

# Gefahr für die Biologische Vielfalt durch Ozon?

EU-Projekt zur Biodiversität wird in Gießen koordiniert

Von Andreas Fangmeier, Ursula Sittig  
und Ulrike Paetz



Die Biologische Vielfalt ist weltweit durch zahlreiche verschiedene Faktoren bedroht. Im Zuge globaler Veränderungen haben viele Umweltfaktoren eine neue Qualität erfahren – im positiven wie im negativen Sinn. In den Industrieländern stellen neben Veränderungen der Landnutzung Belastungen durch Schadstoffe einen wichtigen Faktor mit möglichen Auswirkungen auf die Biodiversität dar. Ein extrem toxischer

Luftschadstoff ist troposphärisches Ozon, dessen Konzentrationen in den letzten hundert Jahren deutlich zugenommen haben. Ob sich dadurch Auswirkungen auf die Biologische Vielfalt ergeben, ist bislang nicht bekannt. Ein neues, seit Anfang 2000 von der EU gefördertes Projekt mit dem Akronym „BIOSTRESS“, das vom Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität koordiniert wird, geht dieser Frage nach.



Die Weltbevölkerung wächst exponentiell, auch wenn sich der Anstieg in den letzten Jahren etwas verlangsamt hat (Abb. 1). Über sechs Milliarden Menschen verlangen nach Nahrung, Kleidung, Wohnraum, Lebensraum, Bildung, Konsumgütern und mehr. Die Nutzung unseres Planeten hat sich dadurch gravierend gewandelt: Naturlandschaft wird zugunsten von Kulturlandschaft im weitesten Sinn zurückgedrängt. Abbildung 2 verdeutlicht diese Veränderung der Landnutzung im globalen Maßstab: Waren um 1700 noch 98 % der Landfläche weitgehend unberührte Naturlandschaft, so ist dieser Anteil bis zum Jahr 1980 auf 89 % zusammengeschrumpft.

Wo Menschen Lebensraum für sich in Anspruch nehmen, muss Natur weichen. Zumindest ist die Besiedelung neuer Lebensräume durch den Menschen in der Vergangenheit immer mit Verlusten für die Biologische Vielfalt verbunden gewesen. Der Mensch hat die Aussterberaten anderer Organismengruppen gegenüber deren natürlichen Extinktionsraten beträchtlich in die Höhe getrieben. Bei der Berechnung solcher Aussterberaten gibt es folgende Schwierigkeit: Für die wenigsten Organismengruppen sind die Artenzahl und ihre zeitliche Entwicklung genügend genau bekannt. Bislang sind rund 1,75 Millionen Arten beschrieben worden, die schätzungsweise nur ein Zehntel des gesamten Arteninventars der Erde darstellen [1]. Nur einzelne Gruppen – im Pflanzenreich die höheren Pflanzen oder Gefäßpflanzen, im Tierreich die Tetrapoden, also Amphibien, Reptilien, Vögel und Säuger – können einigermaßen verlässlich dazu benutzt werden, Extinktionsraten durch menschliche Aktivität abzuschätzen, und müssen als Grundlage für verallgemeinernde Aussagen dienen.

Die Zahlen waren alarmierend genug, um schließlich auf der Weltgipfelkonferenz in Rio de Janeiro (Brasilien) im Jahr 1992 zur Verabschiedung der „Konvention über

Biologische Vielfalt“ [2] zu führen. In der Konvention verpflichten sich die Unterzeichnerstaaten zur Bewahrung der Biodiversität, zur nachhaltigen Nutzung ihrer Komponenten und zur fairen und gerechten Aufteilung der Erlöse aus der Nutzung genetischer Ressourcen. Offensichtlich ist die Gefahr erkannt – aber noch lange nicht gebannt.

