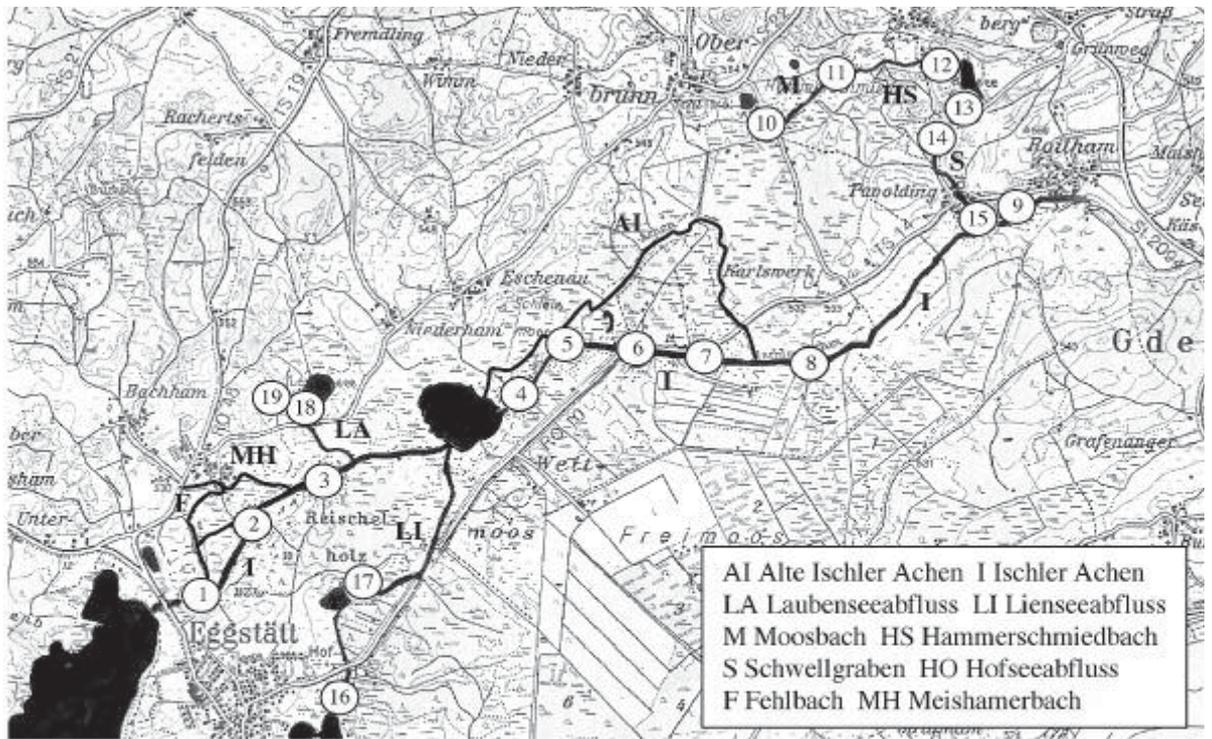
Das wichtigste Gewässer ist die Ischler Achen. Sie wird vom Abfluss des Hartsees aus dem *NSG Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte* gespeist. Westlich der Wöhrmühle ist der Hartseeabfluss durch eine Schwelle aufgestaut. Ein kleiner Teil des Wassers, der Fehlbach, fließt zunächst parallel zum Hauptstrom, der Ischler Achen, und dann zunächst in nordnordwestlicher Richtung weiter. Bevor er seine Richtung in einem scharfen Knick nach Nordosten ändert, empfängt er einen Teil des Wassers vom Meishamerbach, wodurch sich seine Wasserschüttung erheblich erhöht, bevor er in die Ischler Achen mündet. Auf ihrem Weg zum Eschenauersee münden in die Ischler Achen zunächst der Meishamerbach, der Ausfluss vom Laubensee und das Wasser aus Drainagegräben jeweils aus nördlichen Richtungen. Kurz vor der Mündung der Ischler Achen in den Eschenauersee vereinigt sie sich mit dem aus südlicher Richtung kommenden Bach, dem Abfluss des Liensees, der seinerseits vom Abfluss des Hofsees gespeist wird (Abb 5).

Am Nordufer des Eschenauersees münden mehrere Drainagegräben. Der Hauptabfluss des Eschenauersees fließt als Ischler Achen zunächst in nordöstlicher, dann in östlicher Richtung. Er erweitert sich im Bereich des ehemaligen Schleinsees und mündet schließlich in die Alz.

Ein zweiter, sehr geringer, oft nicht funktionierender Abfluss, die Alte Ischler Achen, verlässt den Eschenauersee nördlich des Hauptabflusses. Wie ihr Name sagt, bewegt sie sich ungefähr auf dem Weg des alten Fließbettes, welches durch einen begradigten Graben ersetzt worden ist. Durch mehrere Drainagegräben erhöht sich allmählich die Wasserschüttung, so dass die Alte Ischler Achen schließlich als ansehnlicher Bach etwa an der Grenze der Landkreise Rosenheim/Traunstein in die (neue) Ischler Achen mündet.

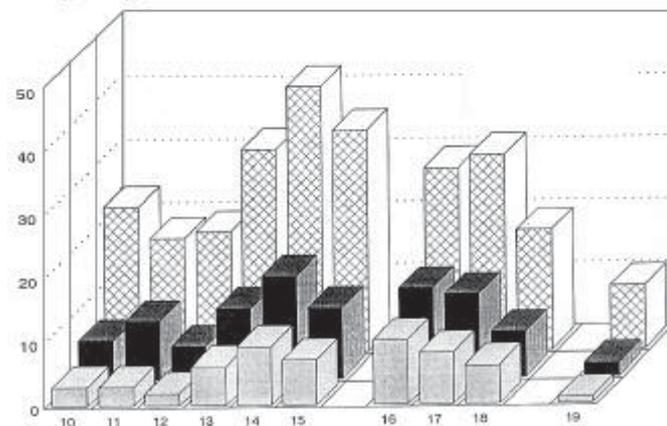
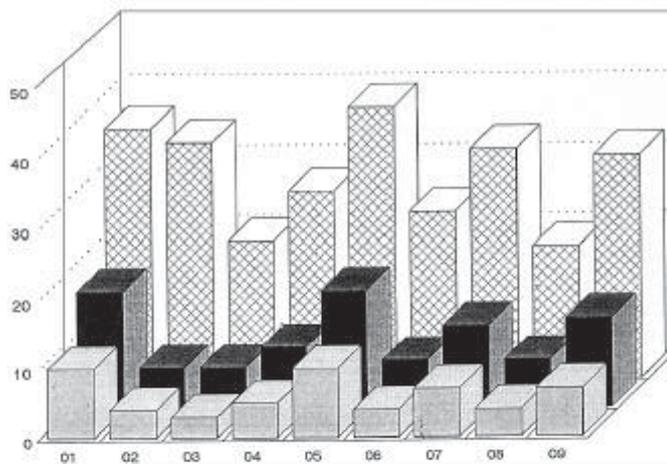
Das zweite Gewässersystem befindet sich im nordöstlichen Teil des Biotopverbundes: Es beginnt mit dem Moosbach bei Oberbrunn und setzt sich als Hammerschmiedbach fort, der, über eine weite Strecke begradigt ist und erst kurz vor seiner Mündung in den Bansee seinen natürlichen Lauf behalten hat. Der Ausfluss dieses Sees wird als Schwellgraben bezeichnet. Er mündet bei Pavolding in die Ischler Achen (Abb. 5).

Der Haupteingriff in das gesamte Gewässersystem durch Begradigung und Verlegungen erfolgte in den Jahren 1907-1922, um landwirtschaftlich nutzbares



Gesamtartenzahl ohne Diptera: 114

Gefährdete Arten: Rote Liste Bayern



Rote Liste Bayern
  Mollusken
  alle Arten

Artname	Gefährdungsgrad
<i>Aphelocheiros aestivalis</i>	4R
<i>Calopteryx virgo</i>	3
<i>Calopteryx splendens</i>	4R
<i>Gomphus vulgatissimus</i>	2
<i>Laccophilus variegatus</i>	4R
<i>Leptophlebia wespertina</i>	3
<i>Acroloxus lacustris</i>	2
<i>Anisus leucomosta</i>	3
<i>Anisus vorticulus</i>	1
<i>Anodonta anatina</i>	4R
<i>Anodonta cygnea</i>	2
<i>Aplexa hypnorum</i>	2
<i>Bathymorphus contortus</i>	3
<i>Bythinella austriaca</i>	3
<i>Gyraulis albus</i>	4R
<i>Gyraulis crista</i>	3
<i>Hippetis complanatus</i>	3
<i>Lymnea stagnalis</i>	4R
<i>Musculium lacustre</i>	4R
<i>Physa fontinalis</i>	3
<i>Pisidium henslowianum</i>	3
<i>Pisidium hibernicum</i>	2
<i>Pisidium liljeborgii</i>	2
<i>Pisidium milium</i>	2
<i>Pisidium moltessierianum</i>	3
<i>Pisidium nitidum</i>	3
<i>Pisidium pseudosphaerium</i>	1
<i>Planorbis carinatus</i>	4R
<i>Radix ovata</i>	2
<i>Segmentina nitida</i>	2
<i>Stagnicola corus</i>	3
<i>Stagnicola fuscus</i>	4R
<i>Unio crassus</i>	1
<i>Unio pictorum</i>	4R
<i>Valvata piscinalis</i>	4R
<i>Viviparus coniectus</i>	3

Abbildung 5

**Kartierung der Fließgewässerfauna (Makrozoobenthos).** Die Zahlen auf der Karte markieren die ausgewählten Probenstellen. Die Säulen geben die Artenzahlen für jede Probenstelle an (01-19).

Land zu gewinnen. Im Zuge dieser Maßnahmen senkten sich die Seespiegel um ca. 80 cm (BRAUN 1961).

### 7.2.2 Artenbestand und Verteilung von Wirbellosen

Mit insgesamt 114 Taxa – ohne die sehr artenreiche Gruppe der Dipteren! – ist die Artenvielfalt noch beachtlich. 36 Arten, d.h. etwa 30% sind gefährdet, darunter 12 mit den höchsten Gefährdungsgraden 1 und 2. Mehrere nach GESSNER (1953) früher vorkommende Arten sind inzwischen nicht mehr vertreten. Zum Beispiel unter den *Ephemeroptera*: *Potamanthus luteus*, *Ecdyonurus venosus*, *Heptagenia sulphurea*, *Rithrogena sp.* und *Ameletus inopinatus*, unter den *Plecoptera*: *Perla marginata* und *Isoperla grammatica*, unter den *Odonata*: *Onychogomphus forcipatus*, unter den *Coeloptera*: *Riolus subviolaceus* und *Elmis obscura* und unter den *Trichoptera*: *Rhyacophila vulgaris*, *Philopotamus sp.* und *Brachycentrus montanus*.

Aus Abb. 5 ergibt sich, dass die Artenvielfalt beim Vergleich der verschiedenen Fließabschnitte z.T. erheblich variiert. Obgleich ein endgültiges Urteil bis zum Vorliegen der Ergebnisse der Makrophytenkartierung und der Analyse des Bacillariophyceenaufwuchses zurückgestellt wird, bestätigt sich die Erwartung, dass die größere Artenvielfalt der typischen Fließgewässerfauna auf strukturreichem und festem Untergrund, sei es durch die Vegetation, durch Steine (Nr. 14 u. 5) oder durch beide (Nr. 1, 2, 17) angetroffen wird. Von besonderem Interesse ist die Artenvielfalt bei der Wöhrmühle bzw. deren Zusammensetzung, welche bei den in Planung befindlichen Renaturierungsmaßnahmen besonderer Berücksichtigung bedarf. Relativ artenarm sind die strukturalten Gewässerabschnitte, vor allem dort, wo sich die Strömungsgeschwindigkeit verringert und der Grund von weichem Material und Schlamm bedeckt ist.

### 7.2.3 Artenbestand der submersen und emersen Makrophyten

Nach den bisherigen, noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen wurden 32 Arten festgestellt, darunter 1 *Charophyceae*, 1 *Bryophyta* und 30 *Spermatophyta* (*Chara globulosa*, *Fontinalis antipyretica*, *Agrostis spec.*, *Alisma lanceolatum*, *Berula erecta*, *Callitriche spec.*, *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*, *Lemna minor*, *Lemna trisulca*, *Mentha aquatica*, *Myosotis palustris*, *Myriophyllum spicatum*, *Nasturtium officinale*, *Nuphar lutea*, *Phalaris arundinacea*, *Phragmites australis*, *Potamogeton berchtholdii*, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton natans*, *Potamogeton perfoliatus*, *Ranunculus circinatus*, *Ranunculus flammula*, *Ranunculus trichophyllus*, *Schoenoplectus lacustris*, *Sparganium emersum*, *Sparganium erectum*, *Typha latifolia*, *Veronica anagallis-aquatica*, *Veronica becabunga* und *Zanichellia palustris*.

### 7.2.4 Artenbestand der Ufervegetation

Diese Kartierung fand ab der Wöhrmühle bis ca. 950 m in Fließrichtung statt. In diesem Bereich ist die Ufervegetation verhältnismäßig ungestört. Überwiegend beiderseits der Ischler Achen wurde jeweils ein Streifen vom Gewässerrand bis in 5 m Abstand kartiert. Die Artenvielfalt ist bemerkenswert: Im Abschnitt nordöstlich von der Wöhrmühle wurden 103 Arten festgestellt, darunter 21 Baumarten bzw. Sträucher. Im Abschnitt östlich von Meisham konnten noch 62 Arten, darunter 13 Baum- und Straucharten nachgewiesen werden.

### 7.2.5 Nährstoffkonzentrationen

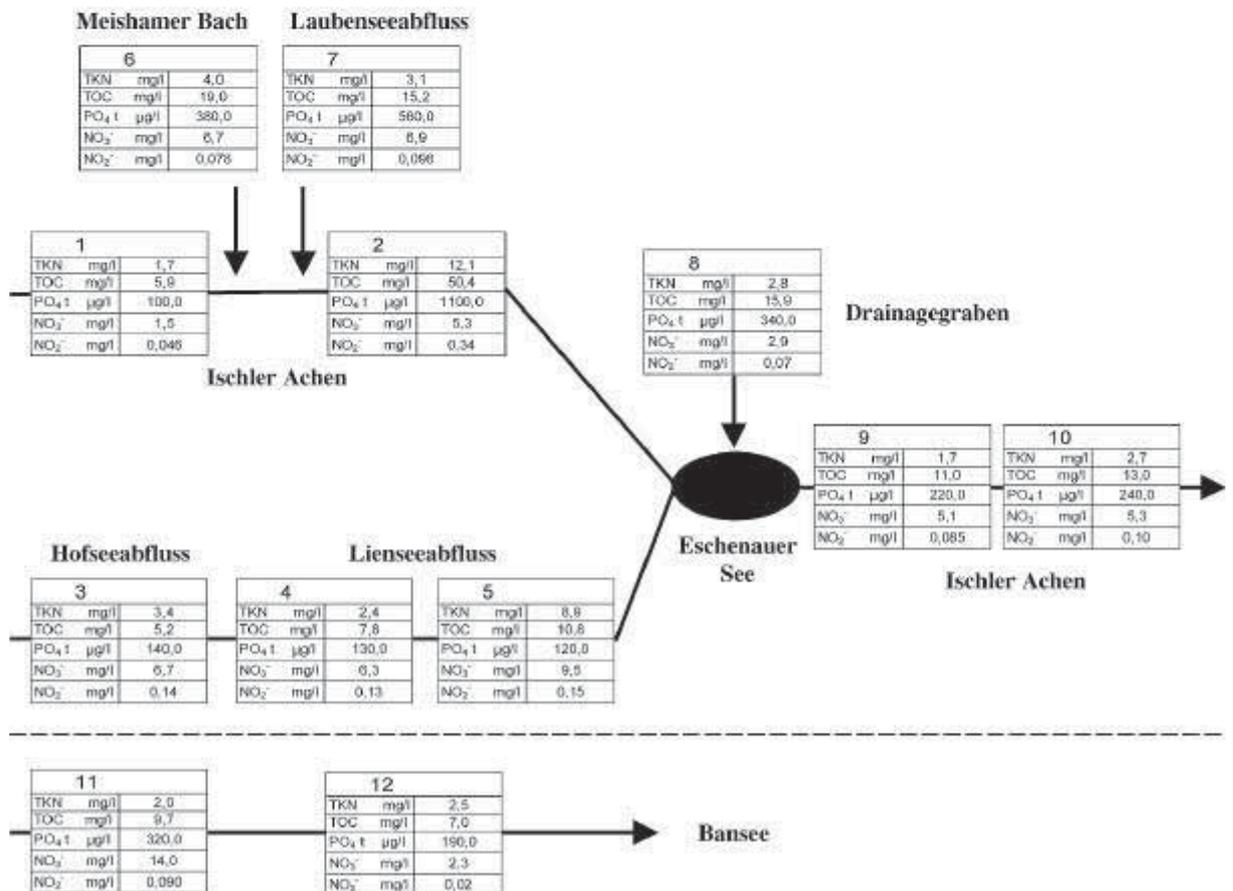
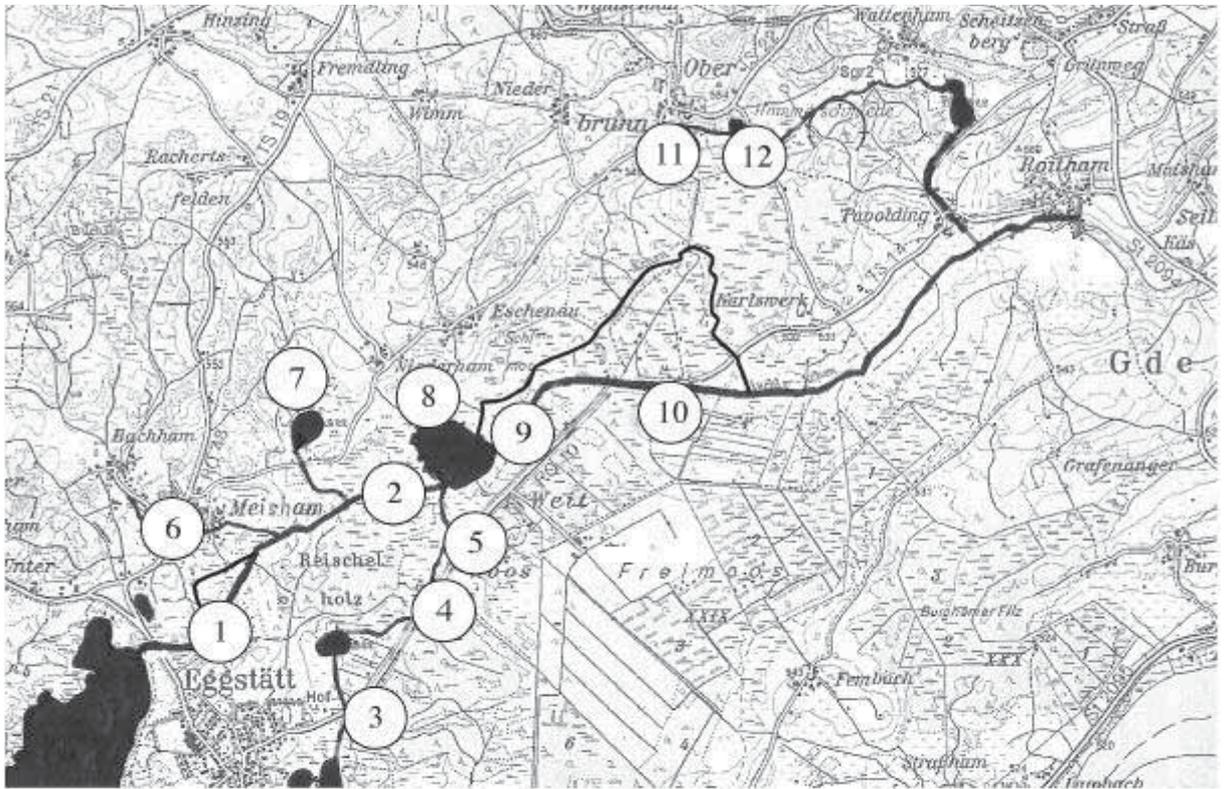
Die für diese Untersuchungen gewählten 5 Größen (TKN=Organ. Stickstoffverbindungen, TOC=Organ. Kohlenstoffverbindungen, Nitrat, Nitrit und Gesamtphosphat) sind zur Beurteilung von Gewässerbelastungen geeignet. Die Proben wurden in jenem Teil der Ischler Achen (Nr. 1, 2, 9, 10) entnommen, welcher Zuflüsse aus dem Gebiet der landwirtschaftlich genutzten Flächen empfängt. Diese Zuflüsse stammen aus dem Meishamer Bach (Nr. 6), dem Laubenseeabfluss (Nr. 7) und dem Hofsee- (Nr. 3) und Lienseeabfluss (Nr. 4, 5). Zusätzlich wurde in einem Drainagegraben gemessen, der an der Entwässerung der nördlich des Eschenauersee liegenden Hangwiesen beteiligt ist (Nr. 8).

Oberhalb der genannten Zuflüsse sind die Konzentrationen relativ gering. Über die Zuflüsse Nr. 6 und 7 werden im Falle des TKN, des TOC, des  $\text{NO}_3^-$ , des  $\text{NO}_2^-$  und des  $\text{PO}_4$  total z.T. erheblich höhere Konzentrationen heran- und dem Eschenauersee zugeführt: Der TOC-Wert 50.4 mg/l entspricht einer Größe, die typischerweise in Gewässern mit der Gewässergüteklasse IV gefunden wird (LAWA 1998). Der  $\text{PO}_4$  total-Wert 1.1 mg/l wird in Gewässern mit der Güteklasse III-IV gemessen, dasselbe gilt für den  $\text{NO}_3^-$  Wert 5.3 mg/l; bezüglich des  $\text{NO}_2^-$  Wertes liegt die Gewässergüteklasse II-III vor. TKN-Werte >5 mg/l sprechen ebenfalls für hohe Nährstoffimporte (Abb. 6).

Vom Hof- bzw. Liensee ausgehend (Nr. 3, 4, 5) werden im Vergleich zum Hartseeausfluss (Nr. 1) höhere Konzentrationen herangeführt, die im Falle des TOC 10.8 mg/l: Gewässergüteklasse III), des TKN (8.9 mg/l) und  $\text{NO}_3^-$  (9.5 mg/l: Gewässergüteklasse III-IV) jedoch nicht so stark wie in der Ischler Achen angestiegen sind.

Im weiteren Verlauf der Ischler Achen – nach dem Ausfluss aus dem Eschenauersee – sind die Werte durchwegs niedriger als vor der Mündung in diesen See. Sie nehmen danach nicht mehr wesentlich zu und entsprechen der Gewässergüteklasse II-III bzw. III.

Auch der Moosbach (Nr. 1) führt relativ hohe Konzentrationen heran, die aber im Hammerschmiedbach (Nr. 12) bereits wieder wesentlich niedriger sind.



**Abbildung 6**

**Ergebnisse der chemischen Gewässeranalyse.** Die Zahlen auf der Karte markieren die Probenstellen. In den Kästchen sind die Ergebnisse von jeweils 5 Messgrößen angegeben. Die Zahl in der Mitte der obersten Zeile entspricht der Probenstellenzahl. Die Messgrößen (TKN, TOC, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sind in mg/l, PO<sub>4</sub> total in µg/l angegeben. Die Position der Kästchen im Schema der Fließgewässeranordnung entspricht der Lage der Probenstellen auf der Karte. Die Pfeile geben die Fließrichtungen des Wassers bzw. der Nährstoffströme an.

Mehrere über das Jahr verteilte Kontrollen der Phosphor-Konzentration an zwei ausgewählten, zum Eschenauersee entwässernden Drainagegräben ergaben während der Zeiten relativ häufiger Güllendüngung der umliegenden Hangwiesen bzw. der Ausbringung von Kunstdüngern auf die Äcker im Frühjahr und Herbst 1997 hohe Phosphor-Werte: bis 1.6 mg/l P<sub>total</sub> (= 4.8mg/l PO<sub>4 total</sub>) (Abb. 7). Auch die BSB<sub>5</sub>-Werte lagen während dieser Zeit >15mg/l. Obgleich während des Durchlaufs bis zum Eschenauersee mit einer Verminderung zu rechnen ist, muss angenommen werden, dass der Eschenauersee durch die relativ schnelle Zuleitung des Wassers aus den Drainagegräben zeitweise einem hochwirksamen Nährstoffimport ausgesetzt ist.