### Wo und wodurch ist Biodiversität bedroht ?

Die Konvention über Biologische Vielfalt unterscheidet drei Ebenen von Biodiversität: Diversität auf genetischer Ebene, Artendiversität und Diversität von Ökosystemen. Die Regionen des Globus mit der größten Biodiversität liegen im terrestrischen Bereich vor allem in den Tropen. 25 solcher „Hotspots“ sind definiert worden. Zusammen machen sie nur 1,4 % der Landfläche aus, beherbergen aber 44 % aller bekannten Gefäßpflanzen und 35 % aller Tetrapoden [3]. Dort stellt die Landnutzung den stärksten Gefährdungsfaktor für die Biodiversität dar. In Gegenden, in denen ein einzelner Baum fast 1.200 verschiedenen Käferarten als Lebensraum dienen kann, und in einem kleinen Land wie Costa Rica, wo über 12.000 bekannte Gefäß-

pflanzenarten wachsen, kann jeder gerodete Hektar die Ausrottung von Dutzenden von Arten bedeuten. Die jährliche Extinktionsrate wird zur Zeit auf 27.000 Arten geschätzt, und dies bedeutet: Alle 20 Minuten stirbt eine Art aus.

Ganz anders ist die Situation in Mitteleuropa: Wir leben in einer extrem artenarmen Zone der Erde. Der Grund hierfür liegt in den Eiszeiten, in denen die Lebensräume periodisch immer wieder weit nach Süden verdrängt wurden. Da die Alpen eine Art „Einwanderungsbarriere“ bilden, konnte nur ein Teil der Arten in den Zwischeneiszeiten die Wiedereinwanderung bewerkstelligen. Auch heute noch, 10.000 Jahre nach der letzten Eiszeit, ist dieser Prozess im Gang. Dies belegt z.B. ein Vergleich der Floren des Festlandes in Nordwesteuropa mit England: Viele Arten haben „den Sprung“ über den Ärmelkanal noch nicht geschafft.

In Mitteleuropa werden die in ihrer Biodiversität reichsten Ökosysteme nicht von natürlichen, sondern von halbnatürlichen Systemen, die durch den Menschen geprägt wurden, repräsentiert. In der Regel sorgen die Bewirtschaftungsmaßnahmen in diesen Systemen dafür, dass das natürliche Klimax Stadium – das relativ artenarm ist – nicht erreicht wird, sondern der Sukzessionsprozess quasi auf frü-

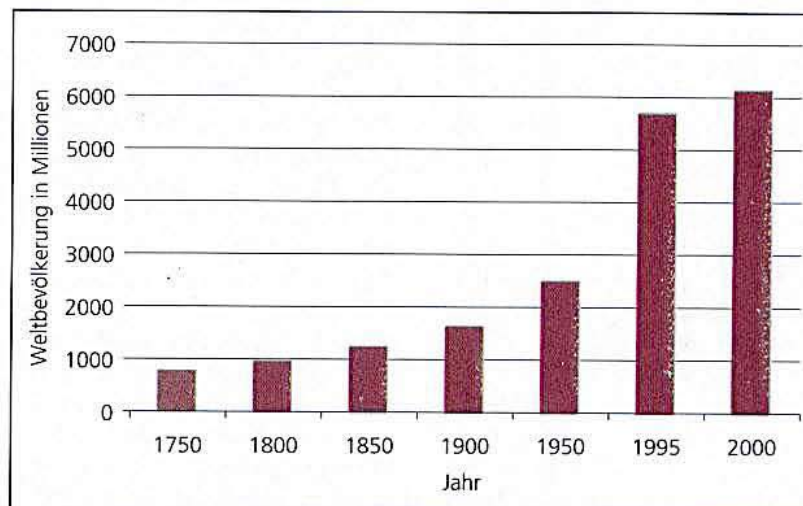
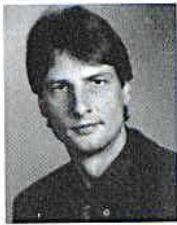


Abb. 1: Entwicklung der Weltbevölkerung im Zeitraum von 1750 bis 2000.





Andreas Fangmeier, Jahrgang 1956, studierte an der Justus-Liebig-Universität Gießen Biologie. Sein Diplom legte er 1984 in Gießen mit einer Arbeit zur Immissionsbelastung eines Nahrungsnetzes mit Schwermetallen in einem Waldökosystem ab. 1987 Promotion am Fachbereich Biologie mit einer Dissertation, in der die Wirkung von phytotoxischen Spurengasen auf die Waldbodenvegetation untersucht wurde. Verschiedene Forschungsprojekte, die aus Mitteln des Umweltbundesamtes, des Bundesministeriums für Landwirtschaft und der Europäischen Union gefördert wurden, so wie Auslandsaufenthalte z.B. in den USA bildeten die Basis für die Habilitation am Fachbereich Biologie im Jahr 1995. Er leitet derzeit als Oberassistent eine Arbeitsgruppe am Institut für Pflanzenökologie, die sich mit den Auswirkungen globaler Veränderungen auf terrestrische Ökosysteme befasst. Sein Forschungsschwerpunkt sind Untersuchungen über anthropogene atmosphärische Spurengase und ihre Auswirkungen auf die Vegetation. Das hier vorgestellte BIOTRESS-Projekt ist das erste, das in Gießen innerhalb des Fünften Rahmenprogramms der EU koordiniert wird.

heren, aber artenreicheren Stufen „eingefroren“ wird. So kommt es in halbnatürlichen Halbtrockenrasen oder Heiden infolge der Bewirtschaftung der Flächen normalerweise nicht zum Endzustand „Wald“. Wenn die Nutzung in dieser Form allerdings unterbleibt, stellt sich die dem Standort entsprechende Klimax mit ihrem typischen Arteninventar – also mit geringerer Artenvielfalt – ein.

Damit besteht ein interessanter und grundlegender Gegensatz in der Art der Gefährdung von Biologischer Vielfalt in den Tropen und in hochindustrialisierten Zonen wie Mitteleuropa: In den tropischen Biodiversitäts-Hotspots ist es die zunehmende Landnutzung, in Mitteleuropa hingegen gerade die Aufgabe der Nutzung, die die Biodiversität gefährdet. Natürlich ist dies eine sehr stark vereinfachende Aussage, doch im Kern trifft sie zu.

In den industrialisierten Ländern kommt eine weitere Größe ins Spiel, die negative Auswirkungen auf die Biodiversität haben kann: die Emission unzähliger Verbindungen aus industriellen Prozessen, dem Verkehr oder der Landwirtschaft mit direkten Effekten auf Ökosysteme. Dazu zählen sowohl toxische Substanzen als auch solche, die in den ökosystemaren Nährstoffkreislauf eingreifen, z.B. Stickstoffverbindungen. Dass erhöhte Stickstoffeinträge die Biodiversität in halbnatürlichen Ökosystemen beeinträchtigen können, ist in den Niederlanden gezeigt worden. Ein Gras der Halbtrockenrasen (*Brachypodium pinnatum*, die Fiederzwenke) wird durch Stickstoffeinträge über die Luft deutlich gefördert und sorgt mit der Ausbildung eines dichten Rasenfilzes dafür, dass andere, lichtbedürftige Arten zurückgedrängt werden und auf diese Weise die Artendiversität der Bestände sinkt [4].

Ein Luftschadstoff ist in den letzten Jahren besonders in den Mittelpunkt des Interesses gerückt: das troposphärische Ozon. Seine Konzentration hat sich in Mitteleuropa in den vergangenen hundert Jahren mindestens verdoppelt; Daten aus den Hochlagen europäischer Gebir-