### 7.3 Ergebnisse der Untersuchungen an Standgewässern

#### 7.3.1 Phytoplankton und Metazooplankton

Wie sich aus den Tabellen 7 u. 8 ergibt, wurden in den Seen und Weihern bisher jeweils zwischen 28 und 89 Phytoplanktontaxa und 14-32 Taxa aus dem Metazooplankton nachgewiesen, wobei bisher lediglich Kleinkrebse (Copepoden und Cladoceren) und Rädertiere (Rotatorien) berücksichtigt worden sind.

Die dominierenden Arten entfallen auf vier Gruppen: Goldalgen, Zieralgen, Kieselalgen und Grünalgen. Hinsichtlich der sommerlichen Algenbiomasse ergeben sich zwischen den Seen sehr auffällige Unterschiede.

Im **Katzensee** beträgt die sommerliche Algenbiomasse 1.2g/m<sup>3</sup>. Sie beruht zu ca. 2/3 auf der weit verbreiteten Goldalge *Dinobryon divergens* und belegt einen mäßig bis hohen Nährstoffgehalt. Die stark vertretenen Wasserflöhe: *Daphnia cucullata*, *Ceriod-*

*aphnia pulchella* und *Bosmina longirostris* – auf sie entfällt fast die Hälfte der Gesamtdichte des Zooplanktons – und das Auftreten des Hüpferlings *Cyclops vicinus* sprechen ebenfalls für einen hohen Nährstoffgehalt.

Im **Hofsee** sind die Verhältnisse ähnlich. Auch hier nehmen die genannten Wasserflöhe fast 50% der Gesamtdichte des Zooplanktons ein. Das nährstoffreiche Verhältnisse anzeigende Rädertier *Pompholyx sulcata* und der Hüpferling *Cyclops vicinus* sind ebenfalls reichlich vertreten. Mit 2.2g/m<sup>3</sup> Algenbiomasse ist dieser Wert fast 2 mal so hoch wie im Katzensee.

Im **Laubensee** wurde mit 9.9g/m<sup>3</sup> Algenbiomasse fast das Fünffache wie im Hofsee gemessen. Daran sind zu ca. 60% nur zwei Arten beteiligt: Die Kieselalge *Asterionella formosa* und die Kolonien bildende Grünalge *Tetrachlorella incerta*. Ähnliches trifft für das Metazooplankton zu, denn der Eutrophie-Anzeiger *Pompholyx sulcata* ist mit ca. 21% an der Dichte des gesamten Zooplanktons beteiligt. Als Besonderheit sei die Cladocere *Ceriodaphnia megops* erwähnt, weil sie normalerweise in dichter Unterwasservegetation nährstoffreicher Seen vorkommt.

Mit einer Biomasse von 62g/m<sup>3</sup> erreicht der **Eschenauersee** die Spitzenposition unter allen Seen. 80% dieser Biomasse entfallen auf die nährstoffreiche Gewässer anzeigende Kieselalge *Acanthoceras zachariasii*. Es folgen 2 kettenbildende Kieselalgen der Gattung *Aulacoseira* und die Goldalgen *Dinobryon sociale* und *Dinobryon divergens*. Zu anderen Zeiten wurden die Planktonnetze durch die in riesigen Mengen vorhandene „Blualge“ *Planktothrix rubescens* verstopft. Das Metazooplankton entfällt in diesem See zu 82% auf Rädertiere, wobei ca. 2/3 auf die Ke-

Tabelle 7

#### Phytoplankton (1999)

Gewässer	Anzahl der Taxa	Individuen x10 <sup>6</sup> / l	Biomasse mg / m <sup>3</sup>	Dominante Taxa	Dominante Taxa x 10 <sup>6</sup> / l
Katzensee	28	3.0	1.200	Goldalgen	1.5
Hofsee	35	20.8	2.200	Zieralgen	20.7
Liensee	47	5.9	921	Goldalgen	2.3
Eschenauersee	89	247.9	61.950	Kieselalgen <sup>*)</sup>	235.6
Laubensee	62	197.5	9.000	Grünalgen	185.2
Dümpflweiher	40	5.3	925	Goldalgen	3.3

\*) 1997: Cyanobacteriaceae: *Planktothrix rubescens*

Tabelle 8

#### Metazooplankton (1999)

Gewässer	Taxa	Individuen / l	Dominant (Taxon)	Dominant Ind. / l
Katzensee	18	33.1	Cladocera	15.8
Hofsee	23	51.9	Cladocera	22.6
Liensee	31	41.2	Rotatoria	30.2
Eschenauersee	24	32.8	Rotatoria	27.1
Laubensee	14	30.3	Rotatoria	27.8
Dümpflweiher	19	19.9	Rotatoria	16.8



Luftbild Eschenauersee mit 2 Probestellen

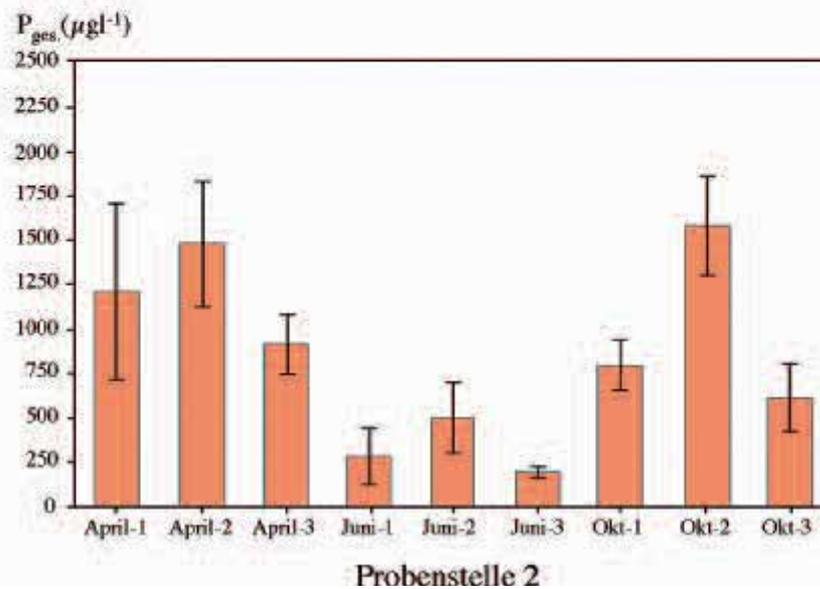
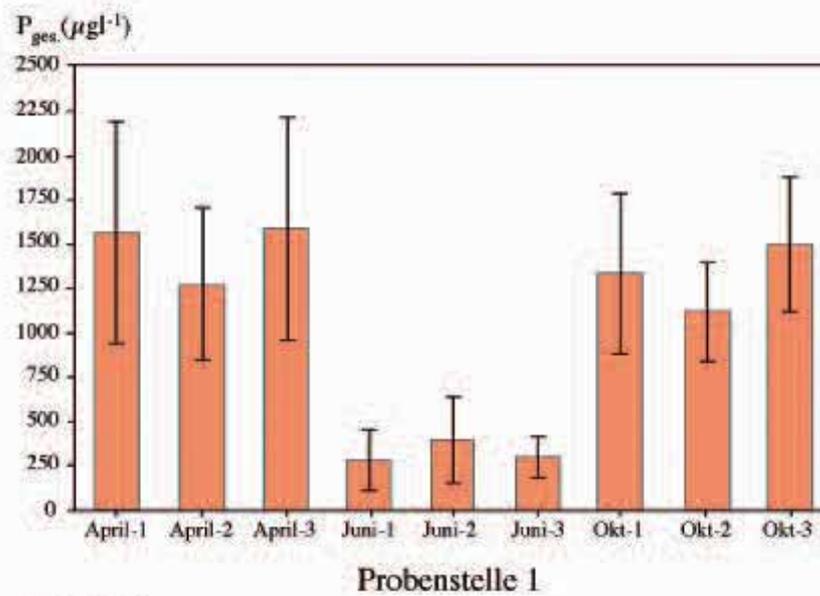


Abbildung 7

Ergebnisse der  $P_{\text{gesamt}}$  – Bestimmungen in den zum Eschenauersee entwässernden Drainagegräben 1 und 2 im Jahre 1997. Die senkrechten Balken geben die Standardabweichung des Mittelwertes von 3 Teilproben an.

ratella-Arten *K. cochlearis* und *K. cochlearis f. tecta* entfallen. Die Kleinkrebse sind nur mit ca. 17% vertreten, vor allem wieder durch die reichliche Nährstoffversorgung anzeigenden Kleinkrebse *Bosmina longirostris* und *Daphnia cucullata*. Das Massenvorkommen der genannten Taxa spricht für ein Nährstoffüberangebot. Auffällig ist aber auch, dass sich die vorhandenen Kleinkrebse durch eine besonders geringe Körpergröße auszeichnen. Als Ursache kommt vor allem ein großer Fraßdruck durch Fische in Betracht, weil größere Beuteobjekte gegenüber kleinen bevorzugt werden (Abb. 9).

Der **Liensee** zeichnet sich durch die relativ geringe Algenbiomasse von  $0.9\text{g/m}^3$  aus, wobei etwa 50% auf verschiedene Kieselalgenarten entfallen. An Zahl dominieren jedoch die Goldalgen, deren Hauptvertreter für eutrophe Seen typisch sind. Für ein hohes Nährstoffangebot sprechen auch die Vertreter aus dem Metazooplankton.

Im **Dümpflweiher** liegt die Algenbiomasse ebenfalls bei  $0.9\text{g/m}^3$ , wobei etwa die Hälfte auf die Goldalge *Dinobryon divergens* zurückzuführen ist. An zweiter Stelle liegt die Zieralge *Mougeotia sp.* mit ca. 28%. Unter dem Metazooplankton dominieren die Rotatorien.

Aufgrund der hohen Algenbiomassen und der Zusammensetzung des Phyto- und Zooplanktons sind die Gewässer im Biotopverbundgebiet als deutlich nährstoffreicher anzusehen als die Gewässer in den beiden Naturschutzgebieten. In Tabelle 9 wird durch ++ bei „mesotroph“ angedeutet, dass das betreffende Gewässer dem eutrophen Zustand näher steht als die in der Spalte für „mesotroph“ durch + gekennzeichneten Seen.

Der Begriff „dystroph“ bezieht sich auf den hohen Gehalt an organischem Material, welches nicht im

Gewässer produziert, sondern aus dem Umfeld importiert worden ist (allochthones organisches Material). In den betreffenden Naturschutzseen beruht die Dystrophie überwiegend auf den Importen von abgestorbenen Torfmoosen (Huminstoffe) aus den umliegenden Mooren, durch welche das Wasser tief braun gefärbt ist. Das Wasser dieser Seen ist nährstoffarm, wenn der Kontakt zum mineralischen Grund durch organische Sedimentschichten verloren gegangen ist.

Durch Grundwasserzufluss oder Oberflächenzufluss können dystrophe Seen aber auch mehr oder weniger nährstoffreich sein. In diesem Sinne ist der Begriff Dystrophie dem Trophiebegriff untergeordnet (Wetzel 1987). In Tabelle 9 wird im Falle der dystrophen Seen durch das + Zeichen in der Spalte „mesotroph“ oder „eutroph“ angedeutet, ob durch geringen bzw. erheblichen Grund- oder Oberflächenwasserzufluss Nährstoffe importiert werden. Ist das nicht der Fall, befindet sich das zusätzliche + Zeichen in der Spalte „oligotroph“. Befindet sich in der Spalte unter „dystroph“ ein kleines + Zeichen, so sind in dem betreffenden See die dystrophen Eigenschaften nur schwach ausgeprägt.

Wenn in der Spalte „mesotroph“ zwei ++ Zeichen eingetragen sind, so befindet sich der betreffende See in einem Stadium zwischen mesotroph und eutroph. Ein Stadium zwischen eutroph und polytroph wird durch zwei ++ Zeichen in der Spalte „eutroph“ angedeutet. Diese Typisierung beruht auf jeweils mehreren qualitativen Merkmalen, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Die Polytrophie der Seen und Weiher im Biotopverbundareal sind eine Folge der Düngemaßnahmen auf den umliegenden bewirtschafteten Flächen. Von hier aus gelangen die Nährstoffe über Drainagegräben, Sickerwasser („diffuse Belastung“) und über die

Gewässer	oligotroph	mesotroph	eutroph	polytroph	dystroph
Griessee		++			+
Brunnsee		+			
Seeleitensee		++			
Mittersee		++			
Jägersee		++			
Klostersee			+		
Bansee			+		
Pelhamersee			+		+
Hartsee		++			
Kautsee			+		
Blassee	+				+
Einbessee		++			+
Kesselsee		++			
Schlosssee			++		
Landbürgenersee			+		
Lembergergumpfen	+				+
Thalersee			+		
Stettnersee					+
Dümpflweiher				+	
Eschenauersee				+	
Laubensee				+	
Liensee			++		
Hofsee				+	
Katzensee				+	

**Tabelle 9**  
**Kennzeichnung der Weiher und Seen**

Fließgewässerzuflüsse in die Seen. In diesen bewirken sie – unbeabsichtigt! – dasselbe, was auf den bewirtschafteten Flächen beabsichtigt wird: Die Reduktion der Artenvielfalt zu Gunsten der wenigen Arten, die sich in besonders hohen Individuendichten halten können (Abb. 8, 9 und in der Einleitung des Symposiums die Abbildungen 3 u. 4).

Die folgende Artenliste von Fischen stützt sich bisher ausschließlich auf Angaben von Fischereiberechtigten, im wesentlichen somit auf Befunde der Angelfischens. Eine Erweiterung dieser Liste wird sich aus der vorgesehenen Elektrofischung ergeben. Nachgewiesen wurden: Aal (*Anguilla anguilla*), Aitel (*Leuciscus cephalus*), Barbe (*Barbus barbus*), Barsch (*Perca fluviatilis*), Brachsen (*Abramis brama*), Hasel (*Leucaspis delineatus*), Hecht (*Esox lucius*), Karauschen (*Carassius carassius*), Kaulbarsch (*Acerina cernua*), Laube (*Alburnus alburnus*), Rotaugen (*Rutilus rutilus*), Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*), Sandfelchen (*Coregonus fera*), Schleie (*Tinca tinca*), Schuppenkarpfen und Spiegelkarpfen (*Cyprinus carpio*), Sonnenbarsch (*Lepomis gibbosus*), Wels „Waller“ (*Silurus glanis*) und Zander (*Stizostedion luciperca*).

#### 7.4 Bestandsaufnahme und Verteilung der Vogelarten

Obgleich durch die ABSP-Gruppe Bestandsaufnahmen vorliegen, interessiert die Frage, welche Vogelarten sich im näheren Bereich um die Ischler Achen, den Hammerschmiedbach und im Umfeld einiger Seen aufhalten (Abb. 10). Es wurden 97 Vogelarten festgestellt, (Tab. 10) davon 34 Arten Nichtsingvögel und 63 Arten Singvögel. Unter den überregional seltenen Arten wurden 11 nachgewiesen: Zwergtaucher, Krickente, Kolbenente, Wasserralle, Brachvogel, Hohltaube, Kleinspecht, Feldschwirl, Drosselrohrsänger, Weidenmeise und Karmingimpel.

Als Schwerpunkte der Artenvielfalt (Abb. 10) erwiesen sich das Gebiet um den Hammerschmiedbach, den Ausfluss aus dem Liensee und aus dem Eschenauersee. Diese Gebiete zeichnen sich durch kleinräumige Strukturvielfalt aus: Lichtungen zwischen Bäumen und Sträuchern, Randvegetation der Fließgewässer u. a. (Areale 1, 2, 3). Auffällig gering war die Artenvielfalt im Grenzgebiet zwischen NSG Seeoner Seen und Biotopverbundareal im Bereich des Seeleitensees (C) im Bereich nördlich des Eschenauersees (B) und im Umfeld des Laubensee (A), in welchen die offenen strukturarmen, intensiv oder extensiv bewirtschafteten Felder liegen (Abb. 10 u. 14: Luftaufnahme).

#### 7.5 Bestandsaufnahme der Fledermäuse

Im Herbst 2001 wurden im Gebiet um den Eschenauer-, Lien- und Laubensee und im Bereich der Wöhrmühle 5 Fledermausarten festgestellt, die ausnahmslos gefährdet sind: die Wasserfledermaus (*Myotis daubentoni*), die Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*),

die Bartfledermaus (*Myotis cf. Mystacinus/brandti*), die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und die Rauhhauffledermaus (*Pipistrellus nathusii*). Zu den Waldfledermäusen zählen die Rauhhauffledermaus, die Wasserfledermaus und die Fransenfledermaus. An einem Gebäude im Wöhrmühlenbereich wurden die Rauhhauffledermaus und die Bartfledermaus, akustisch auch die Fransenfledermaus nachgewiesen. In den vergangenen Jahren sind aus dem näheren Umfeld um das Biotopverbundareal und das NSG Seeoner Seen 10 verschiedene Arten festgestellt worden. Ein Einzeltier der hochgefährdeten Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*, Gefährdungsgrad RL Bayern: 1!) wurde 1999 bei Meisham nachgewiesen.

#### 7.6 Die Insekten und Spinnenfauna auf bewirtschafteten und nichtbewirtschafteten Flächen

Durch diese Untersuchungen sollte geprüft werden, ob wenige Netzfänge bei jeweils gleichem Zeitaufwand über gleicher Flächengröße (10m<sup>2</sup>) genügen, um erste Informationen über die Artenvielfalt der getesteten Taxa zu erhalten. Sie dienen daher lediglich als Voruntersuchung für spätere quantitative Erhebungen, die über das gesamte Jahr verteilt werden.

Die Ergebnisse zeigen (Tab. 12), dass die Artenvielfalt der Schmetterlinge, Heuschrecken, Libellen und Spinnen auf die Streuwiesen (1, 4, 6) und im Bereich der ungestörten Vegetation am Ufer der Ischler Achen (7) begrenzt ist, während sich die bewirtschafteten Wiesen und der Waldsaum daneben durch eine auffällige Artenarmut auszeichnen (Abb. 11).

Insgesamt wurden auf den ausgewählten Arealen 22 Tagsschmetterlingsarten, 18 Libellenarten, 18 Heuschreckenarten und 32 Spinnenarten nachgewiesen, darunter insgesamt 13 Arten der Rote Liste.

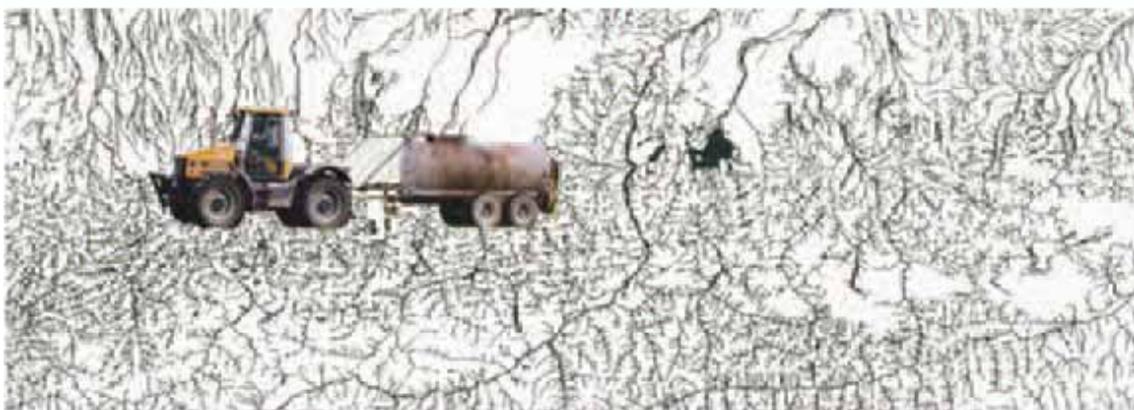
Die Vielfalt der Arten ist nicht nur an Waldsäumen im Anschluss an Wirtschaftswiesen sehr gering, sondern auch bei unbewirtschafteten Flächen, wenn der Übergang abrupt erfolgt. Es fällt nicht nur im Bereich des Biotopverbundgebietes, sondern fast überall auch außerhalb seiner Grenzen auf, dass Wiesen und Äcker sehr häufig unmittelbar an den Wald angrenzen. Jungholz, Sträucher und Stauden werden immer wieder entfernt. Nach SUKOPP et al. (1978) ist die Entfernung solcher Übergangsbereiche (Ökoton) die Hauptursache für den Artenrückgang. Eine vergleichende Untersuchung über die Dichte von Spinnennetzen an einem Waldrand mit bzw. ohne Ökoton ergab einen auffälligen Unterschied (Abb. 12). Ohne Ökoton erreichte die Spinnennetzdichte Maximalwerte um 6 Netze/9m<sup>2</sup>, mit Ökoton um 50 Netze/9m<sup>2</sup>. Dieses Ergebnis zeigt, dass das Beutangebot (verschiedene Arten) für die Spinnen (u. a. Baldachinspinne *Linyphia triangularis*) im ersten Fall erheblich niedriger ist als im zweiten Fall.



**Ackerbewirtschaftung:** Maximierung von Produkten für die menschliche Ernährung (Düngung und Ausschaltung von „Mitessern“ und pflanzlichen Konkurrenten).



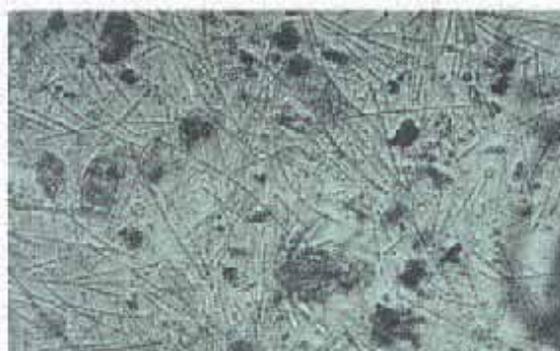
**Wiesenbewirtschaftung:** Maximierung des Ertrages von Wiesengräsern und Kräutern zur Nahrungsversorgung der Milchproduzenten (Rinder); Düngung über den Bedarf hinaus (Entsorgungsproblem: Gülleanfall).



In einer von landwirtschaftlichen Produktionsmethoden dominierten Landschaft sind besondere Maßnahmen erforderlich, um die Nachhaltigkeit der Gewässerökosysteme zu sichern.