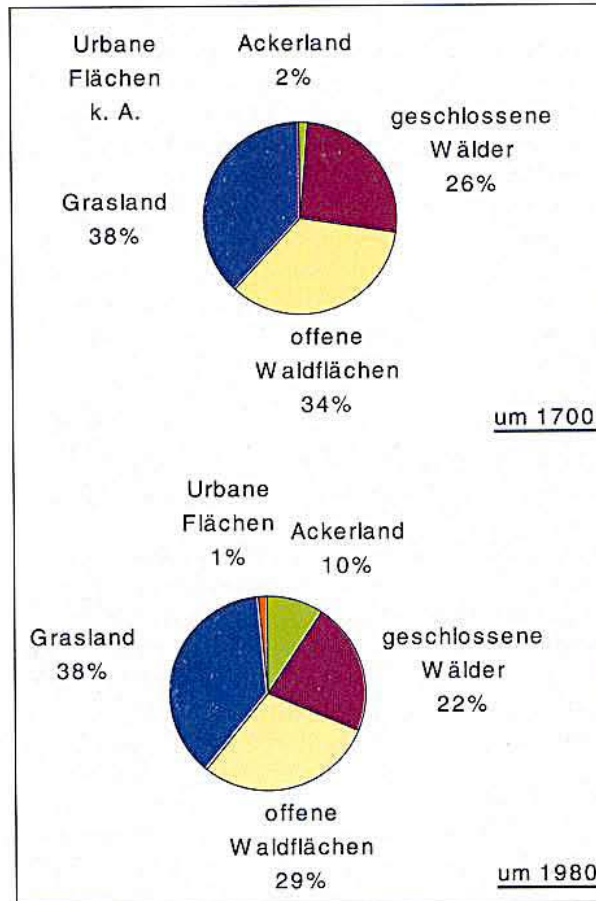


Abb. 2: Veränderungen der globalen Landnutzung innerhalb von ungefähr 300 Jahren (k. A. keine Angaben).

ge lassen sogar auf eine Verfünffachung der Konzentrationen in diesen emissionsfernen Gebieten schließen (Abb. 3, [5]). Troposphärisches Ozon gehört zu den Photooxidantien, d.h. zu einer Gruppe von Spurengasen, die in der Atmosphäre unter Einwirkung von kurzwelliger Strahlung aus Vorläufersubstanzen entstehen und zum sogenannten „Sommersmog“ beitragen. Die wichtigsten Vorläufersubstanzen für die Ozonbildung sind Stickstoffoxide und Kohlenwasserstoffe. Für beide Klassen von Vorläufersubstanzen stellt in Mitteleuropa der Straßenverkehr die wichtigste Emittentengruppe dar. In Deutschland stammen etwa 70 % dieser Substanzen aus Kfz-Abgasen.

Ozon ist ein hochwirksames Oxidationsmittel, das biologische Verbindungen über Radikalkettenreaktionen angreift. Die molekularen Wirkungsweisen von Ozon auf Organismen sind einigermaßen gut untersucht und verstanden; das Gleiche gilt für die ökophysiologi-

schen Auswirkungen. Pflanzen sind in zahlreichen Experimenten auf ihre Ozonempfindlichkeit und -antwort getestet worden. Ozon führt auf physiologischer Ebene zum programmierten Zelltod, auf makroskopischer Ebene zu sichtbaren Blattschädigungen, auf Organ-Ebene zu einer verfrühten Alterung und auf Individuen-Ebene zu verringerter Produktivität. Der Schwerpunkt solcher Untersuchungen lag stets auf Nutzpflanzen mit dem Hintergrund, mögliche Ernteauffälle quantifizieren zu können, oder auf Baumarten im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden, für die u. a. Photooxidantien wie Ozon verantwortlich gemacht werden. Wildpflanzenarten sind demgegenüber von der Forschung eher stiefmütterlich behandelt worden. Bislang sind von mehr als 5.000 in Mitteleuropa einheimischen Gefäßpflanzenarten erst weniger als 200 – zumeist in Kurzzeitexperimenten – auf ihre Ozonantwort getestet worden [6]. Die Datenlage wird noch schlechter, wenn