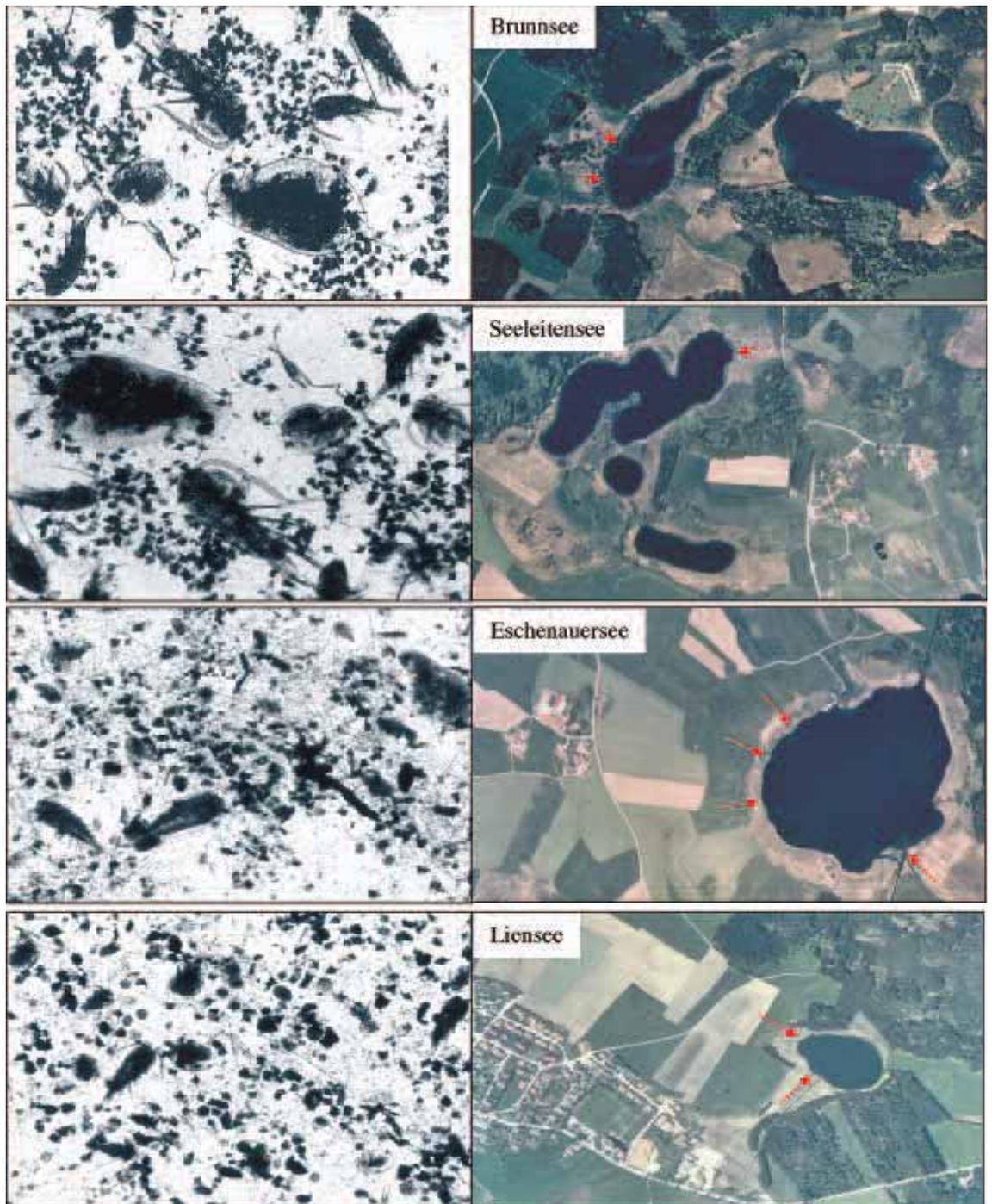
Große Artenvielfalt des Mikroplanktons in Seen ohne hohe Nährstoffbelastung (ungestörte Entwicklung von Lebensgemeinschaften).



Massenentfaltung einer oder einiger weniger Mikroalgenarten zu Lasten der Artenvielfalt als Folge hoher Nährstoffbelastung (gestörte Entwicklung von Lebensgemeinschaften zugunsten robuster Arten).

#### Abbildung 8

**Die Folgen landwirtschaftlicher Produktionsmethoden** zur Sicherung maximaler Erträge lassen sich nicht ohne weiteres auf die bewirtschafteten Flächen beschränken. Anteile von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln gelangen ohne besondere Vorkehrungen ungehindert in das Oberflächen- und Grundwasser. In Standgewässern bewirken sie im Prinzip unbeabsichtigt dasselbe wie auf den Äckern: Reduktion der Artenvielfalt zugunsten weniger Arten. Dieser Einfluss kann durch Pufferzonen erheblich herabgesetzt werden.



**Abbildung 9**

**Die Zusammensetzung des Planktons in Seen mit unterschiedlicher Nährstoffbelastung.** Im Brun- und Seeleitensee (NSG Seener Seen) dominieren bei geringen bis mäßigen Nährstoffzuflüssen effektive Phytoplanktonkonsumenten, vor allem Daphnia-Arten. Durch sie wird ein großer Anteil der Mikroalgen gefressen und damit in die Nahrungskette eingeschleust. Im Eschenauer- und Liensee, beide mit hoher Nährstoffbelastung, treten fädige Phytoplanktonalgen in den Vordergrund, die nicht gefressen werden können. Sie werden unter Sauerstoffzehrung bakteriell abgebaut. Alle Seen im Biotopverbundareal gehören zumindest zeitweise diesem Seetyp an. Die roten Pfeile geben die Richtung der Nährstoffströme an. Ihre unterschiedliche Größe wird durch die Länge der Pfeile angedeutet.

## 8. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Wählt man unter den Ergebnissen der zuvor behandelten Untersuchungen diejenigen aus, die für das Ziel: Entwicklung eines Biotopverbundes zwischen zwei Naturschutzgebieten von grundlegender Bedeutung sind, so kommt man zu folgenden Aussagen:

**8.1** Sowohl in den beiden Naturschutzgebieten als auch in der zwischen ihnen liegenden Landschaft gibt es zahlreiche in ihren Eigenschaften ähnliche Feuchtgebiete mit einer ähnlich großen Vielfalt von Pflanzen- und Tierarten. Damit ist die wichtigste Voraussetzung für einen Biotopverbund zur Verbin-

Nichtsingvögel	Singvögel	Singvögel
Haubentaucher	Feldsperling	Sumpfrohrsänger
Zwergtaucher	Hausperling	Gelbspötter
Kormoran	Kleiber	Mönchsgrasmücke
Höckerschwan	Zaunkönig	Gartengrasmücke
Stockente	Star	Klappergrasmücke
Krickente	Buchfink	Dorngrasmücke
Schnatterente	Bluthänfling	Zilpzalp
Kolbenente	Feldlerche	Fitis
Reihente	Rauchschwalbe	Waldlaubsänger
Tafelente	Mehlschwalbe	Sommergoldhähnchen
Habicht	Baumpieper	Wintergoldhähnchen
Sperber	Bachstelze	Grauschnäpper
Mäusebussard	Gebirgsstelze	Trauerschnäpper
Baumfalke	Heckenbaunelle	Schwanzmeise
Turmfalke	Rotkehlchen	Haubenmeise
Fasan	Braunkehlchen	Tannenmeise
Wasserralle	Hausrotschwanz	Sumpfmehse
Teichhuhn	Amsel	Weidenmeise
Blässhuhn	Wachholderdrossel	Kohlmeise
Kiebitz	Singdrossel	Blaumeise
Brachvogel	Misteldrossel	Neuntöter
Lachmöve	Feldschwirl	Rabenkrähe
Hohltaube	Drosselrohrsänger	Pirol
Türkentaube	Rohrschwirl	Dohle
Kuckuck	Wiesenpieper	Eichelhäher
Eisvogel	Stieglitz	Kernbeißer
Mauersegler	Elster	Karmingimpel
Schwarzspecht	Fichtenkreuzschnabel	Gimpel
Grünspecht	Waldbaumläufer	Erlenzeisig
Grauspecht	Gartenbaumläufer	Teichrohrsänger
Buntspecht	Rohrhammer	Grünling
Kleinspecht	Goldammer	
Graureiher		
Bekassine		

**Tabelle 10**  
Vogelarten im Zentralgebiet des Biotopverbundes

Artnamen	Gefährdungsgrad (RL Bayern)
Große Bartfledermaus ( <i>Myotis cf. mystacinus brandti</i> )	2
Wasserfledermaus ( <i>Myotis daubentoni</i> )	4R
Fransfledermaus ( <i>Myotis natterei</i> )	2
Zwergfledermaus ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> )	4R
Rauhautfledermaus ( <i>Pipistrellus nathusii</i> )	3R

**Tabelle 11**  
Fledermausarten im Biotopverbundgebiet und Umfeld

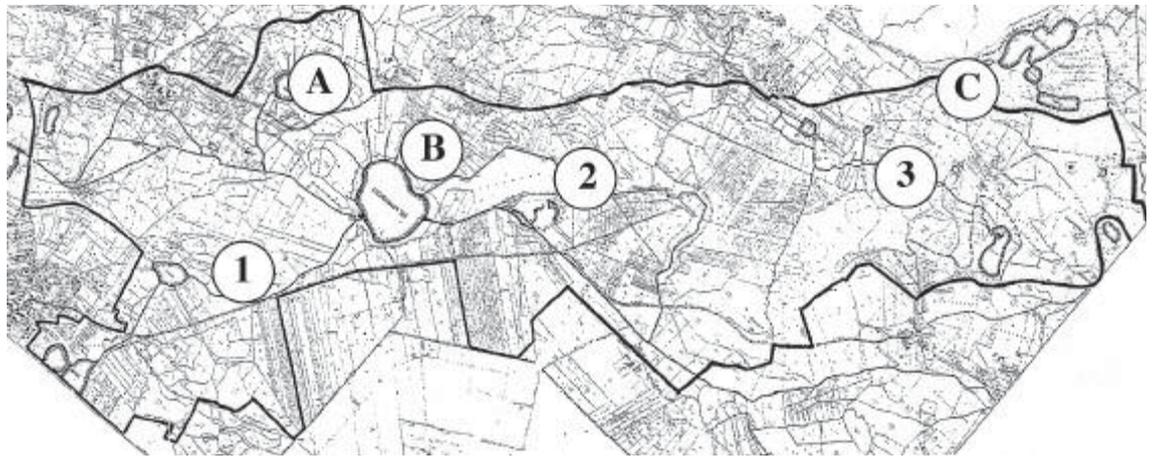
**Tabelle 12 (vgl. Abb. 11)**

**Insekten- und Spinnenkartierung auf bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Flächen**

Taxa	1	2	3	4	5	6	7
Schmetterlinge	10 - 9 - 2	5 - 2 - 2	2 - 1	6 - 3 - 4	3 - 1 -	7 - 6 - 1	3 - 1 -
Libellen	3 - 2 - 1	1 - 0 - 0	0 - 0	5 - 3 - 0	1 - 0 -	6 - 11 - 4	5 - 3 -
Heuschrecken	7 - 8 - 9	1 - 1 - 1	1 - 0	6 - 8 - 6	3 - 6 -	4 - 11 - 6	7 - 6 -
Spinnen	8 - 8 - 9	2 - 2 - 2	1 - 0	10 - 10 - 8	1 - 5 -	5 - 9 - 6	4 - 5 -
Σ / Tag	28 - 27 - 21	9 - 5 - 4	4 - 1	27 - 24 - 18	8 - 12 -	22 - 37 - 17	19 - 15 -
Mittelwert	25,3	6	5	23	10	25,3	36

Erläuterungen:

1: Streuwiese (Pfeifengraswiese, Verband: Molinion caeruleae) südlich des Seeleitensees (NSG), 2: Waldsaum an Wirtschaftswiese, 3: Wirtschaftswiese (Weidelgras-Fettwiese: Plantago major-Trifolium repens Gesellschaft) 4: Streuwiese (Pfeifengraswiese, Verband: Molinion caeruleae), 5: Hangwiese oberhalb Dümpflweiher, Rinderweide, 6: Streuwiese am Dümpfl, 7: Ischler Achen im Anschluss an Bebauung (östlich der Wöhrmühle). Die 3 Zahlen/Spalte beziehen sich auf 3 Kartierungen (Juli/August/September 1998). Auf den Flächen 3 und 4 fanden wegen ungünstiger Witterungsverhältnisse nur 2 Kartierungen statt.



**Abbildung 10**

**Die Zahl der Vogelarten ist in verschiedenen Arealen innerhalb des Biotopverbundes sehr unterschiedlich.** In den strukturarmen Arealen A, B und C wurden weniger als 6 Arten, in den strukturreichen Arealen 1, 2 und 3 über 38 Arten nachgewiesen. Besonders arm an Strukturen sind die ausgedehnten bewirtschafteten Flächen. Reich an Strukturen sind die Flächen, in welchen Kleingewässer, Baumgruppen und Sträucher vorkommen (vgl. Luftaufnahme Abb. 14).

derung der Naturschutzgebiete Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Seoner Seen über einen Biotopverbund erfüllt.

**8.2** Es lassen sich als zentrale Bereiche im wesentlichen längs der Fließgewässer 5 „Leitplanken“ festlegen, in welchen sich ökologisch besonders wertvolle Bereiche, wenn auch mit Unterbrechungen aneinanderreihen (Abb. 14). Sie erstrecken sich zwischen dem Hart- und Eschenauersee (L 1), vom Hofsee bis zum Eschenauersee (L 2), vom Ostufer des Eschenauersees bis zur Wende der Alten Ischler Achen nach Süden (L 3) und von diesem Bereich bis zum NSG Seoner Seen (L 4). Die Leitplanke L 5 verläuft längs des Moos- und Hammerschmiedbaches bis zum NSG um den Bansee.

**8.3** An der Makrophytenvegetation der Fließgewässer sind zahlreiche submerse und emerse Arten beteiligt. In schnellfließenden Abschnitten ist die submerse Vegetation dicht gedrängt. In diesen Bereichen, aber auch auf festem strukturreichen Untergrund ist die Artenvielfalt unter den aquatischen Insekten und Weichtieren groß, in den träge fließenden Bereichen mit schlammigem Untergrund ist sie gering.

**8.4** Die Konzentration von Nährstoffen ist in allen Fließgewässerabschnitten hoch. Eine besonders starke Beladung mit Nährstoffen erfolgt im Oberlauf der Ischler Achen und im mittleren Teil der „Alten Ischler Achen“ jeweils durch Zuflüsse und Sickerwasser aus nördlichen Richtungen. Aufgrund der chemischen Wasseranalysen dominiert die Gewässergüteklasse III, die vorläufigen Ergebnisse aus der Makrophytenkartierung sprechen für eine Zuordnung überwiegend in die Kategorie eutroph – polytroph.

**8.5** Die Standgewässer zeigen alle Eigenschaften, die von nährstoffreichen Gewässern bekannt sind. Sie entsprechen dem eutrophen bis polytrophen Seetypus. In den besonders stark mit Nährstoffen belasteten Gewässern werden hohe Algenbiomassen erreicht, an welchen immer nur wenige Algenarten beteiligt sind. Mit zunehmender Nährstoffbelastung rücken die Cladoceren und Copepoden hinsichtlich der Individuendichte nach den Rotatorien an die zweite Stelle. Die auffällig geringe Körpergröße von Copepoden und Cladoceren kommt wahrscheinlich durch Fraßdruck von Fischen (nicht von Wirbellosen!) zustande. Der Eschenauersee erreicht durch hohe Nährstoffimporte über die Ischler Achen und die Drainagegräben die höchste Algenbiomasse.

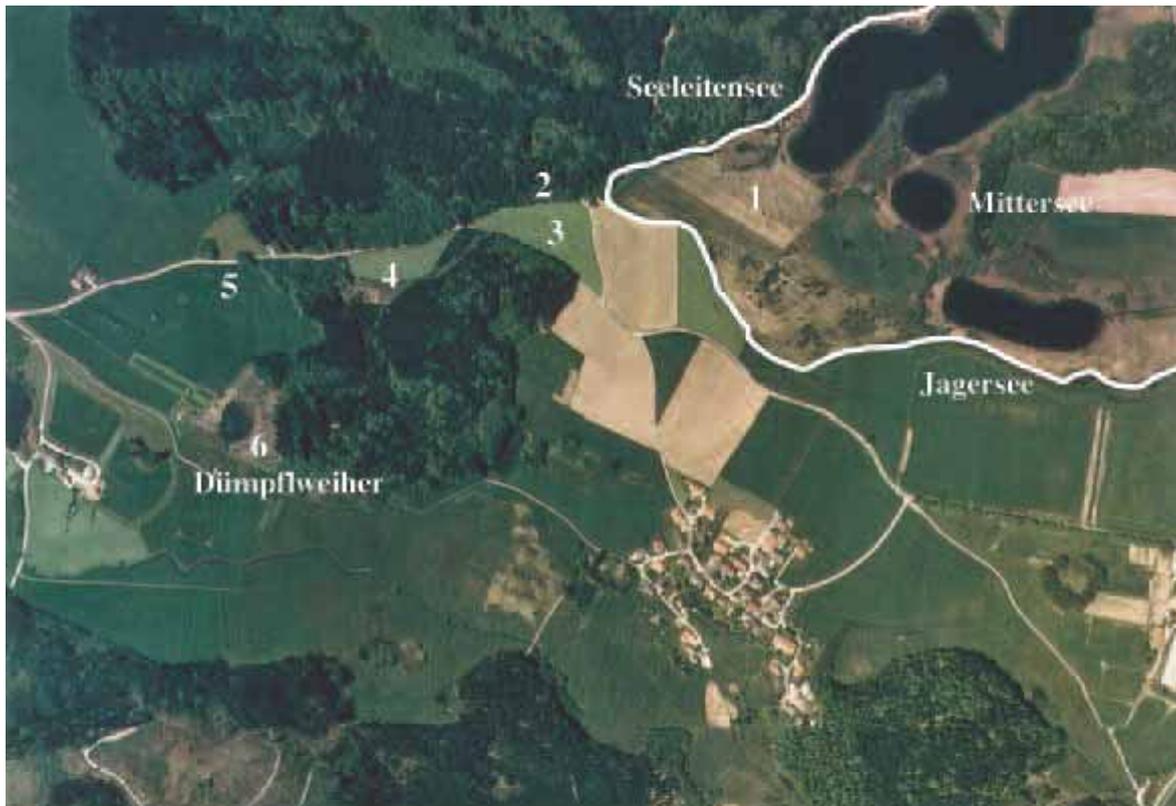
**8.6** Die artenreiche Vogelgesellschaft hält sich bevorzugt in reich strukturierten Gebieten auf. Offene Flächen ohne Strukturen werden von den meisten Arten nur gelegentlich überflogen.

**8.7** Jagende Fledermäuse verschiedener, ausnahmslos gefährdeter Arten werden auch in der Nähe von Seen und Fließgewässern beobachtet.

**8.8** Insekten und Spinnen sind auf nicht bewirtschafteten Flächen durch erheblich mehr Arten vertreten als auf bewirtschafteten Flächen. Auf Streuwiesen und in der ungestörten artenreichen Begleitflora von Fließgewässern ist die Zahl der Arten verhältnismäßig groß. An Waldsäumen mit Ökoton zeigt die relativ große Netzdichte, dass das Beutespektrum erheblich größer ist als an Waldsäumen ohne entsprechenden Übergangsbereich. (Abb. 12)

**9. Probleme**

**9.1** Infolge der sich überwiegend in Hanglage befindlichen Wirtschaftswiesen und Äcker und den von hier aus zu den Fließgewässern gerichteten Gräben, den Abfluss aus dem Laubensee und den Meishamerbach findet ein permanenter Nährstoffstrom in Richtung der Ischler Achen statt, der in den Eschenauersee geleitet wird. Weitere Nährstoffimporte



**Abbildung 11**

Oben: Anschluss des Biotopverbundareals (Feuchtwiesen beim Dümpflweiher und nordöstlich davon) an das NSG Seener Seen (Seeleitensee, nördlich von 1: Pfeifengraswiesen). Unten: Anschluss des Biotopverbundareals (Oberlauf der Ischler Achen, Wöhrmühle) an das NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte (Hartseeufer). Weiße Linie = NSG Grenzen. Kartierte Flächen 1-7, vgl. Tabelle 12.

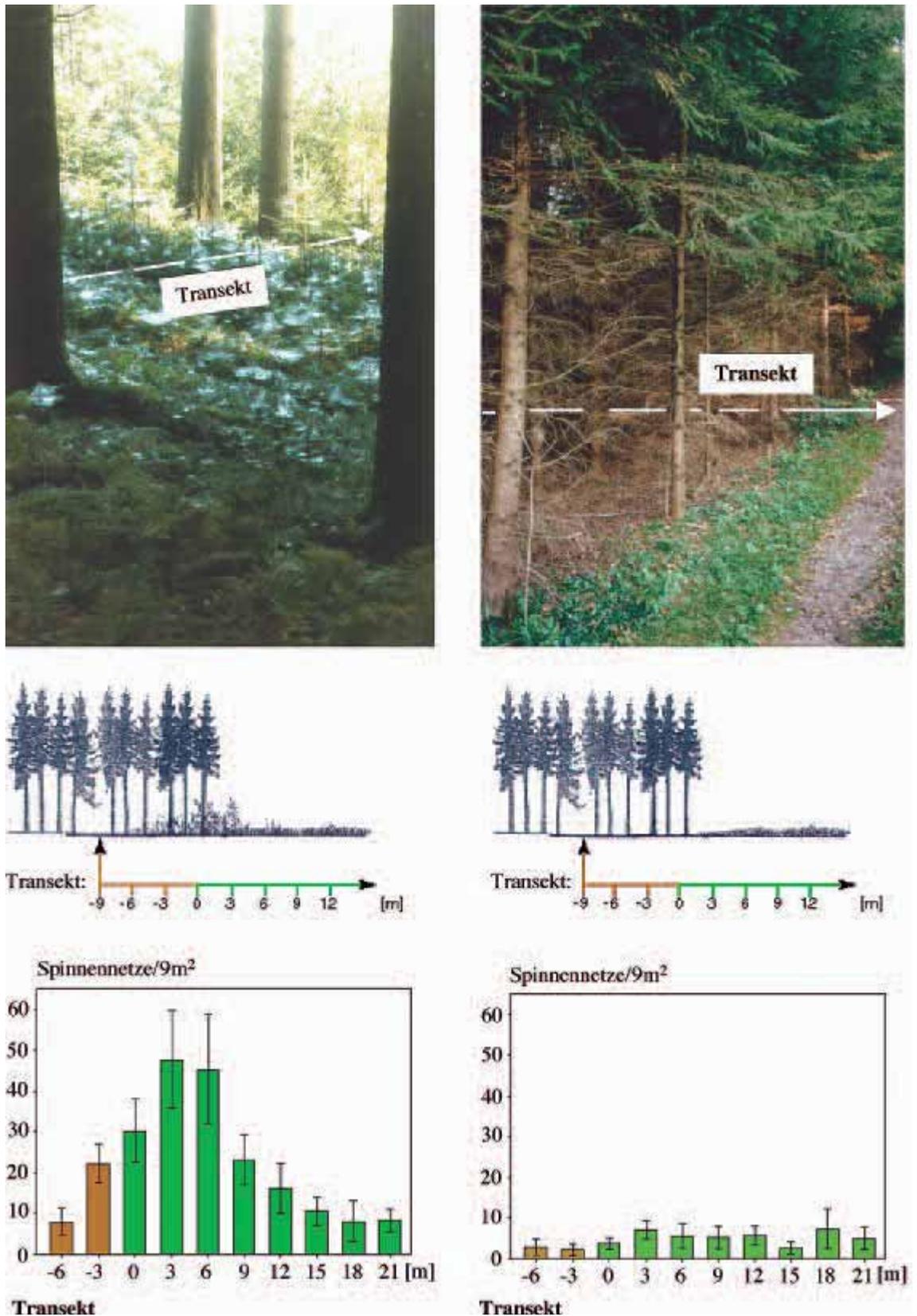


Abbildung 12

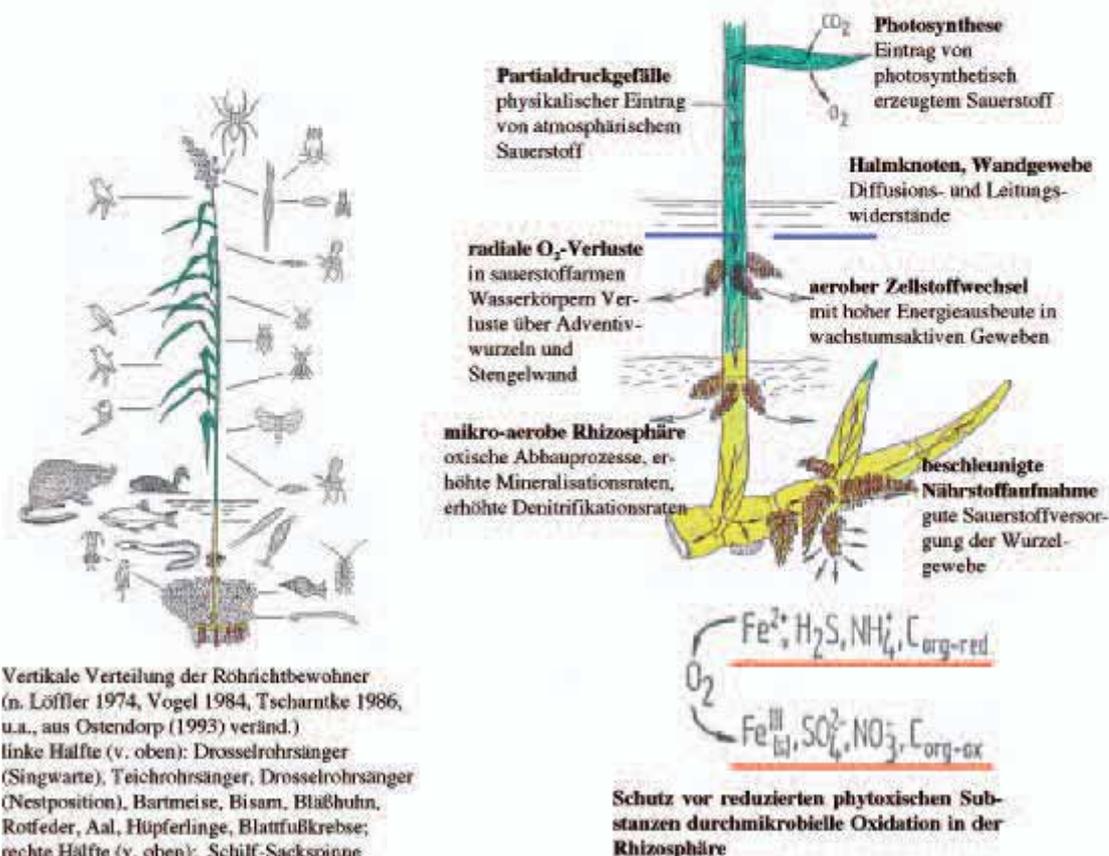
**Unterschiedlicher Übergang zwischen einem Wald und einer Wiese.**

Links: Der allmähliche Übergang durch Jungbäume, Sträucher und Kräuter in Richtung Wiese (Ökoton) bietet vielen Arten günstige Lebensbedingungen. Die hohe Netzdichte verschiedener Spinnenarten zeigt, dass die Beutedichte für die Ernährung vieler Spinnen ausreicht.