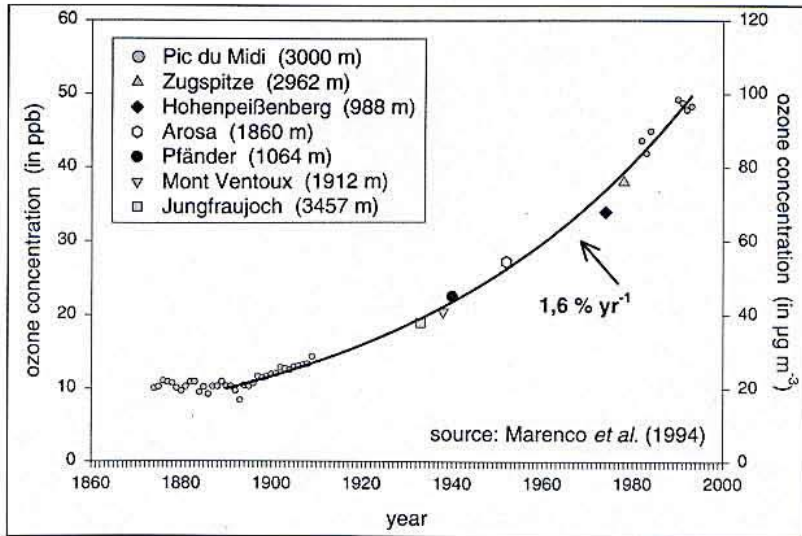


Abb. 3: Entwicklung der Ozonkonzentrationen an verschiedenen Messstationen in europäischen Hochlagen von 1870 bis 1993. Die Daten deuten für diesen Zeitraum auf einen exponentiellen Anstieg von 1,6 % pro Jahr. Alle Stationen liegen in Industrie-fernen, nicht direkt von KFZ-Emissionen betroffenen Regionen (die Grafik wurde von Dr. Ludger Grünhage, Institut für Pflanzenökologie, zur Verfügung gestellt).

man versucht, Informationen über die Auswirkungen von Ozon auf Pflanzengemeinschaften oder gar auf Ökosysteme zu erhalten. Einige wenige Arbeiten belegen aber, dass troposphärisches Ozon durchaus das Potential hat, die Biodiversität zu beeinträchtigen. So sank unter Ozoneinfluss die Artendiversität auf Rodungsflächen in Kiefernforsten, die ihrer natürlichen Sukzession überlassen wurden, durch die zunehmende Dominanz von Brombeeren deutlich ab [7].

Hohe Belastungen mit troposphärischem Ozon sind – in erdschichtlichen Zeiträumen betrachtet – ein sehr, sehr junges Phänomen. Viele andere globale Veränderungen, wie beispielsweise die stark ansteigenden Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre, über deren klimatische und ökologische Auswirkungen wir uns ernsthaft Sorgen machen müssen, sind in der Vergangenheit bereits aufgetreten. Seit der Diversifikation der Samenpflanzen, die vor rund 130 Millionen Jahren begann, sind in der Atmosphäre alle  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zwischen 200 und  $3000 \mu\text{l l}^{-1}$  vorgekommen – heute liegen sie bei  $370 \mu\text{l l}^{-1}$ . Hingegen gibt es keinen Grund anzunehmen, dass in der Vergangenheit jemals

ähnlich hohe Ozonwerte in der Troposphäre aufgetreten sind wie heute, da die Emission von Vorläuferstoffen nicht entsprechend hoch gewesen sein kann.

Ozonstress ist demnach eine neue Umweltvariable, auf die sich die Mehrzahl der Organismen und der Ökosysteme noch kaum haben einstellen können. Auch aus diesem Grund muss gefragt werden, ob es Effekte durch Ozon auf die Biodiversität gibt.

Da jeder Genotyp, jede Art, unterschiedlich stark auf Ozon reagiert, müssen Verschiebungen im Artgefüge von Systemen und letztlich Effekte auf die Biodiversität erwartet werden. Die wenigen bislang vorliegenden experimentellen Studien, die über die Frage der Ozonwirkung auf Monokulturen hinausgehen, bestätigen diese Erwartung. Sie lassen aber keine Generalisierung und keine Vorhersage zu, sondern stehen isoliert nebeneinander, da sie nicht repräsentativ sind und da ein gemeinsamer theoretischer Hintergrund fehlt, anhand dessen die Ergebnisse interpretiert und erklärt werden können. Genau hier setzt das Projekt „BIOSTRESS“ (Biodiversity in Herbaceous Semi-Natural Ecosystems under Stress by Global Change Components) an,

das seit dem 1. Januar 2000 aus Mitteln der Europäischen Union gefördert und von der Justus-Liebig-Universität koordiniert wird. Beteiligt sind Arbeitsgruppen aus Großbritannien, den Niederlanden, Italien, Spanien, der Schweiz und Deutschland. Eine Forschungsgruppe der Auburn University in Alabama, USA, ist wissenschaftlich assoziiert, ohne Vertragspartner der Europäischen Union zu sein (siehe Tabelle 1).

### Der Forschungsansatz

Das BIOSTRESS-Projekt ist darauf ausgerichtet, Veränderungen der Biodiversität aufgrund globaler Veränderungen zu erkennen und die dahinter stehenden Mechanismen zu verstehen. Troposphärisches Ozon wird dabei als ein Werkzeug benutzt, um das Pflanzenwachstum in wichtigen halbnatürlichen, krautigen Ökosystemen in verschiedenen Regionen Europas zu stören und daraus allgemein gültige Regeln abzuleiten. Am Ende des Projekts wird die Etablierung eines PC-basierten Expertenwerkzeugs stehen. Dieses „General Expert System Tool“ wird potentielle Nutzer in die Lage versetzen, die Gefährdung von Ökosystemen durch Ozon zu prognostizieren. Als Eingabe sind Daten zu den erwarteten Ozon-Szenarien und zur Vegetation des betroffenen Ökosystems notwendig. Die Beschreibung der Vegetation erfolgt dabei durch eine Zuordnung der Arten zu bestimmten funktionellen Typen, die anhand weniger, einfach zu messender Charakteristika der Arten be-

JUSTUS-LIEBIG-  
UNIVERSITÄT  
GIESSEN

Priv.-Doz. Dr. Andreas Fangmeier

Institut für Pflanzenökologie  
IFZ für Umweltsicherung  
Heinrich-Buff-Ring 26-32  
35392 Gießen  
Tel.: 0641/99-35342  
Fax: 0641/99-35309  
e-Mail: andreas.Fangmeier@bot2.bio.uni-giessen.de





Ursula Sittig, Jahrgang 1968, studierte an der Justus-Liebig-Universität Gießen und an der Technischen Hochschule Braunschweig Biologie; Promotion an der Forstlichen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen. Seit November 1999 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenökologie mit den Arbeitsschwerpunkten access-Datenbanken, Organisation und Koordination innerhalb des BIOSTRESS-Projektes tätig.

| untersuchtes Ökosystem   | einbezogene Gefäßpflanzenarten   | Art des Experiments (M = Mesocosmen, F = komplexe Freilandsysteme) | Verantwortlicher Partner des BIOSTRESS-Konsortiums   |
|--|--|--|--|
| Ruderalssysteme  | <i>Poa pratensis</i><br><i>Rumex obtusifolia</i><br><i>Trifolium repens</i><br><i>Trifolium pratense</i><br><i>Epilobium hirsutum</i><br><i>Plantago major</i><br><i>Phleum pratense</i> | M,<br>Freiland-<br>Expositionskammern                              | The University of Newcastle Upon Tyne, Department of Agriculture and Environmental Sciences, Newcastle, UK |
| feuchtes Grünland  | <i>Agrostis capillaris</i><br><i>Carex nigra</i><br><i>Lychnis flos-cuculi</i><br><i>Molinia caerulea</i><br><i>Plantago lanceolata</i><br><i>Holcus lanatus</i>                         | M,<br>Freiland-<br>Expositionskammern                              | Plant Research International, Department of Crop and Production Ecology, Wageningen, NL                    |
| intensiv genutztes Grünland  | <i>Poa pratensis</i><br><i>Achillea millefolium</i><br><i>Anthoxanthum odoratum</i><br><i>Hypericum perforatum</i><br><i>Rumex acetosa</i><br><i>Veronica chamaedris</i>                 | M,<br>Freiland-<br>Expositionskammern                              | Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Agrarökologie, Braunschweig, D              |
| Dehesa-Ökosystem   | sechs aus insgesamt 30 Arten, die derzeit einem Screening-Versuch unterworfen werden   | M, Freiland-<br>Expositionskammern                                 | CIEMAT, Ecotoxicología de la Contaminación Atmosférica, Madrid, E  |
| extensiv genutztes Grünland  | 41 vorkommende Arten   | F,<br>kammerloses Freiland-<br>Expositionssystem                   | FAL-IUL, Institute of Environmental Protection and Agriculture, Bern (CH)                                  |
| Halbtrockenrasen auf Kalk  | 35 ausgesäte Arten   | F,<br>kammerloses Freiland-<br>Expositionssystem                   | Justus-Liebig-Universität, Institut für Pflanzenökologie, Giessen, D                                       |
| *Sukzessionsflächen in einem Kiefernforst  | über 40 Arten  | F,<br>Freiland-<br>Expositionskammern                              | Auburn University, School of Forestry, Auburn, USA   |
| *Auburn University ist kein Vertragspartner der Europäischen Union, ist aber wissenschaftlich mit dem BIOSTRESS-Projekt assoziiert |  |  |  |

Tabelle 1: Übersicht der Experimente an halbnatürlichen Ökosystemen zur Wirkung von troposphärischem Ozon auf die Biodiversität im BIOSTRESS-Projekt

stimmt werden können.