Rechts: Ein abrupter Übergang vom Wald zur Wiese bietet nur wenigen Arten günstige Lebensbedingungen. Die geringe Netzdichte zeigt, dass das Beuteangebot nur für wenige Spinnen ausreicht.



Schilfgürtel am Nordufer des Eschenauersees

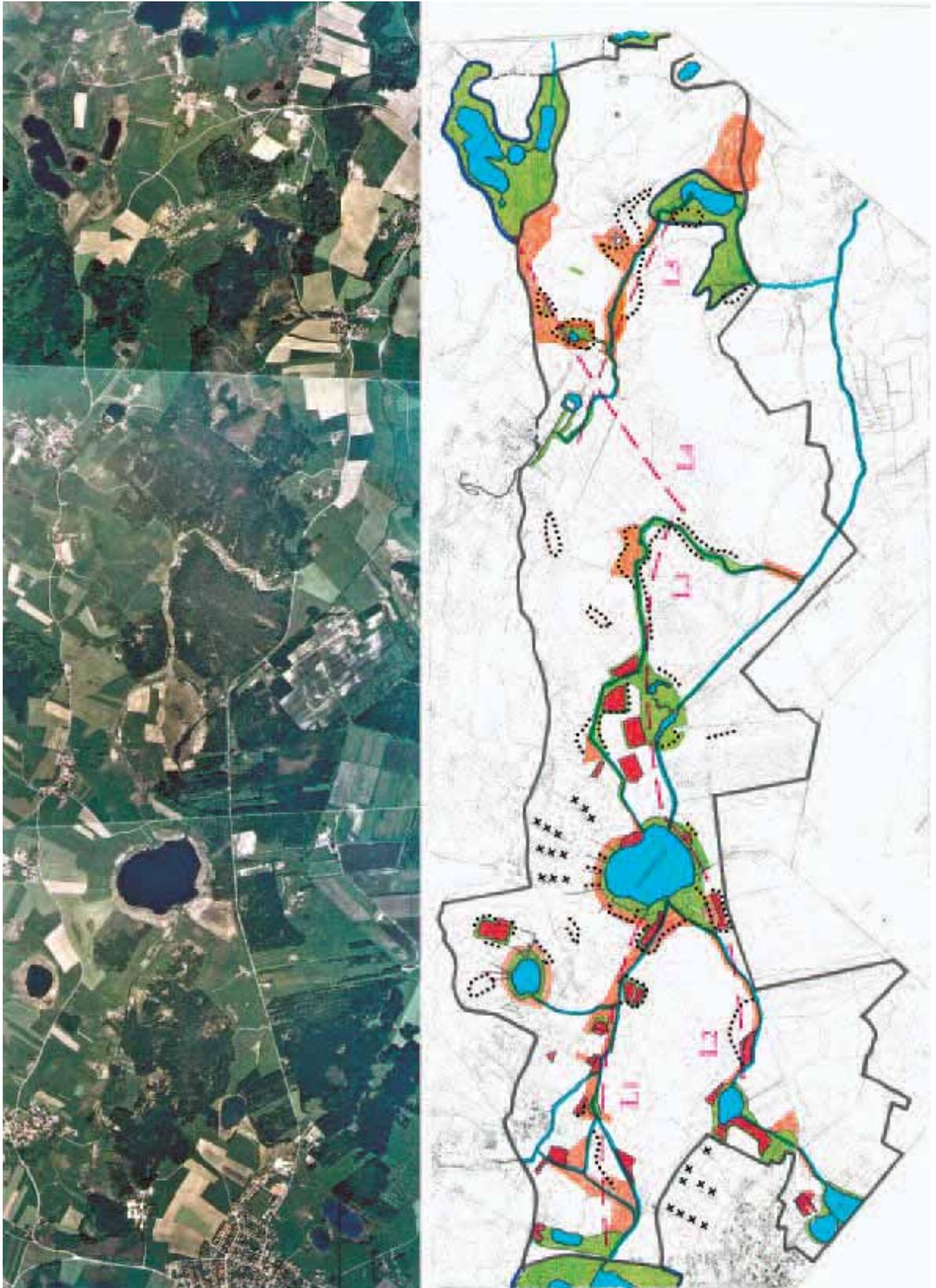


Vertikale Verteilung der Röhrichtbewohner (n. Löffler 1974, Vogel 1984, Tschamtk 1986, u.a., aus Ostendorf (1993) veränd.)  
linke Hälfte (v. oben): Drosselrohrsänger (Singwarte), Teichrohrsänger, Drosselrohrsänger (Nestposition), Bartmeise, Bisam, Bläßhuhn, Rotfeder, Aal, Hüpferlinge, Blattfußkrebse;  
rechte Hälfte (v. oben): Schilf-Sackspinne *Clubonia*, Schilf-Gallfliege *Lipara*, Schilf-Gallmücke *Giraudiella* (2. u. folgende Generationen), Mehlig Pflaumenblattlaus *Hyalopterus*, Zikaden, Laufkäfer *Demetrias*, Zweipunktschilfleule *Archana* (Raupe), Schilf-Gallmücke *Giraudiella* (1. Generation), sessile Kieselalgen und Grünalgen, Wasserschnecken, Wasserassel *Asellus aquaticus*, Zuckmücken-Larven

Aspekte des Sauerstofftransportes in der Schilfpflanze (aus Ostendorf, 1993, veränd.)

Abbildung 13

Der Schilfgürtel (*Phragmites australis*) besitzt Eigenschaften, die für die angrenzenden Gewässer von erheblicher Bedeutung sind: Er bindet Nährstoffe und er gibt auch unterirdisch, z.B. im Schlamm bzw. im Wasser Sauerstoff an seine Umgebung ab. Auf diese Weise entlastet er die Gewässer und fördert die Selbstreinigung durch Oxidation. Im Prinzip ist der Schilfgürtel eine gewachsene, sich kostenlos erhaltende natürliche Kläranlage, deren Vorteile viel zu wenig beachtet werden. Darüber hinaus bietet der Schilfgürtel zahlreichen Arten Unterschlupf und Lebensunterhalt.



**Abbildung 14**

**Oben: Luftaufnahme des Biotopverbundareals zwischen dem NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte (links) und dem NSG Seener Seen (rechts). Darunter das aus den Leitplanken L 1 – L 5 bestehende „Gerüst“ der besonders schützenswürdigen Biotope.**

Grenze des Kerngebietes: schwarze Linie; Leitplanken: rotviolett strichliert; Gewässer: blau; empfohlene Struktur-erweiterung durch lockere Bepflanzung mit Bäumen und/oder Sträuchern: grüne Kreuze; von naturnaher Pflanzengesellschaft besiedelbare Flächen: orange; von naturnaher Pflanzengesellschaft bereits besiedelte Flächen: grün; 13d- Flächen (angedeutete Positionen): punktiert.

erreichen den Eschenauersee durch mehrere Drainagegräben aus nördlichen Richtungen und durch den Abfluss des Liensees, welchem zuvor nährstoffreiches Wasser aus dem Katzen- bzw. Hofsee zugeleitet worden ist. Der Seeabfluss in die Alte Ischler Achen ist meist vernachlässigbar gering. Das aus nördlichen Richtungen eindringende Wasser (Sickerwasser und aus Drainagegräben herangeführt) bildet in seinem weiteren Verlauf einen Bach mit wachsender Wasserschüttung. Aufgrund der starken Veralgung und der immer dichter werdenden submersen Vegetation ist auch in diesem Abschnitt mit erheblichen Nährstoffimporten zu rechnen, die der Ischler Achen zugeleitet werden, vermutlich aber auch das Grundwasser in diesem Bereich belasten.

**9.2** Der andauernde Nährstoffzustrom in alle Standgewässer hat bereits zu erheblichen Beeinträchtigungen der Lebensgemeinschaften geführt, erkennbar an übermäßig hohen Algenbiomassen, an welchen einzelne Arten überproportional beteiligt sind und an dem Fehlen der effizienten Algenvertilger (Abb. 9). Das Nahrungsangebot an Algen wird daher nur wenig genutzt. Der überwiegende Anteil fällt daher dem bakteriellen Abbau anheim. Im Laufe der Zeit muss mit einer weiteren Verschlechterung der Wasserqualität gerechnet werden.

**9.3** Da die Strömungsrichtung des Grundwassers etwa von West nach Ost verläuft (Abb. 1) und diesem höchstwahrscheinlich aus den darüber liegenden Schichten und von den Oberflächengewässern nährstoffreiches Wasser durch Versickerung zugeleitet wird, ist nicht auszuschließen, dass neben organischen Substanzen und Nährsalzen u.a. auch der Nitratgehalt von West nach Ost zunimmt.

**9.4** Der einzig möglichen Verbindung zwischen dem NSG Seeoner Seen und dem nordöstlichen Ende des Biotopverbunds südwestlich des Seeleitensees und der einzig möglichen Verbindung zwischen dem *NSG Eggstätt-Hemhofer Seenplatte* und dem westlichen Ende des Biotopverbunds im Raum der Wöhrmühle stehen – zumindest bei Wirbellosen – mehrere gravierende Hemmnisse entgegen. Im Nordosten schaffen die Äcker und Wirtschaftswiesen innerhalb der schmalen Schneise, die für einen Artenaustausch besonders wichtig ist, Barrieren. Im Westen verläuft die Ischler Achen über einen Kanal durch die ehemalige Wöhrmühle, deren Umfeld noch alle Eigenschaften eines Gewerbegebietes besitzt.

**9.5** Südlich der Wöhrmühle und nördlich des Eschenauersees sind in den ausgedehnten Bereichen landwirtschaftlicher Nutzung im Verlaufe der Zeit im Gegensatz zu anderen Gebieten, wie z.B. nördlich des Schleinmooses, nahezu sämtliche kleinräumigen Strukturen (Bäume und Sträucher) entfernt worden („Ausräumung der Landschaft“). Der Übergang von Wäldern auf Wiesen und Ackerflächen erfolgt in den meisten Fällen ohne Ökoton. Diese Entwicklung fördert den Artenschwund. Aus einer Untersuchung von

37 je 5 ha großen Landwirtschaftsgebieten in England mit unterschiedlichen ökologischen Randbedingungen hat C.W. Arnold (Monk's Wood Experimental Station, Huntingdon) folgendes ermittelt: „Auf reinem Ackerland wurden nicht mehr als 5 Vogelarten gefunden. Wo es einen Graben gibt, steigt die Artenzahl auf durchschnittlich 7.5. In der Nähe von niederen Hecken findet man 12 Vogelarten, bei hohen Hecken bis zu 17 Arten, und wo kleine Waldstreifen oder lockere Baumbestände bestehen, leben im Durchschnitt 19 Vogelarten.... Meisen findet man nur, wo es hohe Hecken oder Bäume gibt, Grasmücken ausschließlich an Waldstreifen (New Scientist 101, Nr. 1402, 23, 1984)“ (Zitat aus Naturw. Rundschau, 38. Jahrgang, Heft 1, 1985). Daraus folgt, dass die Vielfalt an Vogelarten durch sehr einfache, die Landwirtschaft nicht wesentlich beeinträchtigende Maßnahmen erheblich gefördert werden könnte! Aus ornithologischen Untersuchungen im niederbayerischen Inntal ergibt sich, dass etwa 2/3 der Artenrückgänge auf die Landwirtschaft zurückzuführen sind (REICHHOLF 2000) wobei als Ursachen die radikale Ausräumung der Landschaft und die hohe Belastung mit Nährstoffen an vorderster Stelle stehen. Es ist daher kein Wunder, dass die Artenvielfalt in Siedlungsgebieten, an der Peripherie von Großstädten bzw. inmitten von Großstädten mit ausgedehnten Parkanlagen jene in landwirtschaftlich genutzten Gebieten überall dort übertrifft, wo die einstige strukturelle Vielfalt der Kulturlandschaft verschwunden ist (SUKOPP et al. 1978, 1980, 1981).

**9.6** An mehreren Abschnitten der Fließgewässer, wie z.B. der Ischler Achen, des Fehlbaches, des Ausflusses vom Liensee und des Ausflusses vom Hofsee unterdrückt ein bis zum Wasserlauf reichender Wald (stellenweise sogar Fichtenmonokultur!) das Aufkommen der Ufervegetation.

**9.7** An mehreren Abschnitten der Fließgewässer, wie z.B. der Ischler Achen, des Fehlbaches, des Ausflusses vom Liensee, des Ausflusses vom Hofsee, der Alten Ischler Achen und des Hammerschmiedbaches reichen die Wirtschaftswiesen bis unmittelbar zum Wasserlauf und verhindern auch dort das Aufkommen einer typischen Ufervegetation, durch welche eine erhebliche Pufferwirkung gegenüber den bewirtschafteten Flächen zustande kommen würde.

## **10. Empfehlungen unter dem Aspekt von Nachhaltigkeit und Förderung der Artenvielfalt**

**10.1** Das Prinzip **Nachhaltigkeit** ist hinsichtlich der Standgewässer und sehr wahrscheinlich auch hinsichtlich der Qualität des Grundwassers nicht erfüllt. Es gibt – neben einer kritischen Überprüfung der Düngemethoden – mehrere Gegenmaßnahmen, die auf eine Reduktion des nährstoffreichen Zuflusses in die Stand- und Fließgewässer zielen (vgl. FRIEDRICH 2000):

1. Verbreiterung des an Land bestehenden Schilfgürtels (kostenlose „Schilfkläranlage“) um die Seen zumindest überall dort, wo Nährstoffimporte in Hanglage über Sickerwasser und Drainagegräben dem Standgewässer direkt zufließen. In Abb. 13 wird auf die Funktionen der Schilfpflanzen (*Phragmites australis*) hingewiesen, deren Bestandsvermehrung sich in mehrfacher Hinsicht positiv für die Umgebung und den See auswirken würde.

2. Vermeidung aller direkten Verbindungen zwischen Drainagegräben und Standgewässer. Stattdessen Mündung der Drainagegräben in einen Ringgraben an der Peripherie des Schilfgürtels oder Aufteilung in mehrere divergierende Teilgräben, die im Schilfgebiet enden.

3. Verbreiterung der Flächen um ca. 3 m für die Entwicklung einer Ufervegetation beiderseits der Fließgewässer: Ischler Achen, Fehlbach, Hofsee-, Liensee-, Laubenseeabfluss und Hammerschmiedbach (vgl. CORNELSEN et al. 1993).

**10.2** Die gegenwärtig noch bestehende **Artenvielfalt** ist keinesfalls gesichert. Eine weitere Reduktion kann durch folgende Maßnahmen vermindert werden:

1. Durch die Maßnahmen 1-3, die zur Rückführung der Gewässerbelastungen genannt worden sind (vgl. 10.1).

2. Durch Vermehrung der kleinräumlichen Strukturvielfalt auf den landwirtschaftlich genutzten Feldern im Bereich nördlich des Eschenauersees und südlich der Wöhrmühle, sowie beiderseits der Fließgewässer und der größeren wasserführenden Gräben.

3. Durch Entfernen möglichst vieler „Störquellen“ im Bereich der Wöhrmühle (Abb. 11) und Renaturierung der hier verlaufenden Ischler Achen und des Fehlbaches.

4. Erhöhung der Wasserschüttung im Fehlbach durch ca. 1/5 der Wassermenge der Ischler Achen

5. Anlage von fischfreien Tümpeln zum Ablachen von Amphibien (Frösche, Kröten, Unken) mit auch während der Sommermonate gesicherter Wasserfüllung im Nahbereich des Fehlbaches unter Ausnutzung der Ableitung aus dem Meishamerbach.

6. Entfernung geschlossener Fichtenbestände am Ufersaum von Fließgewässern und Tolerierung der Besiedelung durch die typische Ufervegetation. Ersatz durch andernorts vorhandene naturnahe Ufervegetation.

7. Auflockerung der geschlossenen Baum- und Strauchbepflanzung am Ufersaum von Fließgewässern zur Sicherung eines hinreichenden Lichtangebots für die submerse und emerse Vegetation. Ziel: Förderung der Selbstreinigung u. a. durch Förderung der submersen Vegetation.

8. Mäandrierung von Fließgewässern, wo der Verlust an landwirtschaftlich nutzbaren Böden möglichst klein gehalten werden kann, z.B. Abfluss Hofsee bis Straße, Laubenseeabfluss bis Mündung in Ischler Achen, Oberlauf der Ischler Achen im

Wöhrbereich, Hammerschmiedbach, Unterlauf der „Alten Ischler Achen“ bis zur Mündung in die Ischler Achen.

9. Förderung der Verbindung zwischen Biotopverbund und den Streuwiesen südlich des Seeleitensees durch Aufgabe der Bewirtschaftung auf beiden Seiten der Straße.

10. Beibehaltung der bisherigen Förderung spezieller Vertreter von Flora und Fauna im Rahmen der staatlichen Förderprogramme.

11. Mindestens 2 x 2 m breite Randstreifen auf Wiesenflächen sollten von der Düngung und der jährlich häufigen Mahd ausgeklammert werden. Spezielles Ziel: Förderung der Blütenpflanzen und damit zugleich Förderung der farbensehenden Blütenbesucher (Insekten, darunter Bienen!). Die mehrmalige Mahd/Jahr und die ebenfalls mehrmalige Gülledüngung werden nur von wenigen Kräutern toleriert (Abb. 4, Einleitung in das Symposium).

12. Die vorhandenen Fichten-Monokulturen sollten durch Mischwälder ersetzt werden, vor allem dort, wo sie beiderseits von Bächen angepflanzt worden sind (z. B. Fehlbach).

13. Anstelle des abrupten Übergangs von Waldgebieten in benachbarte unbewaldete Areale (Wiesen, Äcker) sollte ein gleitender Übergang (Ökoton) geschaffen werden (Abb. 13). Erhaltung der vorhandenen bzw. Neuanlage kleinräumiger Strukturen (Sträucher, Bäume) in den völlig „ausgeräumten“ Gebieten, denn es ist erwiesen, dass diese Eigenschaften der Landschaft für die Artenvielfalt von besonderer Bedeutung sind.

## 12. Öffentlichkeitsarbeit

Was im Einzelgespräch mit Betroffenen an konstruktiver Bereitschaft oft erlebt wird, kann durch Interessenverbände aus strategischen Gründen im Streit mit anderen Verbänden leicht wieder zunichte gemacht werden. Mit dieser „Lagerhaltung“ kann die Umsetzung lokaler Aufgabenstellungen, die sich aus den Beschlüssen der Konferenz von Rio ergeben, verzögert, wenn nicht sogar verhindert werden. Beides geschieht zum Nachteil der folgenden Generationen, weil längst bekannt ist, wohin das „Weiter so“ in spätestens 1-2 Generationen führen wird.

Erfreulicherweise gibt es aber viele Indizien, die für ein beginnendes Umdenken sprechen, welches, soweit es die Bundesrepublik Deutschland betrifft, vor allem durch zwei Ereignisse beschleunigt wird: 1: durch die Position des Naturschutzes als Teil des Umweltschutzes wie sie im Artikel 20a des Grundgesetzes der BRD und damit im Range eines Staatsziels zum Ausdruck kommt und 2. durch die auf der Konferenz von Rio de Janeiro erstmals klar formulierten, übergeordneten Ziele des Umweltschutzes: die „nachhaltige Entwicklung“ und die „Erhaltung der biologischen Vielfalt“ – und den gewissermaßen

sogleich mitgelieferten Maßnahmenkatalog, die Agenda 21.

Die Arbeitskreise, die sich auf der Grundlage der Agenda 21 überall in Stadt und Land gebildet haben, sind ein Erfolg versprechendes Instrumentarium, um interessierte Bürgerinnen und Bürger an der Bewältigung der großen globalen Herausforderungen durch Mitarbeit in ihrem lokalen Umfeld zu beteiligen. Man darf annehmen, dass die höchst informativen und allgemeinverständlichen Publikationen, wie das „Arten- und Biotopschutzprogramm“ (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN StMLU 1988), das „Arten- und Biotopschutzprogramm – Anwendungsmöglichkeiten“ (StMLU 1997), die „Biotopkartierung in Bayern“ (BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1997), „Agenda 21 – Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung“ (StMLU 1998), „Umweltschutz und Landesentwicklung in Bayern“ (StMLU 1998) u. a. eine weit über den bisherigen Verteiler hinausgehende Verbreitung mit weiterer Multiplikatorwirkung erfahren werden. Die Möglichkeiten, die das Internet heutzutage den Informationshungrigen zusätzlich bieten, dürften ihre Wirkung bei allen Interessierten nicht verfehlen.

Informationsbedarf ist jedenfalls weit verbreitet, gerade auch bei den Landwirten. Das wird deutlich, wenn sie den Ökologen und Limnologen in der Landschaft bei der Arbeit begegnen. Diese Erfahrung hat uns veranlasst, im Rahmen der Möglichkeiten und meist in Kooperation mit der Unteren Naturschutzbehörde der Landratsämter Rosenheim und Traunstein auch Öffentlichkeitsarbeit zu leisten: An der Limnologischen Forschungsstation Seon informiert ein Schaukasten über die wichtigsten Ziele und Arbeiten im Biotopverbundgebiet. Lichtbildervorträge wurden auf Seminarveranstaltungen, z. B. der Hanns-Seidel-Stiftung und der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) geboten. Auf Exkursionen, z. B. mit der Lehrerschaft des Ludwig-Thoma-Gymnasiums in Prien konnte man sich vor Ort über die Probleme und Aufgaben informieren. Im Jahre 1998 fand mit Unterstützung des Landratsamts Rosenheim in Schloß Hartmannsberg eine zweiwöchige Ausstellung zum Thema „Natur als Kulturaufgabe“ statt. Das Thema „Faszination Vielfalt und ihre Gefährdung“ wurde im Rahmen der Bayern-TourNatur am 20. und 21. Mai 2001 bei Schloß Hartmannsberg und bei der Wöhrmühle/Eggstätt in einer Ausstellung behandelt.

Nach den bisherigen Erfahrungen zählt auch diese Öffentlichkeitsarbeit zu den wichtigen Schritten auf dem Weg zu einem Biotopverbund. Die Mehrzahl der aus den genannten und aus anderen Anlässen erstellten Abbildungen (Nr. 1-4 in der Einleitung dieses Symposiums, Nr. 1-4, 7-8, 9,11-12 und 13 in diesem Beitrag) werden als Beispiel für das Bemühen um eine allgemeinverständliche Darstellung auch in dieser Publikation präsentiert.

### 13. Schlussbetrachtung

Wir leben in einer Phase der Evolution des Menschen, die als „Ausverkauf der Natur“ bezeichnet werden könnte, wenn man ausschließlich den Rückgang der vom Menschen bisher weitgehend unbeeinflussten Ökosysteme in Betracht ziehen würde. Dieser Prozess ist aber nur ein Teil des Gesamtproblems, der gegenwärtig vor allem in den Entwicklungsländern (z.B. durch das Abholzen und Abbrennen der Tropenwälder) abläuft.