Nutznießer und Nutzer des Projekts sind potentiell alle Institutionen, die mit Naturschutzmaßnahmen und internationalen wie nationalen Regelwerken zur Erhaltung der Biologischen Vielfalt befasst sind, sowie alle Einrichtungen, die auf dem Gebiet der Luftreinhaltung, vor allem im Zusammenhang mit der Etablierung von Grenzwerten, tätig sind.

### Ein integrierender Ansatz für Europa – und darüber hinaus

Zeitlich und finanziell, zum Teil auch technisch ist es unmöglich, aber auch unsinnig, alle vorkommenden Pflanzenarten oder alle Ökosysteme in einer Region experimentell auf ihre Ozon-Empfindlichkeit zu testen. Dafür ist – auch im vergleichsweise artenarmen Europa – die Biodiversität viel zu

hoch. Hinzu kommt, dass die Ozon-Antwort der Vegetation erheblich von den sonstigen Randbedingungen, in aller erster Linie von der Witterung, mitbestimmt wird, so dass nur langfristige Untersuchungsreihen in Frage kommen. Die Antworten werden aber schneller benötigt.

Organismen lassen sich auf verschiedene Art und Weise einordnen: taxonomisch – dieser Ansatz

liegt der Artendiversität zugrunde – oder nach funktionellen Gruppen, das heißt nach Arten, die ähnliche Funktionen in Ökosystemen erfüllen und ähnliche Strategien zum Überleben entwickelt haben. Die Einteilung nach funktionellen Gruppen wird im BIOSTRESS-Projekt gewählt, um möglichst effizient zu einem generellen Verständnis von Ozon-Wirkungen zu kommen, auf dessen Basis Prognosen in Form des oben genannten Expertenwerkzeugs möglich werden. Mit diesem Ansatz gelingt es, Ergebnisse aus völlig verschiedenen Ökosystemen kreuz und quer aus Europa mit absolut unterschiedlichem Arteninventar unter einem gemeinsamen theoretischen Dach zu vereinen und generelle Funktionsmechanismen abzuleiten, die dann für ein entsprechend weites Spektrum von Ökosystemen Gültigkeit haben. Um zu beweisen, dass der Ansatz auch für andere als für europäische

Systeme funktioniert, werden wir unser Expertenwerkzeug auch an Daten testen, die in den USA gewonnen wurden – an der erwähnten Studie zur Ozon-Wirkung auf Rodungsflächen während früherer Sukzessionsstadien [7].

Zur Erstellung des Expertenwerkzeugs wird das BIOSTRESS-Konsortium Experimente mit veränderten Ozon-Konzentrationen in sehr unterschiedlichen Ökosystemen durchführen. Solche Experimente lassen sich in der Realität, aber auch an virtuellen Systemen im Computer-Modell durchführen. Das BIOSTRESS-Projekt benutzt beide Ansätze. Im Modellversuch am Computer werden virtuelle Pflanzengemeinschaften aus „Arten“ unterschiedlicher funktioneller Typen zusammengestellt, die sich hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, Ressourcen zu erschließen, hinsichtlich ihrer Wachstumsraten und hinsichtlich ihrer Stressempfindlichkeit

unterscheiden. Diese virtuellen Gemeinschaften „wachsen“ dann unter definierten Ozon-Belastungen für beliebig viele „Vegetationsperioden“ und lassen sich hinsichtlich möglicher Artenverschiebungen und Effekte auf die Biodiversität durch Ozon auswerten. Gleichzeitig werden Experimente in der Realität durchgeführt. Dazu wurden halbnatürliche Ökosysteme in Europa ausgewählt, die aufgrund ihres Gefährdungsgrades oder wegen ihrer hohen Biodiversität von besonderer Bedeutung sind. Die folgenden Abschnitte beschreiben die Modelle und die Experimente in der realen Welt näher.