In den durch hoch entwickelte Landwirtschaft und moderne Industrien dichtbesiedelten Staaten ist die „Natur“ nicht immer so spektakulär wie gegenwärtig in den Tropen vernichtet, sondern vergleichsweise schleichend und vornehmlich den Fortschritten in der Landwirtschaft folgend umgewandelt worden. In diesem Prozess der landwirtschaftlichen Expansion ist aus der wilden Naturlandschaft in weiten Teilen eine Kulturlandschaft entstanden.

Die Kulturlandschaft vermittelte über viele Jahrzehnte hinweg das Bild eines harmonischen Lebens in der vom Menschen zu Sicherung seiner Ernährung und zu seinem Wohlbefinden umgestalteten Landschaft mit weitreichenden Folgen für das im christlichen Glauben verwurzelte kulturelle Leben, welches auch die Städte in starkem Maße beeinflusst hat (KROHER 1976).

Aber schon längst sind die Städte durch die Konzentration der Wirtschaft in ihren Zentren auf dem Weg zu Megastädten, in welchen in den Industrieländern bereits über 80% der Bevölkerung leben (TOCHTERMANN 1991). Sie haben eine eigene Kultur entwickelt, die mit immer neuen Ideen auf allen Gebieten auf sich aufmerksam macht und sich ebenso schnell verändert wie das wirtschaftliche Stadtleben Umstrukturierungen unterworfen ist. An diesem Prozess sind die zunehmende Weltoffenheit, die Internationalisierung, der Einfluss fremder Kulturen und der Einstieg in die Informationsgesellschaft beteiligt. Seine ursprüngliche Beziehung zur Natur und zum „Land“ mit seinen vergleichsweise konservativen Bewohnern hat der „Durchschnittsstädter“ zusammen mit seinem Naturverständnis aber schon längst verloren.

Aber trotz der von den Städten wegen ihres überwältigenden Angebots für nahezu alle Bedürfnisse des Lebens ausgehenden Attraktion und der Faszination, die eine multikulturelle Gesellschaft bieten kann, hat das „Land“ seinen besonderen Reiz nie verloren, womit der Städter vor allem die Vorstellung auf ein gesünderes Leben in einer schönen Landschaft verbindet.

Mit der Verdichtung des Straßennetzes über das gesamte Land und der Zunahme öffentlicher Verkehrsmittel nutzen immer mehr Menschen die Möglichkeit, ihre Wohnung in den peripheren Teil der Städte zu verlegen, um die dort herrschenden, für die Gesundheit günstigeren Bedingungen zu nutzen, ohne die vielfältigen Vorteile aufzugeben, die das Leben in

der Stadt bietet, die man mit geringem Zeitaufwand zur Arbeit oder zum Einkaufen erreichen kann. Hohe Immobilienpreise in den Städten verstärken diesen Trend, in dessen Sog in zunehmendem Maße auch Industrie, Gewerbe und Dienstleistungsunternehmen geraten sind.

Durch diese Entwicklung verwischt der Stadt-Land-Kontrast zugunsten eines Stadt-Land-Kontinuums mit allen seinen Konsequenzen.

Unabhängig von dieser Entwicklung, die zu einer zunehmenden Verstädterung des Landes führt, haben sich die Produktionsmethoden in der Landwirtschaft im Zuge der technischen Entwicklung so stark verändert, dass ihre Vorteile (Produktionssteigerung und Arbeitserleichterung) nur durch die sogenannte Flurbereinigung voll zum Tragen kommen konnten. Von nun an wurde aus der Kulturlandschaft in weiten Teilen eine Agrarlandschaft, die unvermeidbar zu Lasten der Vielfalt ging, die zu den herausragenden Kennzeichen der ehemaligen Kulturlandschaft gehört.

Was wir heute erleben, ist somit nicht mehr nur der „Ausverkauf der Naturlandschaft“, sondern der „Ausverkauf der Kulturlandschaft“ und mit ihr der „Ausverkauf der Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten“ mit all ihren Nachteilen, die in diesem Symposionsbericht zur Sprache gekommen sind.

Hand in Hand mit diesem „Ausverkauf“ verläuft die zunehmende Verstädterung. Sie führt in auffälliger Weise zu einer Vereinheitlichung des Erscheinungsbildes unserer Landschaft mitsamt ihren Siedlungen, Dörfern und Gemeinden.

Fast überall, wo früher unter dem Eindruck der Schönheiten der Landschaft Schlösser, Kirchen und Kapellen entstanden sind, wo sich vielleicht sogar Maler niedergelassen haben, um ihre Eindrücke in Bildern festzuhalten oder sich inspirieren zu lassen, wo Erholungssuchende sich an beidem ergötzen können, nämlich an der Schönheit der Landschaft und der unter ihrem Einfluss entstandenen Kunstwerke, wo es genug Platz gibt für sportliche Aktivitäten aller Art, wo Gewässer und Gebirge locken und dennoch über allem eine Ruhe liegt, die man in Städten kaum finden kann, dort haben die Verantwortlichen meist nur die Sorge, wie man durch Massentourismus die Kassen füllen und Konkurrenz vom Nachbarort vermeiden kann.

Dennoch: Es gibt keine Rückkehr zur Naturlandschaft und es gibt keine Rückkehr zur alten Kulturlandschaft, und es wird auch nicht möglich sein, sie dort, wo es sie heute noch gibt, auf alle Zeiten zu erhalten. Ebenso wie die ehemalige Kulturlandschaft auf das engste mit dem damaligen strukturellen Aufbau der Gesellschaft und ihren Entwicklungsprozessen verknüpft war, so wird es auch in Zukunft bleiben, denn alle diese Eigenschaften sind fortlaufenden Veränderungen unterworfen, seit etwa 2 Jahrzehnten schneller und durchgreifender als jemals zuvor.

Etwas ganz Neues in der künftigen Entwicklung ist durch die Ergebnisse der Konferenz von Rio deutlich geworden: Die Gefährdung der lebensfreundlichen Umwelt! An dieser Erkenntnis führt kein Weg vorbei. Jede Einzelmaßnahme in der Landschaft muss in der Summe aller weiteren Vorhaben geprüft werden, ob und wie sie mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung unserer Lebensbedingungen zu vereinbaren ist d.h. auch den folgenden Generationen die Bewahrung einer „lebenswerten“ Umwelt (RUPPERT 1976) nicht einschränkt.

Diese Aufgabe ist eine öffentliche Aufgabe. Sie stellt eine gewaltige Herausforderung dar, die mit der Lagerhaltung der diversen Interessenverbände grundsätzlich nicht bewältigt werden kann. Sie überfordert aber auch die Landbesitzer, Firmen und Kommunalverwaltungen. So bleibt nur ein Weg: die Stärkung der Einflussnahme durch den Staat und die Europäische Union. Der eingangs dieses Beitrages (Kapitel 1) erwähnte Flächenverbrauch in Bayern und die Reaktion des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen auf diese verhängnisvolle Entwicklung sind die Konsequenz aus der Überforderung der untergeordneten Organisationsstrukturen.

Im „lokalen Handeln“ zur Sicherung einer „nachhaltigen Entwicklung“ steht die Landwirtschaft vor einer ganz besonders großen Herausforderung. Zunächst ist festzuhalten, dass jeder Landwirt, der aufhört, sein Land in irgendeiner Weise zu bestellen, eine Entwicklung fördert, die zur zersiedelten, verwilderten oder zur ausgeräumten, mit para-industriellen Methoden bewirtschafteten Agrarlandschaft führt (MAYER-TASCH 1976). Aus der arten- und konturenreichen Kulturlandschaft herkömmlicher Prägung entsteht dann ein Zivilisationsgelände mit allen Konsequenzen für die Grundeinstellung der dort lebenden Menschen.

Ökologen gehen – wie die einzelnen Beiträge dieses Symposions zeigen – davon aus, dass die Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung lebenswerter Bedingungen ohne die Erhaltung einer Grunderscheinung des Lebens: der Biodiversität, nicht möglich ist. Auch dieser Aspekt unterstreicht die besondere Bedeutung der Landwirtschaft, noch deutlicher formuliert: ihre besondere Verantwortung für die Erhaltung der Vielfalt und dies zu einem Zeitpunkt, in dem es unzweifelhaft feststeht, dass der Artenrückgang vor allem auf die Landwirtschaft zurückzuführen ist – insbesondere seitdem Kulturlandschaft in Agrarlandschaft verwandelt wird.

Die in langer Generationenfolge erbrachten Leistungen der Landwirte, ihrer Familienangehörigen und Angestellten für die Schaffung, Gestaltung und Erhaltung der Kulturlandschaft können von niemandem bestritten werden. Der dramatische Artenrückgang hat sich nicht als Folge beruflichen Unvermögens in der gegenwärtigen Bauergeneration entwickelt. Er ist vielmehr Folge der zivilisatorischen Veränderun-

gen, insbesondere der wirtschaftlichen Strukturveränderungen. Das schließt aber nicht aus, dass in der gegenwärtigen Landwirtschaft ein personelles Potential enthalten ist, mit dessen Hilfe dieser Entwicklung auch wieder Einhalt geboten werden kann. Es ist leider kaum zu erwarten, dass dieses Potential durch die Interessenverbände der Landwirtschaft geweckt werden kann, da in diesen – wie in allen Interessenverbänden – das Bewahren des Vorhandenen und das Verteidigen gegenüber anderen Interessen so sehr im Vordergrund stehen, dass kritisches Hinterfragen der eigenen Position als lästig empfunden und verdrängt wird.

Das Potential des Einzelnen wird hingegen viel schneller zu erwecken sein. Für diese Möglichkeit sprechen die Qualitäten, die nach wie vor bei vielen Landwirten anzutreffen sind. „Die Liebe zum Land und zur Natur, der Sinn für landschaftliche Schönheit und Vielgestaltigkeit, Beharrlichkeit und Ausdauer, Fleiß und Leistungsbereitschaft“ (LAUFER 1976) stärken die Hoffnung, dass viele von ihnen die Chance erkennen, die sich aus den erweiterten Aufgaben zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung der Landschaft ergeben.

Mit der Aufforderung zum „lokalen Handeln“ werden die Landwirte mehr als jeder andere Berufszweig angesprochen. Das zeigen auch die Ergebnisse der Untersuchungen, die durch das Bayerische Arten- und Biotopschutzprogramm vorliegen. Diese haben zu den wiederholt genannten, staatlich geförderten Maßnahmen geführt.

Auf diesen aufbauend und sie gewissermaßen ergänzend haben die geschilderten „wissenschaftlichen Begleituntersuchungen“ zu Ergebnissen geführt, die nun abschließend und von allen Einzelheiten befreit **1)** unter dem Aspekt der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung, **2)** der Verbesserung der Bedingungen zur Erhaltung einer möglichst großen Zahl von Pflanzen- und Tierarten und **3)** zur Erweiterung des beruflichen Aufgabenbereiches der Landwirte abschließend aufgeführt werden:

1. Aspekt: a) Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Trinkwasserversorgung aus dem Grundwasser östlich des Untersuchungsgebietes: Reduktion der Nährstoffströme aus den bewirtschafteten Flächen in die Oberflächengewässer und Förderung der Selbstreinigung in den Fließgewässern, b) Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Standgewässer durch Vegetationspuffer vornehmlich unter Ausnutzung des „Kläranlagen-Effekts“ der Schilfgürtel.
2. Aspekt: Schutz der Biodiversität durch Arten- und Biotopschutz durch die Entwicklung eines aus 5 „Leitplanken“ bestehenden Gerüsts, in welchem die Fließgewässer die Achsen bilden, die beiderseits von durchgehender naturnaher Vegetation gegenüber den bewirtschafteten Flächen geschützt werden. Erhaltung bzw. Neuanlage kleinräumiger Strukturen, die in lockerer Verbindung zu Biotopen stehen, welche durch staatliche Förderprogramme gepflegt werden und/oder als 13d-Flächen ausge-

wiesen sind bzw. weiter außerhalb der „Leitplanken“ liegen.

3. Aspekt: Entwicklung eines Konzepts für das gesamte Gebiet nach den Kriterien: a) perfekter Schutz (keine Eingriffe, Selbstüberlassung), b) Schutz durch Pflege mit Hilfe staatlicher Fördermaßnahmen, c) Schutz vor den Folgen landwirtschaftlicher Nutzung im Übergangsbereich zu den bewirtschafteten Flächen, d) Nutzung. Zuweisung der speziellen Aufgaben für die Landwirtschaft, die sich aus diesem Konzept ergeben. Einrichtung geeigneter Kontrollflächen, anhand derer die Landwirte die Folgen ihres Handelns selbst testen können und Aufbau einer Informationsstation, in welcher sich die Allgemeinheit über den umfassenden Aufgabenbereich der Landwirte informieren können.

### Dank

Mein ganz besonderer Dank gilt der *Andreas-Stihl-Stiftung* (Waiblingen). Nur durch ihre Unterstützung war es möglich, eine *ARGE Biotopverbund* einzurichten und die „Wissenschaftlichen Begleituntersuchungen“ zu finanzieren.

Ich danke den bisherigen Projektleiterinnen der Unteren Naturschutzbehörden des Landratsamts Rosenheim und des Landratsamts Traunstein, Frau Dipl. Ing. FH I. Dahlhof und Frau Dipl. Ing. FH I. Schniepp, ihrem Nachfolger, Herrn Dipl. Ing. FH St. Radlmair, und dessen Nachfolgerin Eur.ProBiol V. Feichtinger für die stetige und konstruktive Zusammenarbeit.

Für wertvolle Informationen und Hinweise danke ich Herrn Dr. Jens Sachteleben vom BayLfU und Herrn Dipl. Biol. Roland Weid von der Oberen Naturschutzbehörde der Regierung von Oberbayern sowie Tech. Amtsfrau Margaret Böhm, Herrn VAR Gerhard Haußmann von der Unteren Naturschutzbehörde des Landratsamts Rosenheim und Herrn Dipl. Biol. Helmut Luding vom BayLfU.

Herrn Landrat Dr. Max Gimple, Landratsamt Rosenheim, und Herrn Landrat Jakob Strobl, Landratsamt Traunstein, sowie den Herren Bürgermeistern Stefan Beer, Eggstätt, und Konrad Glück, Seeon-Seebruck, gilt mein besonderer Dank für ihr stetes Interesse am Fortgang der Untersuchungen und für ihre Unterstützung bei öffentlichen Informationsveranstaltungen, z. B. aus Anlass der BayernTourNatur am 20. Mai 2001.

Herrn Fachwirt für Naturschutz und Landschaftspflege Augustin Pfaffenberger danke ich für seine Informationen über die zahlreichen Aktivitäten der Landwirte im Rahmen der laufenden Naturschutzmaßnahmen und über die wirtschaftlichen Probleme der Landwirte.

Den Herren Rudolf Gum (Seeon) und Josef Moser (Eggstätt) verdanken wir die Angaben zu den Fischarten in den Seen der Naturschutzgebiete und im Gebiet des Biotopverbundes.

Herrn cand. rer. nat. Dipl. Biol. Thomas Kunz danke ich für seine Einsatzfreude bei allen Herausforderun-

gen im Freien und am PC und Herrn Dipl. Biol. Manfred Colling für seine Hilfe bei der BayernTour-Natur.

Meine ehemaligen Mitarbeiter aus der Limnologischen Forschungsstation Seeon, Herr Willibald Brosch, Seeon, und Herr Achim Weigert, Rimsting, halfen in dankenswerter Weise bei den Probenahmen in Fließgewässern und Seen. Sie erinnerten mich an die langjährige gute Zusammenarbeit in früheren Zeiten.

## Literatur

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BayLfU (1987):  
Seeuferuntersuchung Bayern. Eggstätt-Hemhofer Seenplatte. Pelhamer-, Hart-, Blas-, Kaut-, Einbes-, Schloß-, Kessel-, Thaler-, Langbürgener-, Stettnersee. Lose Blattsammlung, unpubl.

————— (Hrsg.) (1997):  
Biotopkartierung in Bayern. Rother Druck GmbH, München, 18 S.

BAYERISCHES LANDWIRTSCHAFTLICHES WOCHENBLATT (1991):  
Landwirtschaft und Umwelt – Alle Programme auf einen Blick. Sonderdruck. 4 S.

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN BayStMLU (1982):  
Verordnung über das Naturschutzgebiet „Eggstätt-Hemhofer Seenplatte“ In: Bayerisches Gesetz und Verordnungsblatt Nr. 13: 278-280.

————— (1988):  
Arten- und Biotopschutzprogramm. München, Selbstverlag. 40 S.

————— (Hrsg.) (1997):  
Arten- und Biotopschutzprogramm – Anwendungsmöglichkeiten 1. Auflage, 55 S.

————— (Hrsg.) (199):  
Agenda 21- Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung. Umwelt & Entwicklung Bayern, 11 S.

————— (1998):  
Umweltschutz und Landesentwicklung in Bayern – Information, Umwelt & Entwicklung Bayern, 47 S.

BERND, B. (1992):  
Floristische Untersuchungen im Gebiet zwischen Eggstätt-Hemhofer und Seeoner Seenplatte. Eine Studie zu einem geplanten Biotopverbund. Dipl. Arbeit d. Fak. f Biologie der LMU, München, unpubl. 95 S.

BRAUN, W. (1961):  
Die Vegetationsverhältnisse des Naturschutzgebietes „Eggstätt-Hemhofer Seenplatte“ im Chiemgau. Zulassungsarbeit d. Fak. f. Geogr der LMU München, unpubl. 60 S.

CORNELSEN, R.; U. IRMLER, D. PAUSTIAN, A. RIEGER & H. WELSCH (1993):  
Effizienz von Uferandstreifen als Elemente des Biotopverbunds. Naturschutz und Landschaftsplanung 25, 6: 205-211.

DAHLHOF, I. & I. SCHNIEPP (1998):  
Biotopverbund Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte – Seeoner Seen. Sachstandsbericht d. Landratsämter Rosenheim und Traunstein, unpubl. 35 S.

FINSTERWALDER, R. & H. FEHN (1957):  
Die Landschaft von Seeon. Landeskundl. Forsch. Geogr. Ges., München, 37, 1-78.

FRIEDRICH, G. (2000):  
Statement aus der Sicht des Gewässerschutzes. In: Honorierung von Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege. Deutscher Rat für Landespflege, Nr. 7 82 S.

GANSS, O. (1953):  
Neue Beobachtungen am würmeiszeitlichen Chiemseegletscher. *Geologica Bavarica*, 19: 94-104.

GESSNER, F. (1953):  
Die Limnologie des Naturschutzgebietes Seeon. *Arch. F. Hydrobiol.*, 47: 553-624.

HABER, W. (1983):  
Die Biotopkartierung in Bayern. *Schriftenr. d. Deutschen Rates für Landespflege*, 41: 32-37.

————— (1993):  
Über das Arten- und Biotopschutzprogramm von Bayern. In: *Ündgespräche für Ökologie: Dynamik von Flora und Fauna – Artenvielfalt und ihre Erhaltung*, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 143-148.

HOFE vom, H. (1992):  
Die Wasserkäfer- und Libellenfauna zwischen Eggstätt und Seeon im Hinblick auf die Korridorfunktion dieses Gebietes. *Dipl. Arbeit d. Fak. f. Biologie der LMU München*, unpubl. 88 S.

HÖFLER, K.; E. FETZMANN & A. DISKUS (1957):  
Alpengesellschaften aus den Mooren des Eggstätt-Hemhofer Seengebietes im Bayerischen Alpenvorland. *Verh. D. Zool. Bot. Ges., Wien*, 97: 53-86.

HORMANN, K. (1974):  
Ein neues Modell des würmeiszeitlichen Inn-Chiemseegletschers (Überschiebung des Inngletschers über den Tiroler Achengletscher bis in Bereiche des heutigen Chiemsees) Eiszeitalter und Gegenwart, Öhringen. 25: 335-47.

JEDICKE, E. (1990):  
Biotopverbund: Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. *Ulmer Verlag Stuttgart (Ulmer Fachbuch: Landespflege und Naturschutz)*, 254 S.

————— (1996):  
Biotopverbund – ein Irrweg? Tagungsbericht einer Fachtagung im Naturschutzseminar Sunder. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart., 2728.

KAULE, G. & J. PFADENHAUER (1973):  
Vegetation und Ökologie eines Hochmoorrandbereichs im Naturschutzgebiet Eggstätt-Hemhofer Seenplatte. *Ber. Bot. Ges.*, 44: 201-210.

KAULE, G. (1973):  
Die Seen und Moore zwischen Inn und Chiemsee. *Schriftenr. Naturschutz-Landespflege*, 3: 1-71.

KILIAN, P.P. (1949):  
Das Eggstätter Seengebiet. *Limnologisch-morphologische Studie einer Kames-Landschaft*. Dissert. d. Math.-Naturwiss. Fak. der LMU, München. unpubl. 68 S.

KLEIN, M.; U. RIECKEN & E. SCHRÖDER (1997):  
Begriffsdefinitionen im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und Landwirtschaft. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 29, 8: 229-237.

KROHER, E. (1976):  
Politik für die Kulturlandschaft. In: *Kulturlandschaft in Gefahr*. Hrsg. P.C. Mayer-Tasch, Carl Heymanns Verlag KG, Köln, Berlin, Bonn, München, 9-21.

LAWA (1998):  
Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der BRD – Chemische Gewässergüteklassifikation, Kulturbuchverlag Berlin, ISBN-Nr. 3-88961-225-5.

LEHRSTUHL FÜR LANDSCHAFTSÖKOLOGIE WEIHENSTEPHAN (1979):  
Biotopkartierung Bayerns. *Lose Blattsammlung*, unpubl.

MAYER-TASCH, P.C. (1976):  
Gefährdung und Schutz der Kulturlandschaft aus planungspolitischer und planungsrechtlicher Sicht. In: *Kulturlandschaft in Gefahr*, Hrsg. P.C. Mayer-Tasch. Carl Heymanns Verlag KG, Köln, Berlin, Bonn, München, 47-66.

- MRZLJAK, J. (1992):  
Spinnenfauna in Uferbereichen: Artengemeinschaften und ihre räumliche Einnischung. Dipl. Arbeit d. Fak. f. Biologie der LMU, München, pp. 104, unpubl.
- OSTENDORF, W. (1993):  
Schilf als Lebensraum. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., 68: 173-280.
- PAUL, H. & J. LUTZ (1941):  
Zur soziologisch-ökologischen Charakterisierung von Zwischenmooren. Bayer. Bot. Ges., 25, 5-32.
- PLACHTER H. (1985):  
Schutz der Fauna durch Flächensicherung – Stand, Möglichkeiten und Grenzen. Schriftenr. d. Deutsch. Rates f. Landespflege, 46: 618-629.
- (1987):  
Arten- und Biotopschutzprogramme als umfassende Zielkonzepte des Naturschutzes. Handb. Naturschutz u. Landschaftspflege (ABN), 39: 106-126.
- RADLMAIR, St. (2000):  
Biotopverbund Eggstätt-Hemhofer Seenplatte und Seeoner Seen, Zwischenbericht für die Projektphase 1999/2000 unpubl. 17 S.
- RINGLER, M. (1972):  
Die Welt der Pflanzen zwischen Wendelstein und Chiemsee. Gstad, 97 S.
- RUPPERT, K. (1976):  
Kulturlandschaft erhalten heißt Kulturlandschaft gestalten. In: Kulturlandschaft in Gefahr, Hrs. P.C.Mayer-Tasch, Carl Heymanns Verlag KG, Köln-Berlin-Bonn-München, 37-46.
- SCHAUNER, I. & A. WAGNER (1995):  
Von der Eggstätt-Hemhofer Seenplatte zu den Seeoner Seen, ein Entwicklungskonzept. Dipl. Arbeit d. Fachrichtung Landschaftsplanung FH Weißenstephan, unpubl. 70 S.
- SCHMEIDL, H. (1983):  
Die Moorkommen des Kartenblatts Nr. 8040 Eggstätt. In: Bayer. Geol. Landesamt München (Hrsg.), Geologische Karte von Bayern, Erläuterungen (O. Ganss), 82-103.
- SCHMITT, M. (1992):  
Aquatische Heteropteren und Mollusken im Gebiet zwischen der Eggstätt-Hemhofer und Seeoner Seenplatte. Vorstudie zu einem geplanten Biotopverbund. Dipl.Arbeit d. Fak. f. Biologie der LMU, unpubl. 98 S.
- SIEBECK, O. (1989):  
20 Jahre Limnologische Station Seeon 1970-1990. heller Druck Verlag, München, 176 S.
- (1991):  
Die Seen in den Naturschutzgebieten „Eggstätt-Hemhofer Seenplatte“ und „Seeoner Seen“ – Zustand, Gefährdung und Problematik ihres Schutzes. In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften: Ökologie der oberbayerischen Seen Zustand und Entwicklung. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 119-145.
- SIEBECK, O.; Ch. BOLTZ, R. HOLZMANN, J. PLATZEK, J. STEINER & W. RIß (1990):  
Untersuchungen über die Eignung funktioneller biozönotischer Eigenschaften zur Charakterisierung und Bewertung von Seen unter dem Aspekt der In-Schutz-Stellung. Schlussber. eines Forschungsauftrages v. Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, unpubl., 233 S.
- SUKOPP, H.; W. TRAUTMANN & D. KORNECK (1978):  
Auswertung der Roten Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen in der Bundesrepublik Deutschland für den Arten- und Biotopschutz. Schriftenreihe für Vegetationskunde 12.
- SUKOPP, H. (1980):  
Naturschutz in der Großstadt. Deutsche Naturschutzakademie, 9-18.
- (1981):  
Stellungnahme zur Flurbereinigung und Artenrückgang. Natur und Landschaft 56: 284.
- TOCHTERMANN, W. (1991):  
Städte und Menschen, UNESCO KURIER Nr. 1, 32.Jahrg. 4-8.
- TRÖGER, A. (1994):  
Die Entwicklung der Planktonbiozönose im Hartsee während der Sommerstagnation (Eggstätt-Hemhofer-Seenplatte Oberbayern). Dipl. Arbeit d. Fak. f. Biologie der LMU, München unpubl. 120 S.
- TROLL, K. (1924):  
Der diluviale Inn-Chiemseegletscher. Das geographische Bild des typischen Alpenvorlandgletschers. Mit einer geomorpholog. Karte 1:100.000. Forsch. Dt. Landes- und Volkskunde, 121 S.
- (1925):  
Die Rückzugsstadien der Würmeiszeit im nördlichen Vorland der Alpen. Mitt. Geogr.Ges. München, 29: 1-38.
- (1936):  
Die sogenannte Vorrückphase der Würm-Eiszeit und der Eiszerfall bei ihrem Rückgang. Mitt. Geogr. Ges. München, 29: 1-38.
- WEIGER, H. (2000):  
Himmelkron ist überall. Natur+Umwelt Magazin des Bund Naturschutz, H.3, 9-11.
- WEIZSÄCKER von, U. (1989):  
Erdpolitik. Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt. Wiss. Buchges. Darmstadt, 195 S.
- WETZEL, R.G. (1983):  
Limnology. 2nd ed. Saunders College Publishing. 767 S.
- WROBEL, J.P. (1983):  
Hydrologische Verhältnisse. In: Bayer. Geol. Landesamt München (Hrsg.), Geologische Karte von Bayern, Erläuterungen (O. Ganss), 110-119.
- (1989):  
Zur Hydrologie des Gebietes nördlich und nordwestlich des Chiemsees. In: O.Siebeck, 20 Jahre Limnologische Station Seeon 1970-1990, heller Druck & Verlag, München, 147-149.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Univ.Prof. Dr. Hans Otto Siebeck  
ARGE Biotopverbund  
Am Mühlberg 23a  
D-83093 Bad Endorf  
H.O.Siebeck@t-online.de

## Anhang

### Wissenschaftliche Lebensläufe der Autoren



Stefan BAUMGÄRTNER

Jahrgang 1968; seit 1994 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. **Studium:** Physik (Diplom) und VWL an den Universitäten Stuttgart und Heidelberg sowie an der University of Washington, Seattle/USA. **Promotion:** Dr. rer. pol. 1999, Universität Heidelberg: Ambivalent joint production and the natural environment. An economic and thermodynamic analysis. **Arbeitsgebiete:** Ökologische Ökonomik, Umwelt- und Ressourcenökonomik. Insbesondere: Thermodynamische Aspekte wirtschaftlichen Handelns, Kuppelproduktion, Biodiversität, dynamische Umwelt- Wirtschaftswchselwirkung (Schwelleneffekte, Zeitskalen, Irreversibilität). **Wichtigste Veröffentlichungen:** Baumgärtner, S. (2000). Ambivalent Joint Production and the Natural Environment. An Economic and

Thermodynamic Analysis. Physica-Verlag, Heidelberg and New York. / Baumgärtner, S. and F. Jöst (2000). Joint production, externalities, and the regulation of production networks, *Environmental and Resource Economics* 16: 229-251. / Faber, M., J.L.R. Proops and S. Baumgärtner (1998). All production is joint production - a thermodynamic analysis. In: S. Faucheux, J. Gowdy and I. Nicolai (eds.). *Sustainability and Firms: Technological Change and the Changing Regulatory Environment*. Edward Elgar, Cheltenham. Pp. 131-158. / Klauer, B. and S. Baumgärtner (1998). Operationalization of the concept of sustainable development on different time scales. In: S. Dwyer, U. Gansloßer and M. O'Connor (eds.). *Life Science Dimensions and Sustainable Use*. Filander Press, Fürth. Pp. 175-194. / Baumgärtner, S., M. Faber and J.L.R. Proops (1996). The use of the entropy concept in ecological economics. Chapter 7 (pp. 115-135) in: M. Faber, R. Manstetten and J.L.R. Proops. *Ecological Economics - Concepts and Methods*. Edward Elgar, Cheltenham. **Beratungstätigkeit:** 1994, Umwelt- und Wirtschaftspolitischer Berater, ECOTECH, München: Beratung von Ministerien und Behörden auf Bundes- und Landesebene. **Gutachtertätigkeit:** Ecological Economics, ENERGY – The International Journal, Environmental Values, Journal of Economics / Zeitschrift für Nationalökonomie, Science. Mitgliedschaften: European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE), European Society for Ecological Economics (ESEE), German Economic Association (Verein für Socialpolitik), German Physical Society (Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG) (1990-1998), International Society for Ecological Economics (ISEE).



Stefan HALLE

Jahrgang 1956; 1977-84 **Studium** der Biologie an der Universität Köln. Diplom 1984 an der Universität Köln, Thema: „Zusammenbruch einer Population der Erdmaus (*Microtus agrestis* L.): Dynamik, Populationsstruktur, Aktivitätsverhalten“. **Promotion** 1987 an der Universität Köln, Thema: „Die Kleinnager in

Rekultivierungsgebieten des rheinischen Braunkohlenreviers: Ökologie der Wiederbesiedlungsphase“. 1988 Populationsökologisches Gutachten zur Bisambekämpfung im Land Bremen. 1989-90 Wissenschaftlicher Mitarbeiter/Ökologie bei der Stadt Köln, Aufgaben: Betreuung von Naturschutzgebieten, Entwicklung von Konzepten zur Biotop-Vernetzung und zum Biotop-Management. 1990-94 Postdoc an der Universität Oslo (Prof. Stenseth), Projekt: Einfluss der Habitatfragmentation auf das Verhalten der Nordischen Wühlmaus (*Microtus oeconomus*).

**Habilitation** 1994 an der Philipps-Universität Marburg (Prof. Remmert) für das Fach Ökologie/Zoologie, Thema: „Untersuchungen zum Aktivitätsverhalten freilebender Kleinnager“. 1994-95 C3-Vertretungsprofessur für Ökologie am Zoologischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München. 1995-96 Privatdozent an der Philipps-Universität Marburg, AG Tierökologie. Seit 1996 C4-Universitätsprofessor für Ökologie und Institutsdirektor am Institut für Ökologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena.



Kurt JAX

Jahrgang 1958; **Studium** der Biologie an den Universitäten Bonn und Bayreuth. **Dissertation** an der Universität Bonn (1990) über die Ökologie (Sukzession) von Einzellern in Kleingewässern. 1984-1985

Geschäftsführer des Sekretariats für den (west)deutschen Beitrag zum UNESCO- Programm „Man and the Biosphere“. 1990-1997 Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an den Universitäten Oldenburg und Jena: neben empirischen Arbeiten zur aquatischen Ökologie zunehmende Beschäftigung mit der Theorie und Geschichte von Ökologie und Naturschutz. Zwischen 1997 und 1999 Postdoktoranden-Stipendiat am DFG-Graduiertenkolleg „Ethik in den Wissenschaften“ der Universität Tübingen, Thema: Zusammenhang von Ökologietheorie, Naturschutz und Naturschutzethik. **Habilitation** 2000 (*venia legendi* für „Ökologie“) an der TU München. Titel der Habilitationsschrift: „Die Einheiten der Ökologie. Analyse, Methodenentwicklung und Anwendung in Ökologie und Naturschutz“. Seit Anfang 2001 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Landschaftsökologie der TU-München.



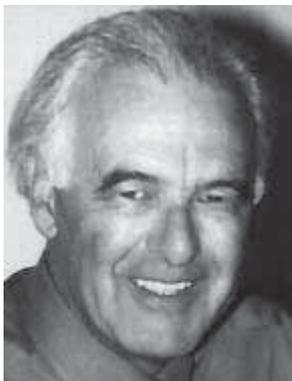
Karl Eduard LINSENMAIER

Jahrgang 1940; **Studium** der Zoologie, Botanik, Chemie, Anthropologie und Psychologie in Heidelberg, Freiburg und Frankfurt. Ausgedehnte, eigenständig organisierte und durchgeführte Forschungsreisen in Nordafrika und Äthiopien. **Promotion** 1966 (summa cum laude) über die Ethoökologie von semiterrestrischen Reiterkrabben am Roten Meer (Dr.-Vater: Prof. Dr. M. Lindauer): „Konstruktion und Signalfunktion der Sandpyramide der Reiterkrabbe *Ocypode saratan* Forsk. (Decapoda Brachyura Ocypodidae)“. Im März 1967 als „beste Dissertation des Jahres“ ausgezeichnet. **Akademischer Werdegang:** - eigenständiger DFG Forschungsstipendiat an der Univ. Frankfurt/M 1967-70 - Wissenschaftlicher Assistent am FB Biologie der Universität Regensburg 1970/71 - **Habilitation** 1971-1972 bis 1976 Wiss. Rat und Professor in Regensburg- 1976 Berufung auf den Lehrstuhl für Tierökologie am Zoologischen Institut (seit 1991 LS für Tierökologie und Tropenbiologie am Theodor-Boveri-Institut für Biowissenschaften) der Universität Würzburg. - 1980 Ruf nach Tübingen (Nachfolge Krell), 1981 abgelehnt. **Selbstverwaltung** der Universität: vielfach Mitglied des Fachbereichsrats, über lange Jahre Vorsitzender der Diplomprüfungskommission, Dekan, über mehrere Perioden Senator und seit vielen Jahren Mitglied der „Ständigen Kommission für Haushalts-, Raum- und Bauangelegenheiten“ der Universität Würzburg. Hauptsächliche Arbeitsgebiete: Orientierungsphysiologie, Ethoökologie, Ökophysiologie, Soziobiologie und - als Schwerpunkt in der jüngeren Zeit - Tropenbiologie mit den Hauptaspekten: tropische Biodiversität; Strukturen und strukturierende Faktoren tropischer Lebensgemeinschaften; Anpassungen an unvorhersehbare Bedingungen speziell bei westafrikanischen Savannenorganismen und Savannengemeinschaften und weitergehend die Ökosystemanalyse dieses Lebensraums; Naturschutzforschung in den Tropen; Synökologie und Ökophysiologie und Verhaltensökologie speziell tropischer Anuren, Termiten und Ameisen; Baumkronenforschung, Tier-Pflanzeninteraktionen. **Geographische Arbeitsschwerpunkte:** Wüsten

und Halbwüsten in N-Afrika, in den letzten Jahren zunehmende Konzentration auf Savannen in Westafrika und Regenwälder in W-Afrika, SO-Asien (Malaysia und Indonesien) und in jüngerer Zeit auch in Südamerika (Ecuador; in Zukunft mit Errichtung des COPAS Kronenzugangssystems auch Französisch Guayana), daneben auch-vor allem vergleichende Arbeiten- in hiesigen Lebensräumen. **Forschungsreisen und Feldaufenthalte:** seit 1963 jährlich 1-3 Reisen in die verschiedenen, zuvor genannten Arbeitsgebiete. Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten und wiss. Mitarbeiter: durch die DFG konstant, durch den DAAD, Volkswagen Stiftung (Einrichtung eines Forschungscamps und Finanzierung eines 5-jährigen Forschungsprojekts in der Elfenbeinküste im Rahmen des Wettbewerb Biowissenschaften; Förderung eines dreijährigen Baumkronen-Forschungsprojekts in europäischen Urwäldern ab 2001), Fritz Thyssen Stiftung (Errichtung einer Ökologischen Forschungsstation mit Ausbildungs- und Informationszentrum im Comoé-Nationalpark im Nord-Osten der Elfenbeinküste), Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, European Science Foundation (Tropical Canopy Research), Körber-Stiftung (neues Baumkronenzugangssystem s.u.), Univ. Würzburg, Universitätsbund u.a.. **Initiator und Koordinator** des DFG Schwerpunktprogramms „Mechanismen der Aufrechterhaltung tropischer Diversität“ und des European Science Foundation Programms: „Tropical Canopy Research“, Mitinitiator und Mitglied des Auswahlausschusses des „Tropenökologischen Begleitprogramms“ der GTZ. Initiator und Verantwortlicher für die Errichtung eines permanenten Forschungscamps im Comoé -Nationalpark in der Elfenbeinküste und ebenso Verantwortlicher für deren Ausbau zu einer Ökologischen Forschungsstation der Universität Würzburg (eingeworbene einmalige Mittel 3 Millionen DM, laufende Sach- und Personalmittel vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst und die Universität Würzburg); Aufbau und Koordination der Infrastruktur der Süd-Ostasien-Forschergruppe, die sich im obengenannten Schwerpunktsprogramm der DFG etabliert hat und bis heute die aufgebaute Infrastruktur und Zusammenarbeit aufrechterhalten und z.T. ausweiten konnte. Mitglied und Mitinitiator mehrerer DFG-Sonderforschungsbereiche (derzeit Nr. 251: „Ökologie, Physiologie und Biochemie pflanzlicher und tierischer Leistung unter Stress“ und des vor wenigen Monaten genehmigten neuen SFB 554: „Mechanismen und Evolution des Arthropodenverhaltens: Gehirn – Individuum – Soziale Gruppe). **Mitpreisträger** des Körberpreises für die „Europäische Wissenschaft“ 1996 zusammen mit 5 Kollegen aus Deutschland, den Niederlanden und Frankreich zur Errichtung des Kronenzugangssystems COPAS mit zugehöriger Forschungsstation in Französisch Guyana. Mitinitiator und Koordinator des Projektverbundes BIOTA-West im Rahmen des neuen BIOLOG-(Biodi-

versität und Globaler Wandel)-Programms des BMBF, das Volumen für die Drei-Jahres-Anlaufphase von I/2001 bis XII/2003 beträgt 7,5 Mill. DM. **Herausgeber** („Managing Editor“) der auf ihrem Gebiet international führenden Fachzeitschrift: Behavioral Ecology and Sociobiology (1988-1994); Mitherausgeber mehrerer und Gutachter für viele Fachzeitschriften. **Fachgutachter** für alle größeren forschungsfördernden Institutionen im Inland, Ministerien, Wissenschaftsrat, Universitäten und im Ausland EU, UNEP und zahlreiche weitere internationale Organisationen. Berufung in das 1996 konstituierte Nationale Komitee für „Global Change Forschung“, dort Sprecher für das internationale Biodiversitätsprogramm „DIVERSITAS“. **Gewähltes Mitglied** der „Deutschen Akademie der Naturforscher LEOPOLDINA“ (seit 1997) und der „Academia Europaea“ (seit 1998). **Präsident der „Gesellschaft für Tropenökologie“** seit mehreren Amtsperioden. **Mitglied** des wissenschaftlichen Beirats des WWF seit 1995. Seit Jahrzehnten direkte und vielfache indirekte (über eigene Diplomanden, Staatsexamenskandidaten, Doktoranden und wiss. Mitarbeiter) Beteiligung an diversen Naturschutzprojekten im In- und Ausland durch wissenschaftliche Grundlagenstudien, Monitoring, Gutachtertätigkeit und wis-

senschaftliche Beratung (UNEP, GEF, EU, BMZ, GTZ, Landesämter, u.a.). Besonders hohes persönliches Engagement in der Elfenbeinküste speziell zur Rettung des Comoé-Nationalparks, der sich ohne den Einsatz meiner Mitarbeiter und - wird ein Informations- und Ausbildungszentrum angegliedert werden. Beide Einrichtungen sollen in erster Linie dazu dienen, auf lokaler, regionaler und internationaler Ebene das Verständnis für den Naturschutz durch Information und Ausbildung in Theorie und Praxis (von Volksschülern, Parkanrainern, Parkpersonal bis zu fortgeschrittenen Studenten und Wissenschaftlern) zu fördern. Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des Forschungsinstituts Senckenberg in Frankfurt am Main, Mitglied sowohl des wissenschaftlichen Beirats wie des Kuratoriums des ZMT (Zentrum für Marine Tropenökologie) in Bremen. **Eingeladene Vorträge:** weit mehr als 100 Vorträge an Universitäten des In- und Auslands und auf nationalen und internationalen Konferenzen. **Publikationen:** mehrheitlich in wissenschaftlichen Journalen und Büchern, aber auch eine Reihe populärwissenschaftlicher Darstellungen. **Betreuer** einer sehr großen Anzahl von Diplom- und Staatsexamensarbeiten und Dissertationen.



Prof. Dr. rer. nat. Werner NACHTIGALL

Jahrgang 1934; 1954: Abitur in Augsburg, 1954-1959: **Studium** der Naturwissenschaften (Zoologie, Botanik, Chemie, Physik, technische Physik, Geographie) an der Universität München, Stipendium der Studienstiftung des Deutschen Volkes; 1959: **Promotion** über ein bewegungsphysiologisch-biophysikalisches Thema mit bionischer Bedeutung; 1959-1961: Assistent am Strahlenbiologischen Institut der Universität München; 1962: Assistent am Zoologischen Institut der Universität München; Forschungsschwerpunkte: Technische Biologie, Aerodynamik, Neurophysiologie, Bewegungsmechanismen im Tierreich mit technisch – biologischem und bionischem Bezug; 1966: **Habilitation** über Flugbiophysik in München; 1967:

Gastprofessur am Department of Zoology der University of California, Berkeley; 1969: Ruf als Direktor des Zoologischen Institutes der Universität des Saarlandes; Grundlagenforschung im Bereich der Bewegungsphysiologie (Fliegen, Schwimmen) sowie Biostatik, konsequente Anwendung der Technischen Biologie; 1971: Verleihung der Fabriciusmedaille der Deutschen Entomologischen Gesellschaft; 1974: berufenes Mitglied der Gesellschaft für Physikalische Biologie; 1979: Mitglied in der Akademie der Wissenschaften und der Literatur zu Mainz (korrespondierendes Mitglied seit 1977); 1981: berufenes Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Photographie. 1982: Verleihung der Karl-Ritter-von-Frisch-Medaille der Deutschen Zoologischen Gesellschaft. Seit 1983: Herausgeber der Reihe „BIONA-report“ der Akademie der Wissenschaften, Mainz zur Technischen Biologie, später auch Bionik; 1986/1996: Mitglied im Sonderforschungsbereich 230 „Natürliche Konstruktionen, Leichtbau in Architektur und Natur“, Stuttgart/Tübingen; 1989: Aufbau der Studienrichtung „Technische Biologie und Bionik“ an der Universität des Saarlandes, Verstärkte Forschung im Bionik-Bereich; 1990: Gründung der Gesellschaft für Technische Biologie und Bionik, seit Gründung: 1. Vorsitzender. Seit 1992 Arbeiten auf dem Gebiet der Technischen Biologie, Flugbiomechanik und Bionik; 1996 Verleihung des Baupreises der Fritz-Bender-Stiftung (München) für ein baubionisches Projekt. Verfasser von über 300 wissenschaftlichen Publikationen und Autor von 31 Büchern.



Dr. Werner NADER

studierte Biologie an Universität Bonn und schloss Diplom- und Doktorarbeit am Botanischen Institut unter der Betreuung von Prof. Augustin Betz ab. Nach Postdoc-Zeiten in den USA am MIT und der Texas A&M Universität und in Martinsried am Max-

Planck-Institut für Psychiatrie wechselte er in die Industrie und wurde Abteilungsleiter und später Forschungsleiter bei der Orpegen Pharma GmbH in Heidelberg. 1995 wechselte er mit Unterstützung des Centrums für Internationale Migration und Entwicklung (einer Arbeitsgemeinschaft der deutschen Gesellschaft Technische Zusammenarbeit, GTZ) an das Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, in Costa Rica. Hier war er für die Akquisition und Verhandlung von Kooperationsverträgen mit der internationalen pharmazeutischen und biotechnologischen Industrie verantwortlich. Nach seiner Rückkehr nach Deutschland 1999 wurde er Leiter für Produkte und Produktion der GeneScan Europe AG. Ein wesentlicher Fokus dieses Unternehmens ist der Einsatz moderner DNA-Analysetechniken zur Kontrolle von landwirtschaftlichen Rohmaterialien, Lebens- und Futtermitteln, insbesondere zum Nachweis von gentechnisch modifizierten Organismen. Seit Ende 2001 leitet er den internationalen Vertrieb des Geschäftsbereichs AgroFood.



Prof. Dr. Clas M. NAUMANN

Jahrgang 1939, **Studium:** 1959/60: Leibniz-Kolleg der Universität Tübingen (drei Trimester, „studium generale“) 1960-1962: Universität Tübingen, Fach Chemie, 1962-1966: Universität Tübingen, Fach Biologie mit den Nebenfächern Chemie und Paläontologie, 1967-1969 Universität Bonn, Anfertigung der Dissertation. **Promotion:** Thema Der Dissertation: „Untersuchungen zur Systematik und Phylogenie der holarktischen Sesiiden (Insecta, Lepidoptera)“, Betreuer: Prof. Dr. Günther Niethammer, Bonn, Prüfung: 14.1.1970, schriftlich: sehr gut, mündlich: ausgezeichnet. **Habilitation:** 9.11.1977, an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Lud-

wig-Maximilian-Universität München, Thema der Habilitationsschrift: „Stammesgeschichte und tiergeographische Beziehungen der Zygaenini (Insecta, Lepidoptera)“. **Berufungen:** 1977: Ernennung zum Wissenschaftlichen Rat und Professor, später Universitätsprofessor, an der Fakultät für Biologie der Universität Bielefeld, Leiter der Abteilung für Morphologie und Systematik der Tiere. 1988: Ruf auf eine C4-Professur für Spezielle Zoologie an der Universität Bonn, zugleich als Direktor des Zoologischen Forschungsinstituts und Museums Alexander Koenig (Bonn); Ernennung zum 1.7.89. 1992: Ruf auf eine C4-Professur für Systematische Zoologie an der Universität München, zugleich als Leiter der Zoologischen Staatssammlung in München; Ablehnung. **Wissenschaftliche Arbeitsgebiete:** Evolution und Stammesgeschichte, Biogeographie, Evolutionsökologie, Tier-Pflanze-Interaktionen. Sonstige Tätigkeiten: 1993-2000: gewählter Fachgutachter DFG, 1995-?: Herausgeber „Zoologischer Anzeiger“ 1999-?: Herausgeber „Entomologische Zeitschrift“, Managing Editor: Handbook of Palaearctic Macrolepidoptera, Editor: Bonner Zoologische Monographien, 1997-?: Diversitas Deutschland, Vice Chairman, 1990-1995: Nationalkomitee „Man and Biosphere“, 2001: Koordinator des Programmpaketes „BIOTA-Ost“ im Rahmen der BMBF-Ausschreibung „BIOLOG“. ca.135 Fachpublikationen, 5 Bücher, zahlreiche populärwissenschaftliche Publikationen.



Jörg PFADENHAUER

Jahrgang 1945; 1964-1969 **Studium** der Biologie, Chemie und Geographie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. **Promotion** Juni 1969 zum Dr.rer.nat. mit dem Thema „Edellaubholzreiche Wälder im bayerischen Alpenvorland und in den bayerischen Alpen“. Herbst 1969 Wissenschaftliches Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien. 1970 Einjähriger Forschungsaufenthalt an der ETH Zürich (Geobotanisches Institut). 1971-1974 Wissenschaftlicher Angestellter an der Abteilung für Vegetationskunde und Landschaftspflege der Forstwissenschaftlichen Fakultät, Universität München. Habilitandenstipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft. 1974-1975 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landeskultur und Pflanzenökologie der Universität Hohenheim, Stuttgart. **Habilitation** 1975 für das Fachgebiet „Landeskultur, insbesondere Landschaftsökologie“ an der Universität Hohenheim. Thema der Habilitationsschrift: Beziehungen zwischen Standortseinheit, Klima, Stickstoffernährung und potentieller Wuchsleistung der Fichte im bayerischen Flyschgebiet. 1976-1978 DAAD-Gastprofessor am Instituto Central de Biociências, Departamento de Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do

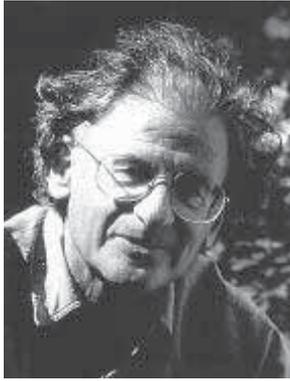
Sul, Porto Alegre, Brasilien. 1978-1982 Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Landeskultur und Pflanzenökologie, Universität Hohenheim, Stuttgart. 1980 mehrwöchiger Forschungsaufenthalt in Brasilien. 1982-1993 Universitätsprofessor für Geobotanik an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, Technische Universität München (TUM), Freising-Weihenstephan. Ablehnung zweier Rufe an die Universitäten in Hannover (Lehrstuhl für Geobotanik) und Kiel (Lehrstuhl für Landschaftsökologie). Seit 1993 Inhaber des Lehrstuhls für Vegetationsökologie an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der TUM, Freising-Weihenstephan, seit 1993 Prüfungsausschussvorsitzender, seit 1999 Studiendekan des Studiengangs Landschaftsarchitektur und Landschaftsplanung. Leitung der Forschungsverbände „Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM, 1995 bis 1997) und „Ökosystemmanagement für Niedermoore“ (ÖKOSYN, 1995 bis 1998).

**Mitgliedschaften:** Gesellschaft für Ökologie, Berlin; The British Ecological Society, London; Deutsche Botanische Gesellschaft, Berlin; International Association for Vegetation Science, Uppsala; Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde, Hannover; Bayerische Akademie Ländlicher Raum e.V., München. **Zeitschriften:** Mitglied im Editorial Board: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung; Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz; Associate Editor: Journal of Applied Vegetation Science. **Herausgeber** (Vorsitz): Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. Sonstiges: Mitglied der Mitgliederversammlung des Zentrums für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg. Mitglied des Obersten Naturschutzbeirats beim Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München. Mitglied des Stiftungsrats des Bayerischen Naturschutzfonds, München. Mitglied des Kuratoriums der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen. Präsident der Gesellschaft für Ökologie (ab 01. Jan. 2000).



Prof. Dr. Stefan POREMBSKI

Jahrgang 1960; **Studium** der Biologie an der FU Berlin. Diplom 1986; **Promotion** 1990 in Bonn über funktionelle Morphologie und Anatomie sukkulenter Pflanzen. Von 1991 bis 1996 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Bonn, dort **Habilitation** 1996. Seit 1998 Inhaber des Lehrstuhls für Allgemeine und Spezielle Botanik und Direktor des Botanischen Gartens an der Universität Rostock. **Forschungsschwerpunkte** liegen auf den Feldern Biodiversitätsforschung (u.a. Analyse von Fragmentierungsprozessen) sowie Systematik, Evolution und Ökologie tropischer Blütenpflanzen. Die im Rahmen zahlreicher Drittmittelprojekte erfolgenden Arbeiten konzentrieren sich auf das tropische Afrika und Südamerika.



Otto SIEBECK

Jahrgang 1930, Dr. rer. nat. Univ.- Prof.i.R.: Aufbau (1970) und Leitung (bis 1996) der ersten Limnologischen Forschungsstation an einer Bayerischen Universität in Seeon. Vertretung des Fachs Limnologie am Zoologischen Institut der Universität München 1969-1996. **Studium:** Physik, Chemie, Botanik, Zoologie in Heidelberg und München. **Promotion:** München 1960, **Habilitation** Mai 1966. Dozenturen an den Universitäten Graz, Würzburg, München. Kommiss. Vertretung des Lehrstuhls für Zoologie/Univ. Ulm (SS 1970) und des Lehrstuhls für spezielle Zoologie der Univ. München (1993-1995). **Arbeitsgebiete:** Limnologie, Ökophysiologie: Orientierungs-physiologie von Planktonorganismen, UV-B-Wirkungen auf limnische und marine Evertebraten (Steinkorallen im Great Barrier Reef, Australien), Analysen und Bewertungen von Binnengewässern. **Leitung von Forschungsaufträgen:** z.B. OECD-Programm: „Eutrophication of alpine lakes“ am Attersee (Österr.), Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Königssee, Chiemsee, Seener Seen. Teilnahme am Bayerischen

Klimaforschungsprogramm (BayFORKLIM): UV-B-Wirkungen auf Wassertiere. **Forschungsaufenthalte** mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Österreich, Schweden, Niederlande, Australien (1981, 1984, 1987, 1988) und Chile (1992, 1994 mit Unterstützung der Volkswagenstiftung ). GTZ-Mission (1992): Äthiopien. **Wichtigste Veröffentlichungen:** Optische Orientierung pelagischer Crustaceen, 1966, Arch. Hydrobiol. - Photorezeptoren und Photorezeption, In: Handbuch d. Biologie 1976, Akadem. Verlagsges. Athenion. - Der Königssee 1982, Nationalparkverw. Berchtesgaden - Experimental investigations of UV tolerance in hermatypic corals 1988, Mar. Ecol. Prog. - OS et al.: Impact of UV-B radiation on zooplankton and fish in pelagic freshwater ecosystems 1994, Arch. Hydrobiol. Ergebn. d. Limnologie - OS et al.: Auswirkungen der UV-Strahlung auf heterotrophe aquat. Organismen In: Handb. d. Umweltveränderungen, Verlag Springer, 2000. **Gutachtertätigkeiten:** DFG, GFÖ, Studienstift. d. Deutsch. Volkes, Volkswagenstiftung, BEO im BMFT, Österr. Akad. d. Wissensch., National Science Foundation, USA, Forschungszentrum Karlsruhe u.a. **Mitgliedschaften:** Komm. für d. Felix-Wankel-Tierschutzpreis der LMU 1982-1988, Senatskommission Wasserforschung der DFG bis 1992, Wiss. Beirat d. Kommiss. für das Internat. Hydrolog. Programm (IHP) 1992-1995, Mitglied im Nationalkomitee des Deutschen IHP und OHP 1992-1995. – Leitung der Kommission für den 1. Studiengang Ökologie der LMU, München, 1993-1995. Stellv. Mitglied im Obersten Naturschutzbeirat im BSTMLU bis 1999. Vorsitzender der Sektion Photozoologie der Deutschen Akademie für Photobiologie und Phototechnologie e.V. 1995-1999. Seit 1997 Leitung der ARGE Biotopverbund.1. Vorsitzender der Gesellschaft der Freunde und Förderer der Limnologischen Forschungsstation Seeon des Zoologischen Instituts der Universität München e.V. seit 1983.



Volker STORCH

Jahrgang 1943, **Studium** der Biologie und Chemie in Kiel. **Promotion** 1968 mit einer vergleichend-anatomischen Arbeit über Polychaeten unter der Anleitung von Adolf Remane. **Habilitation** 1971 mit einer vergleichend-ultrastrukturellen Arbeit über Rezeptoren. 1973-76 Vertretung einer Professorenstelle in Hamburg, 1978 Gastdozentur auf den Philippinen. Seit 1979 ordentlicher Professor an der Universität Heidelberg. Anschließend weitere Gastdozenturen in Südostasien, Forschungsaufenthalte im Ausland, insbesondere in den USA, Australien und in der Antarktis. **Langjährige Arbeitsschwerpunkte:** Vergleichende und experimentelle Ultrastrukturforschung (Beeinflussung von Zellen durch Umwelteinflüsse), die ihren Niederschlag in etwa 240 Originalarbeiten fanden. Mitautor mehrerer Lehrbücher, die in 7 Sprachen übersetzt wurden.



## Inhalte der jüngsten

### Laufener Seminarbeiträge (=LSB):

#### 1/02 Beweidung in Feuchtgebieten

Stand der Forschung, Erfahrungen aus der Praxis, naturschutzfachliche Anforderungen

- LUICK Rainer: Möglichkeiten und Grenzen extensiver Weidesysteme – mit besonderer Berücksichtigung von Feuchtgebieten
- RADLMAIR Stefan & Matthias DOLEK: Auswirkung der Beweidung auf die Insektenfauna von Feuchtgrünland unter besonderer Berücksichtigung von Tagfaltern und Heuschrecken
- ZAHN Andreas, Andreas LANG, Monika MEINL & Thomas SCHIRLITZ: Beweidung einer Feuchtbrache mit Galloway-Rindern – Flora, Fauna und wirtschaftliche Aspekte einer kleinflächigen Standweide
- SCHMITT Felix: Grüngutverwertung – Weidevieh als Beitrag zur Lösung eines Naturschutzproblems
- KROUPOVA V., E. MATOUSKOVA & J. TRAVNICEK: Beweidung der Feuchtwiesen im Bergland Sumava
- STEIDL Inge: Beweidung von Feuchtgrünland – Ökologische, naturschutzfachliche und betriebsökonomische Aspekte im Landschaftspflegekonzept Bayern (LPK)

#### 3/01 Flusstallandschaften im Wandel:

Veränderung und weitere Entwicklung von Wildflusslandschaften am Beispiel des alpenbürtigen Lechs und der Isar

- STURM Peter: Zusammenfassung der Fachtagungen *Vor- und Frühgeschichte:*
- KÜSTER Hansjörg: Die Geschichte der Vegetation am Lech seit der letzten Eiszeit
- DRIESCH Angela von den: Die vor- und frühgeschichtliche Tierwelt des Lechtales
- Wildflüsse:*
- TOCKNER Klement, James V. WARD, Peter J. EDWARDS, Johannes KOLLMANN, Angela M. GURNELL, Geoffrey E. PETTS: Der Tagliamento (Nordostitalien): Eine Wildflussaue als Modellökosystem für den Alpenraum
- BILL Hans-Christoph: Die Obere Isar – letzte Reste einer bayerischen Wildflusslandschaft
- Bedeutung und Entwicklung der Flusstallandschaften von Isar und Lech sowie Naturschutzprojekte zur Sicherung und Wiederherstellung flusstalbegleitender Magerbiotopzonen:*
- MÜLLER Norbert: Die Bedeutung des Lechtales für den Arten- und Biotopschutz
- GÖPPEL Josef: Lebensraum Lechtal – ein Beispiel für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung
- RIEGEL Günter: Das Projekt „Lebensraum Lechtal“ – Ein Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung am bayerischen Lech
- MENDEL Christian: Historische Bedeutung, Situation und Perspektiven der Schäferei im Lechtal
- QUINGER Burkhard: Restitution von Magerrasen aus alten Magerrasenbrachen der Pupplinger Au (Isar) und Pähler Hardt (Ammerseeaum)
- PFADENHAUER Jörg, Franz-Peter FISCHER, Wolfgang HELFER, Christine JOAS, Rolf LÖSCH, Ulrich MILLER, Christina MILZ, Helmuth SCHMID, Elisabeth SIEREN, Klaus WIESINGER: Sicherung und Entwicklung der Heiden im Norden von München
- ZAHLEHNER Willy A. und Jochen SPÄTH: Neuer Raum für Ried und Heide an der Unteren Isar
- SCHEUERER Martin und Jochen SPÄTH: Die Gefäßpflanzenflora und Magerrasenvegetation des Naturschutzgebietes „Rosenau“ bei Mamming an der Isar sowie Maßnahmen im Rahmen eines LIFE-Projektes zu ihrem Erhalt

#### 2/01 Wassersport und Naturschutz:

Ursprung – Gegenwart – Zukunft

- STETTNER Christian: Zusammenfassung der Fachveranstaltung
- MOSER Wolfram: Wassersport und Naturschutz – Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe
- KAYSER Christian: Entwicklung „alpiner“ Wassersportarten
- SLEIK Hans: Historische Nutzung von Wasserwegen – Die Trift im Saalachtal
- SCHMAUCH Andreas: Auswirkungen des Canyonings auf den Gewässerhaushalt
- MARGRAF Christine: Natur und Wassersport im Konflikt
- AIGNER Klaus: Rechtliche Aspekte der Gewässerernutzung
- UITZ Martin: Zur Sozioökonomie des Wassersports in der Tourismusregion Salzburger Land
- CAMELLO Günter: Kommerzielles Rafting und Kanufahren – ein Widerspruch zum Naturschutz
- JÄGER Paul: Freizeitnutzung an Gewässern aus Sicht des Gewässerschutzes
- WESSELY Helga: Initiativen zum Ausgleich zwischen Wassersport und Naturschutz

#### 1/01 Störungsökologie

- STURM Peter: Zusammenfassung der Ergebnisse des Ökologiemposiums „Störungsökologie“
- MALLACH Notker: Zusammenfassung der Ergebnisse der Fachtagung „Wer macht unsere Wildtiere so scheu?“
- REICHOLF Josef: Störungsökologie: Ursache und Wirkungen von Störungen

- BERGMANN Hans-Heiner und WILLE Volkhard: Flüchten oder gewöhnen? – Feindabwehrstrategien wildlebender Tiere als Reaktion auf Störsituationen
- INGOLD Paul: Hängegleiten und Wildtiere
- ZEITLER Albin: Veränderung des winterlichen Raum-Zeit-Musters von Rauhfußhuhn-Arten durch Skifahrer und die Begrenzung ihrer Folgen
- GEORGI Bertram: Auswirkungen von Freizeitaktivitäten und Jagd auf Wildtiere
- SCHNEIDER-JACOBY Martin: Auswirkungen der Jagd auf Wasservogel und die Bedeutung von Ruhezeiten
- VON LOSSOW Günter: Das Ruhezeitenkonzept für das Ramsar-Gebiet Starnberger See – Erfahrungen und Perspektiven
- GEIERSBERGER Ingrid: Störung rastender Wasservogel in einem Ramsar-Gebiet am Beispiel des Starnberger Sees – eine Zwischenbilanz
- KELLER Verena: Schutzzonen für Wasservogel – Grundsätze und Erfahrungen aus der Schweiz

#### 4/00 Bukolien –

Weidelandschaft als Natur- und Kulturerbe

- HERINGER Josef: Bukolien – eine Chance für die Weidelandschaft. Ergebnisse des Seminars vom 17./18. Juli 1997 in Steingaden/Langau
- HERINGER Josef: Deutsches „Cowboy-Land“ – Weiden, Hutungen, Ötzen, Almen, Triften
- WÖBSE Hans Hermann: Weidelandschaft in Kunst und Kultur
- STROHWASSER Peter: Weidelandschaften in der „Münchner Landschaftsmalerei“ des 19. Jahrhunderts
- RADLMAIR Stefan: Geschichte der Weidenutzung von Mooren im Bayerischen Alpenvorland
- WÖLFEL Johannes und ZWISSLER Max: Zur Fronreitener Viehweide
- WALDHERR Irene: Nutzungsgeschichte der „Allmendweidegebiete“ von Preng und Urspring (Landkreis Weilheim-Schongau) – Relikte einer jahrhundertalten Weidekultur
- SACHTELEBENS Jens: Weiden – zoologische Freilandmuseen? Die Bedeutung von Weideflächen für den zoologischen Artenschutz in Bayern
- DOLEK Matthias: Der Einsatz der Beweidung in der Landschaftspflege: Untersuchungen an Tagfaltern als Zeigergruppe
- SPATZ Günter: Wald – Weide – Haustier: eine Symbiose
- QUINGER Burkhard: Magerrasen-artige Rinderhütweiden des mittleren Bayerischen Alpenvorlandes mit besonderer Berücksichtigung der Weideflächen des Hartschimmelhofes im südöstlichen Ammerseeaum zwischen Andechs und Pähl
- STROHWASSER Ralf: Weidenutzung und Naturschutz im bayerischen Alpenvorland
- LUICK Rainer: Bukolien aus zweiter Hand – oder die Wiederentdeckung Arkadiens
- RINGLER Alfred: Gebietskulisse Extensivbeweidung: Wo kann Beweidung unsere Pflegeprobleme entlasten?

#### 3/00 Aussterben als ökologisches Phänomen

- JOSWIG Walter: Zusammenfassung der Tagung am 6./7. Oktober 1998 in München (Zoologische Staatssammlung)
- REICHOLF Josef H.: Der ganz normale Artentod – Das Aussterben in der Erdgeschichte und in der Gegenwart
- KÜSTER Hansjörg: Werden und Vergehen von Pflanzenarten vom Tertiär bis heute
- VOLK Helmut: Verlust und Rückkehr von Arten – Besonderheiten der Gefährdung und des Schutzes von Arten in den Wäldern
- STURM Peter: Vom Aussterben bedroht: Situation und Bestandentwicklung hochgradig gefährdeter Arten in Bayern
- MÜLLER Paul: Aussterbeszenarien und die Kunst des Überlebens
- GRIMM Volker: Populationsgefährdungsanalyse (PVA): ein Überblick über Konzepte, Methoden und Anwendungsbereiche
- STEPHAN Thomas: Ein Simulationswerkzeug zur Populationsgefährdungsanalyse
- DORNDOER Norbert, ARNOLD Walter, FREY-ROOS Fredy, WISSEL Christian und GRIMM Volker: Ein Fallbeispiel zur Komplexität der Populationsgefährdungsanalyse: Das Alpenmurmeltier
- DRECHSLER Martin: Artenschutz bei ökologischer Datenunsicherheit: eine modellbasierte Entscheidungshilfe
- FLUHR-MEYER Gerti: Bibliographie: Aussterben als ökologisches Phänomen

#### 2/00 Zerschneidung als ökologischer Faktor

- STURM Peter: Seminarergebnis
- VÖLK Friedrich H. und GLITZNER Irene: Habitaterschneidung für Schalenwild durch Autobahnen in Österreich und Ansätze zur Problemlösung
- SCHAIDT Stephanie, KNÄUER Felix und KACZENSKY Petra: Habitat- und Ausbreitungsmodell für den Luchs in Deutschland
- ROTH Mechthild et al.: Habitaterschneidung und Landnutzungsstruktur – Auswirkungen auf populationsökologische Parameter und das Raum-Zeit-Muster marderartiger Säugetiere
- GEORGI Bertram: Wildtierpassagen an Straßen – Perspektiven für Bayern
- RICHARZ Klaus: Auswirkungen von Verkehrsstrassen auf Fledermäuse
- WATERSTRAAT Arno: Auswirkungen von Querbauwerken in Fließgewässern am Beispiel von Fischen und Rundmäulern und Ansätze zur Konfliktlösung
- BAUR Bruno: Modellversuche über Lebensraumfragmentierung: Reaktionen von Pflanzen und wirbellosen Tieren

- HENLE Klaus und FRANK Karin: Überleben von Arten in fragmentierten Landschaften – vom Fallbeispiel zur Faustregel
- BAIER Hermann: Umsetzung des Schutzes von landschaftlichen Freiräumen in der Umweltplanung

#### 1/00 Natur – Welt der Sinnbilder

- HERINGER Josef: Symbolwerte der Natur für den Naturschutz nützen – Zusammenfassung der Tagung am 9. und 10. September 1999 in Neukirchen am Großvenediger
- SEIFRIEDSBERGER Anton: Vom „Eiferschloss“ zur „Zwölfkeruh“ – Phantasiegebilde der Natur in den westlichen Hohen Tauern
- HAID Hans: Symbole: das magische Kulturerbe
- MAYER-TASCH Peter Cornelius: Natur als Symbol
- KIRCHHOFF Hermann: Ursymbole
- MICHOR Klaus: Sinnbilder in der Landschaftsplanung
- FALTER Reinhard: Der Fluss des Lebens und die Flüsse der Landschaft – Zur Symbolik des Wassers
- PÖTSCH Walter: Marke haben oder Marke sein
- GRUBER Konstanze: Ein Netzwerk von Alignments zwischen Kultstätten im Pinzgau/Salzburg
- BAUER Wolfgang: Was sagen uns die Sagen?
- STRAUSS Peter F.: Inwertsetzung kultureller Symbole
- v. ROSENSTIEL Lutz: Symbol-Marketing zum Nutzen der Natur (Kurzfassung)

#### 6/99 Wintersport und Naturschutz

- STETTNER Christian: Einführung in die Thematik des Seminars
- HINTERSTOISSER Hermann: Schigeschichte: Vom elitären Abenteurer zum Breitensport
- MESSMANN Kuno: Entwicklung des Schisports
- HEISELMAYER Paul: Wintersport als Verursacher von Vegetationsschäden
- NEWESELY Christian und Alexander CERNUSKA: Auswirkungen der künstlichen Beschneidung von Schipisten auf die Umwelt
- REIMOSER Friedrich: Schalenwild und Wintersport
- ZEITLER Albin: Rauhfußhühner und Wintersport
- BAUERBERGER Leo: Bedeutung des Wintersports für den alpinen Raum
- HÖLLER Wilfried: Technische Aspekte des Seilbahn- und Pistebenbaus im Einvernehmen mit dem Naturschutz
- SKOLAUT Helmut: Wildbach- und Lawinenschutz unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte
- WITTMANN Helmut: Rekultivierung von Hochlagen
- SCHEUERMAN Manfred: Projekt „Skibergsteigen umweltfreundlich“ (Beitrag des Deutschen Alpenvereins für naturverträgliches Tourenskifahren in den Alpen)

#### 5/99 Natur- und Kulturraum Inn-Salzach

- HERINGER Josef: Einführung in den Tagungsband und Zusammenfassung der Tagung vom 8.-10. Oktober 1998 im Schloss Ranshofen (Braunau/O.O.)
- GÖPPEL Christoph: Grußwort des Direktors der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege
- NEULINGER Ingrid: Grußwort der Vizebürgermeisterin von Braunau

*Natürliche Ressourcen an Inn und Salzach:*

- TICHY Gottfried: Ursprung aus Meer, Gletscher und Flüssen
- KRISAI Robert: Flusslandschaften – Lebensräume für Pflanzen
- WIESBAUER Heinz: Gewässermorphologie der Salzach im Wandel der Zeit

*Kultur und Identität einer Region:*

- DOPSCH Heinz: Inn-Salzach: Ein Flusssystem macht Geschichte
- REICHOLF Josef H.: Kulturaufgabe Natur: Die Stauseen am unteren Inn

*Inwertsetzung von Natur und Kultur:*

- ECKERT Alexandra: AENUS-Modellprojekt Europareservat Unterer Inn – ein Beispiel für nachhaltige Entwicklung (aus deutscher Sicht)
- KUMPFMÜLLER Markus: AENUS-Modellprojekt Europareservat Unterer Inn – ein Beispiel für nachhaltige Entwicklung (aus österreichischer Sicht)
- WINKLBAUER Martin: So wuchs Halsbach zur Theaterhochburg (10 Jahre „Landvolk-Theater Halsbach e.V.“)
- KREMSEER Harald: Nationalpark Hohe Tauern – Ursprungsgebiet der Lebensader Salzach
- Potentiale und Visionen:*
- WITZANY Günther: LEOPOLD KOHR – ein Vorbild für Regionen- und Globalphilosophie
- KREILINGER Georg: Innovative Wirtschaftskonzepte für die Inn-Salzach-Euroregion
- ROTTENAUER Sepp: Die Rolle der Landwirtschaft im dritten Jahrtausend
- HUMER Günther: Lokale Agenda 21 – als Chance
- RIEGLER Josef: Regionen als Visionsträger
- Nachhaltige Leitbilder – Agenda-Beispiele aus Gemeinden und Landkreisen:*
- PARADEISER Karl: Der ökosoziale Weg der Gemeinde Dorfwebern
- STRASSER Hans: Beispiele aus der Gemeinde Kirchanschöring
- HOFBAUER Isidor: Gemeinde St. Radegund
- CREMER Dietmar: Stadt Tittmoning

Visionen bringen uns weiter (Podiumsdiskussion):

- HEMETSBERGER Matthias: Euregio Salzburg-Berchtesgadener Land-Traunstein (Zusammenarbeit von 86 Gemeinden in Salzburg und Bayern)
- RAPP Robert: Nachhaltige Nutzung durch Wasserkraft
- AUER Gerhard: Die Vision der Aktionsgemeinschaft Lebensraum Salzach (ALS)

Bilder von der Exkursion am 10. Oktober 1998

## 4/99 Lebensraum Fließgewässer – Charakterisierung, Bewertung und Nutzung (4. Franz-Ruttner-Symposium)

- SIEBECK Otto: Zusammenfassung
- SIEBECK Otto: Begrüßung
- STETTNER Christian: Begrüßung
- SIEBECK Otto: Vom Wasserkreislauf bis zum integrierten Fließgewässerschutz – eine Einführung in das 4. Franz-Ruttner-Symposium
- SCHWOERBEL Jürgen: Zur Geschichte der Fließgewässerschutzforschung
- WESTRICH Bernhard: Grundzüge der Ökohydraulik von Fließgewässern
- FRUTIGER Andreas: Biologische Anpassungen an die harschen Lebensbedingungen alpiner Fließgewässer
- DIEHL Sebastian: Einfluss von Bestandsdichte und biologischen Interaktionen auf das Wachstum von Forellen im Fließgewässer
- KURECK Armin: Lebenszyklen von Eintagsfliegen: Spielen sie eine Rolle bei der Wiederbesiedlung unserer Flüsse?
- INGENDAHL Detlev: Das hyporheische Interstitial in der Mittelgebirgsregion und limitierende Bedingungen für den Reproduktionserfolg von Salmoniden (Lachs und Meerforelle)
- STAAS Stefan: Die ökologische Qualität großer Ströme – die Bedeutung struktureller Aspekte für die Fischfauna am Beispiel des (Nieder-)Rheins
- NEUMANN Dietrich: Aktuelle ökologische Probleme in Fließgewässern
- SCHIEMER Fritz: Restaurierungsmöglichkeiten von Flussauen am Beispiel der Donau
- JORDE Klaus: Die Problematik des Restwassers
- MEYER Elisabeth I.: Ökologische Auswirkungen von Abfluss-extremen am Beispiel von Niedrigwasser und Austrocknung
- BORCHARDT Dietrich: Sanierungskonzepte für kleine Fließgewässer

Anhang: Wissenschaftliche Lebensläufe der Autoren

## Inhalte der neuen „Berichte der ANL“:

### Heft 25 (2001)

#### 25 Jahre ANL

#### „Wir und die Natur – Naturverständnis im Strom der Zeit“

Wir und die Natur:

Einführung und Überblick:

- HEILAND Stefan: Naturverständnis und Umgang mit Natur
- ZIELONKOWSKI Wolfgang: Naturverständnis der Bevölkerung und des Naturschutzes – ein Gegensatz?

Naturverständnis und Naturverhältnis im Spiegel der Geschichte:

- FALTER Reinhard: Unser Naturverhältnis im Spiegel der Geschichte
- SCHWARZ Astrid E.: „Ganzheit“ in der Ökologie – die Geschichte einer seduktiven Idee
- HABER Wolfgang: Natur zwischen Chaos und Kosmos
- SPANIER Heinrich: Natur und Kultur
- KÜSTER Hansjörg: Entstehung von Landschaft und Kulturräumen: Nutzung und Veränderung der Umwelt in der Technik- und Industriegeschichte
- TRENTIN Peter: Umweltgeschichte und Naturverständnis – Geschichte der Umweltschäden

Moral und Ethik:

- KÖTTER Rudolf: Vom rechten Umgang mit dem Lebendigen. Herausforderungen an die praktische Philosophie unserer Zeit
  - VOGT Markus: Naturverständnis und christliche Ethik
- Nachhaltige Lebens- und Wirtschaftsweisen:
- DOBMEIER Gotthard: Umwelt, Mitwelt, Schöpfung – spirituelle Impulse für eine nachhaltige Lebens- und Wirtschaftsweise
  - RATHGEBER Theodor: Sehnsucht nach Wildnis? Landethik und traditionelle Landnutzung bei indigenen Völkern
  - REENTS Hans Jürgen: Zum Naturverständnis des geschichtsdynamischen Landbaus
  - KOEBLER Michael: Heimat mitgestalten!
  - FELDHAUS Stephan: Kulturanthropologische Grundlagen einer Ethik des Verkehrs
  - MAYER-TASCH Peter Cornelius: Der ökologische Humanismus der Jahrtausendwende

Überblick der zugrunde liegenden Fachtagungen / Nachwort:

- GOPPEL Christoph: Ein Wort danach

ANL-Nachrichten:

- Mitglieder des Präsidiums / Personal der ANL
- Publikationen – Neuerscheinungen – Publikationsliste

### Heft 24 (2000)

#### Schwerpunkt: Regionale Indikatorarten

Grundsatzfragen und Seminarthemen:

Naturschutz als gesellschaftspolitische Aufgabe:

- SOTHMANN Ludwig: Die Rolle des Ehrenamtes im Naturschutz
  - HEILAND Stefan: Entwicklung von Naturschutzstrategien
  - KILLERMANN Wilhelm: Ganzheitliche Naturschutz- und Umwelterziehung (pädagogisch – didaktische Grundlagen)
  - WESSELY Helga: Freizeittrends und ihre Auswirkungen auf den Naturschutz
- Schwerpunktthema: Regionale Indikatorarten – Stand der Forschung, Aussagekraft, Anwendung (ANL-Fachtagung 26./27. Januar 2000 in Freising):
- SACHTELEBEN Jens: Regionale Indikatorarten: Was bringen sie für die Naturschutzpraxis?
  - SCHLUMPRECHT Helmut: Regionalisierung ökologischer Ansprüche bei den Heuschrecken Bayerns
  - DORDA Dieter: Regionalisierte Indikatorwerte und autökologische Bioindikation
  - WALDHARDT Rainer, SIMMERING Dietmar und OTTE Annette: Standortspezifische Surrogate und Korrelate der  $\alpha$ -Artenreichtum in der Grünland-Vegetation einer peripheren Kulturlandschaft Hessens
  - MELZER Arnulf: Wasserpflanzen als Bioindikatoren des Belastungs- und Trophiezustandes bayerischer Seen
- Beiträge zur Schalenwilddiskussion (ANL-Fachtagung 10. März 2000 in Garmisch-Partenkirchen):
- REIMOSER Friedrich: Schalenwildeinfluss auf die Waldvegetation: Wildschaden oder Wildnutzen?

Sonstige Forschungsarbeiten:

- KRAMER Stefan: Die Bestandsentwicklung des Wanderfalken (*Falco peregrinus*) in Bayern von 1991 bis 2000
- BURMEISTER Ernst-Gerhard: Der Einsatz von Bti-Präparaten zur Stechmückenbekämpfung – Hintergründe, Risiken und Bedenken
- FOECKLER Francis und DEICHNER Oskar: Gewässerökologisch-naturschutzfachliche Untersuchung des Tiefenbaches bei Neutötting
- ARMBRUSTER Martin: Indikatoren des Stoffhaushalts von Wald-Ökosystemen (zur Trinkwassernutzung aus Waldgebieten)

ANL – Nachrichten:

- Mitglieder des Präsidiums
- Personal der Akademie
- Publikationen – Neuerscheinungen – Publikationsliste

### Heft 23 (1999)

#### Schwerpunkt: Biotopverbund

Grundsatzfragen und Seminarthemen:

Zielbestimmung:

- RINGLER Alfred: Biotopverbund: Mehr als ein wohlfeiles Schlagwort? Rechenschaftsbericht und Zielbestimmung zur Jahrtausendwende
- Vorträge im Rahmen der Bayerischen Naturschutztage (25.-27. Oktober 1999 in Bamberg):

- GUNZELMANN Thomas: Naturschutz und Denkmalpflege – Partner bei der Erhaltung, Sicherung und Pflege von Kulturlandschaften – Kurzfassung (Langfassung im Internet: [www.anl.de](http://www.anl.de))
  - STROHMEIER Gerhard: Welche Landschaften wollen wir? – Zur Vielfalt von Lebensstilen und zur rasanten Veränderung von Präferenzen für die Landschaft
- Vogelschutz- und FFF-Richtlinie der EU (ANL-Fachtagung 4./5. Februar 1999 in Augsburg):
- HIMMIGHOFFEN Christoph: Die Vogelschutz- und FFF-Richtlinie der Europäischen Union: Rechtliche und fachliche Aspekte (Einführung in die Fachtagung durch den Präsidenten des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz)
  - BRENNER Walter: Rechtliche Aspekte der Naturschutzrichtlinien der EU und Vollzugsproblematik
  - v. LINDEINER Andreas: Das Konzept der „Important Bird Areas“ der Vogelschutzverbände und ihre Bedeutung für *Natura 2000*
  - BRINKMANN Dieter: Welchen Beitrag leistet die Bayerische Staatsforstverwaltung zur Umsetzung der Vogelschutz- und FFF-Richtlinie?

Musterlösungen im Naturschutz:

- BRENDLE Uwe: Innovative Ansätze im Naturschutz – Musterlösungen als politische Bausteine für erfolgreiches Handeln
- Monitoring – Modellierung (ANL-Fachtagung 19./20. November 1999 in Erding)
- SACHTELEBEN Jens: Berechnung von Mindestflächengrößen und der maximal tolerierbaren Isolation im Rahmen des ABSP
  - SCHUBERT Rudolf: Grundlagen, Bedeutung und Grenzen des Biotopmonitoring
  - CARL Michael: Biomonitoring zur Ökologie und Renaturierung anthropogen veränderter Lebensräume des bayerischen Salzaachauer-Ökosystems von Freilassing bis zur Mündung in den Inn

Forschungsarbeiten:

Naturschutzgeschichte:

- FARKAS Reinhard: Zur Geschichte der Gartenbewegung im deutschsprachigen Raum
  - Stechmücken:
  - BURMEISTER Ernst-Gerhard: Stechmückenbesiedlung in Restgewässern des Ampfermooses nördl. Inning a. Ammersee (Bavaria) nach dem Pfingsthochwasser 1999 (Diptera, Culicidae)
- Erfolgskontrollen:
- REBHAN Herbert: Erfolgskontrollen im Naturschutz in Bayern – Ablauf, Ergebnisse und Perspektiven

ANL-Nachrichten:

- Mitglieder des Präsidiums und Kuratoriums / Personal der ANL
- Publikationsliste

### Heft 22 (1998)

Seminarthemen und Grundsatzfragen:

Biographisches:

- FLUHR-MEYER Gertrud: Gabriel von Seidl – Gründer des Isartalvereins
- Recht / Wissenschaftstheorie:

- SOTHMANN Ludwig: Das Bayerische Naturschutzgesetz aus der Sicht der anerkannten Naturschutzverbände
- JESSEL Beate: Ökologie – Naturschutz – Naturschutzforschung: Wissenschaftstheoretische Einordnung, Wertbezüge und Handlungsrelevanz

Nachhaltig naturgerechte jagdliche Nutzung (ANL-Seminar 11./12. März 1998 in Ingolstadt):

- SCHWENK Sigrud: Gedanken zur jagdlichen Ethik
- KÜHN Ralph: Ist die Genetische Vielfalt des bayerischen Rotwildes bedroht? – Zur Situation der Genetik der bayerischen Rotwildbestände
- KENNEL Eckhard: Was kann das Vegetationsgutachten zum nachhaltigen Management eines walddverträglichen Schalenwildbestandes leisten? Vorschlag zur Bewertung von Verbissbefunden

Naturschutzgerechte Forstwirtschaft (ANL-Seminar 21.-23. Oktober 1998 in Deggendorf):

- AMMER Ulrich: Historische Entwicklung des Naturschutzes in Deutschland und sein Bezug zum Wald und zum Forstwesen
- BIERMAYER Günther: Naturschutzgerechte Forsteinrichtung und Waldbewirtschaftung aus Sicht der Bayerischen Staatsforstverwaltung

Differenzierte Landnutzung (ANL-Seminar 13./14. Oktober 1998 in Pullach):

- HABER Wolfgang: Nutzungsdiversität als Mittel zur Erhaltung von Biodiversität
- RAUTENSTRAUCH Lorenz: Regionalpark Rhein-Main: Ein großes Netzwerk im Verdichtungsraum
- GOEDECKE Otto: Freiraumpolitik im Verdichtungsraum München – Chancen und Gefahren
- VOLK Helmut: Chancen für den Naturschutz bei der Umsetzung des Modells der differenzierten Landnutzung in den Wäldern
- UNGER Hans-Jürgen: Differenzierte Bodennutzung aus landwirtschaftlicher und agrarökologischer Perspektive: Ausstattung mit extensiv oder nicht genutzten Flächen – Status quo und Zielvorstellungen aus agrarökologischer Sicht
- FREYER Bernhard: Der Beitrag des Ökologischen Landbaus zur Nutzungsdiversität

Bodenschutz (ANL-Seminar 11./12. November 1998 in Erding):

- GERHARDS Ivo: Der Beitrag des Landschaftsplanes zum Bodenschutz – Erfahrungen aus der Planungspraxis

Forschungsarbeiten:

Bodenzoologie:

- MELLERT Karl, K. SCHÖPKE u. A. SCHUBERT: Bodenzoologische Untersuchungen auf bayerischen Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) als Bestandteil eines vorsorgenden Bodenschutzes

Gewässerversauerung:

- KIFINGER Bruno et al.: Langzeituntersuchungen versauerter Oberflächengewässer in der Bundesrepublik Deutschland (ECE-Monitoringprogramm)

Flechtenkartierung:

- MARBACH Bernhard: Emissionsökologische Flechtenkartierung von Laufen und Umgebung

Outdoorsport und Naturschutz:

- WESSELY Helga: Mountaibiking und Wandern – Beobachtungen zu Konflikten und Lösungsmöglichkeiten am Beispiel des Staubbachweges im NSG Östliche Chiemgauer Alpen

ANL-Nachrichten:

- Bibliographie: Veröffentlichungen der ANL im Jahr 1997
- Veranstaltungen der ANL im Jahr 1997 mit den Ergebnissen der Seminare und Mitwirkung der ANL-Referenten bei anderen Veranstaltungen sowie Sonderveranstaltungen der ANL
- Forschungsverbände der ANL
- Mitglieder des Präsidiums und Kuratoriums / Personal der ANL
- Publikationsliste

## ■ Berichte der ANL

Die seit 1977 jährlich erscheinenden Berichte der ANL enthalten Originalarbeiten, wissenschaftliche Kurzmittelungen und Bekanntmachungen zu zentralen Naturschutzproblemen und damit in Zusammenhang stehenden Fachgebieten.

	Euro
Heft 1-4 (1979)	vergriffen)
Heft 5 (1981)	11,50
Heft 6 (1982)	17,50
Heft 7 (1983)	14,-
Heft 8 (1984)	20,-
Heft 9 (1985)	12,50
Heft 10 (1986)	24,50
Heft 11 (1987)	(vergriffen)
Heft 12 (1988)	(vergriffen)
Heft 13 (1989)	(vergriffen)
Heft 14 (1990)	19,50
Heft 15 (1991)	20,-
Heft 16 (1992)	19,50
Heft 17 (1993)	19,-
Heft 18 (1994)	17,50
Heft 19 (1995)	20,-
Heft 20 (1996)	18,-
Heft 21 (1997)	16,50
Heft 22 (1998)	11,-
Heft 23 (1999) Schwerpunkt: Biotopverbund	9,-
Heft 24 (2000) Schwerpunkt: Regionale Indikatorarten	7,-
Heft 25 (2001) 25 Jahre ANL „Wir und die Natur – Naturverständnis im Strom der Zeit“	6,-

## ■ Beihefte zu den Berichten

Beihefte erscheinen in unregelmäßiger Folge und beinhalten die Bearbeitung eines Themenbereichs.

### Beiheft 1

HERINGER J.K.: Die Eigenart der Berchtesgadener Landschaft – ihre Sicherung und Pflege aus landschaftsökologischer Sicht, unter besonderer Berücksichtigung des Siedlungswesens und Fremdenverkehrs. 1981. 128 S., 129 Fotos 8,50

### Beiheft 2

Pflanzen- und tierökologische Untersuchungen zur BAB 90 Wolnzach-Regensburg. Teilabschnitt Elsendorf-Saalhaupt. 71 S., Abb., Ktn., 19 Farbfotos 11,50

### Beiheft 3

SCHULZE E.-D. et al.: Die pflanzenökologische Bedeutung und Bewertung von Hecken. = Beiheft 3, T. 1 zu den Berichten der ANL 19,-  
 ZWÖLFER, H. et al.: Die tierökologische Bedeutung und Bewertung von Hecken. = Beiheft 3, T. 2 zu den Berichten der ANL 18,50

### Beiheft 4

ZÄHLHEIMER W.: Artenschutzgemäße Dokumentation und Bewertung floristischer Sachverhalte – Allgemeiner Teil einer Studie zur Gefäßpflanzenflora und ihrer Gefährdung im Jungmoränengebiet des Inn-Vorland-Gletscher (Oberbayern). 143 S., 97 Abb. u. Hilfskärtchen, zahlr. Tab., mehrere SW-Fotos 10,50

### Beiheft 5

ENGELHARDT W., OBERGRUBER R. und J. REICHHOLF.: Lebensbedingungen des europäischen Feldhasen (*Lepus europaeus*) in der Kulturlandschaft und ihre Wirkungen auf Physiologie und Verhalten. 14,50

### Beiheft 6

MELZER A. und G. MICHLER et al.: Ökologische Untersuchungen an südbayerischen Seen. 171 S., 68 Verbreitungskärtchen, 46 Graphiken, zahlr. Tab. 10,-

### Beiheft 7

FOECKLER Francis: Charakterisierung und Bewertung von Augewässern des Donaumaues Straubing durch Wassermolluskengesellschaften. 149 S., 58 Verbreitungskärtchen, zahlr. Tab. u. Graphiken, 13 Farbfotos. 14,-

### Beiheft 8

PASSARGE Harro: Avizönosen in Mitteleuropa. 128 S., 15 Verbreitungskarten, 38 Tab., Register der Arten und Zönosen. 9,-

## Beiheft 9

KÖSTLER Evelin und Bärbel KROGOLL: Auswirkungen von anthropogenen Nutzungen im Bergland – Zum Einfluss der Schafbeweidung (Eine Literaturstudie). 74 S., 10 Abb., 32 Tab. 6,-

## Beiheft 10

Bibliographie 1977-1990: Veröffentlichungen der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege. 294 S. 7,50

## Beiheft 11

CONRAD-BRAUNER Michaela: Naturnahe Vegetation im Naturschutzgebiet „Unterer Inn“ und seiner Umgebung – Eine vegetationskundlich-ökologische Studie zu den Folgen des Stau-stufenbaus 175 S., zahlr. Abb. u. Karten. 22,50

## Beiheft 12

Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h.c. Wolfgang Haber. 194 S., 82 Fotos, 44 Abb., 5 Farbkarten (davon 3 Faltkart.), 5 Veg.-tab. 12,-

## ■ Landschaftspflegekonzept Bayern

(siehe auch CD-ROM)

Bd. I. Einführung	19,50
Bd. II.1 Kalkmagerrasen	Teil 1 23,- Teil 2 21,50
Bd. II.2 Dämme, Deiche und Eisenbahnstrecken	17,50
Bd. II.3 Bodensaurer Magerrasen	20,-
Bd. II.4 Sandrasen	17,50
Bd. II.5 Streuobst	17,50
Bd. II.6 Feuchtwiesen	(vergriffen)
Bd. II.7 Teiche	14,-
Bd. II.8 Stehende Kleingewässer	18,-
Bd. II.9 Streuwiesen	(vergriffen)
Bd. II.10 Gräben	(vergriffen)
Bd. II.11 Agrotrope	Teil 1 18,- Teil 2 19,-
Bd. II.12 Hecken- und Feldgehölze	22,-
Bd. II.13 Nieder- und Mittelwälder	18,50
Bd. II.14 Einzelbäume und Baumgruppen	16,50
Bd. II.15 Geotope	19,50
Bd. II.16 Leitungstrassen	12,50
Bd. II.17 Steinbrüche	(vergriffen)
Bd. II.18 Kies-, Sand- und Tongruben	16,-
Bd. II.19 Bäche und Buchufer	(vergriffen)

## ■ Diaserien

Diaserie Nr. 1  
 „Feuchtgebiete in Bayern“  
 50 Kleinbilddias mit Textheft 75,-

Diaserie Nr. 2  
 „Trockengebiete in Bayern“  
 50 Kleinbilddias mit Textheft 75,-

Diaserie Nr. 3  
 „Naturschutz im Garten“  
 60 Dias mit Textheft und Begleittasche 75,-

## ■ Werbung für Naturschutz

Herausgegeben vom „Förderverein der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege“:

- Plakat „Der individuelle Outdoorsportler“ (Wolfsplakat) (+ Versandkosten) 2,50
- Mousepad „Lebensnah, naturnah, NATURSCHUTZ“ (+ Versandkosten) 4,-

## ■ Faltpakete (kostenfrei)

- **Blätter zur bayerischen Naturschutzgeschichte**
  - Bayerischer Landesausschuss für Naturpflege (1905-1936)
  - Persönlichkeiten im Naturschutz: Prof. Dr. Otto Kraus  
Johann Rueß  
Gabriel von Seidl

- **Ökologische Lehr- und Forschungsstation Straß**
- **Landschaftspflegekonzept Bayern**
- **Naturnahe Ausflugsziele rund um Laufen**
- **Energiekonzept für das Bildungszentrum der ANL**

## ■ Informationen

Informationen 1  
 Die Akademie stellt sich vor  
 Faltblatt (in deutscher, englischer und französischer Sprache) kostenfrei

Informationen 2  
 Grundlagen des Naturschutzes (vergriffen)

Informationen 3  
 Naturschutz im Garten – Tips und Anregungen zum Überdenken, Nachmachen und Weitergeben 1,-

Informationen 4  
 Begriffe aus Ökologie, Landnutzung und Umweltschutz. In Zusammenarbeit mit dem Dachverband wissenschaftlicher Gesellschaften der Agrar-, Forst-, Ernährungs-, Veterinär- und Umweltforschung e.V. München  
 (derzeit vergriffen: Neuauflage in Vorbereitung; siehe bei CD's!)

Informationen 5  
 Natur entdecken – Ein Leitfaden zur Naturbeobachtung 1,-

Informationen 6  
 Natur spruchreif (Aphorismen zum Naturschutz) 3,-

Einzel Exemplare von Info 3, Info 5 und Info 6 werden gegen Zusendung von 1,50 Euro (für Porto + Verpackung) in Briefmarken ohne Berechnung des Heftpreises abgegeben.

Ab 100 Stück werden bei allen Infos (3/4/5) 10 % Nachlass auf den Heftpreis gewährt.

## ■ CD-ROM

• **Informationseinheit Naturschutz** 38,-  
 Die Informationseinheit Naturschutz ist ein Kompendium aus 150 Textbausteinen (jeweils 2-3 Seiten Umfang) und 250 Bildern, die frei miteinander kombiniert werden können. Über Grundlagen des Naturschutzes, Ökologie, Landnutzung, Naturschutz und Gesellschaft, bis hin zum Recht und zur praktischen Umsetzung sind alle wichtigen Bereiche behandelt.

Im Anhang wurden außerdem die „**Informationen 4: Begriffe aus Ökologie, Landnutzung und Umweltschutz**“ mit aufgenommen. Das neue Medium erlaubt eine einfache und praktische Handhabung der Inhalte. Für den MS-Internet Explorer 4.0 werden mindestens ein 486-Prozessor, ein Arbeitsspeicher von 8 MB unter Windows 95 bzw. von 16 MB unter Windows NT benötigt.

• **Landschaftspflegekonzept Bayern** 40,50  
 (Gesamtwerk mit Suchfunktionen)

• **Umweltbildungseinrichtungen in Bayern** 5,-  
 (2002) (incl. Versandkosten)

## ■ Lehrhilfen

Handreichung zum Thema Naturschutz und Landschaftspflege (hrsg. in Zusammenarbeit mit dem Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung, München) 7,-

## Bestellung:

**Bitte hier und/oder auf der nächsten Seite ankreuzen oder Bestellkarte verwenden!**

### Ihre Adresse:

.....  
 .....  
 .....

### Datum, Unterschrift:

.....

**Fax 08682/8963-17**

**Adresse siehe umseitig!**