### Die Modelle

Zwei verschiedene Typen von Wachstumsmodellen für Pflanzengemeinschaften werden im BIOSTRESS-Projekt eingesetzt und





Ulrike Paetz, Jahrgang 1972, studierte Biologie an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2000 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenökologie an der Universität Gießen tätig. Ihr Arbeitsschwerpunkt sind experimentelle Untersuchungen zu möglichen Veränderungen in Halbtrockenrasen auf Kalk durch Ozon, die im Rahmen des BIOSTRESS-Projektes in Gießen durchgeführt werden.

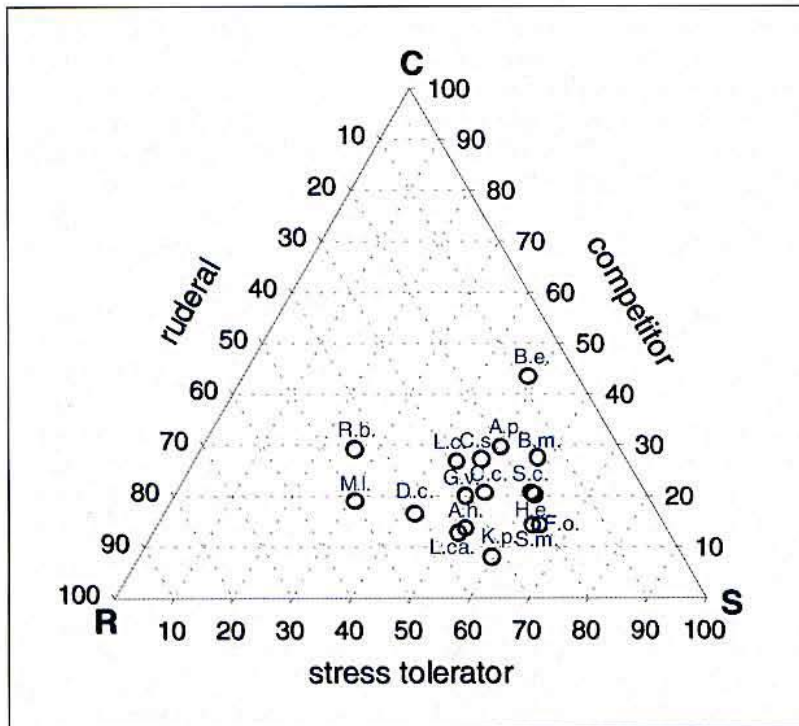


Abb. 4: Graphische Darstellung des C-S-R-Modells der Vegetation und Position im C-S-R-Kontinuum von 17 der insgesamt 35 Arten, die im Halbtrockenrasenexperiment der Gießener Arbeitsgruppe untersucht werden. Für ca. 1000 Gefüßpflanzenarten ist die Einordnung im C-S-R-Kontinuum bereits erfolgt; für Arten mit unbekannter Positionierung kann diese durch die Erfassung von nur sieben einfach zu bestimmenden Charakteristika der Arten mit großer Genauigkeit durchgeführt werden.

interagieren miteinander. Das erste Modell ist ein mechanistisches Wachstumsmodell, bei dem einige Arten virtuell in Konkurrenz miteinander wachsen können. Dieses Modell „VegPop“ wurde an der Agricultural University in Wageningen, Holland, entwickelt, um das Wachstum konkurrierender Gräser in Grünlandökosystemen bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung und in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen simulieren zu können. Für diesen Einsatzzweck hat es seine Tauglichkeit bereits bestens bewiesen: Das Modell ist in der Lage, die Populationsentwicklung von Drei-Arten-Gemischen über mehrere Jahre mit einer Abweichung von weniger als 10 % im Vergleich zum Experiment in der realen Welt zu prognostizieren. Das Modell rechnet mit einem Zeittinkrement von einem Tag und benötigt eine Reihe von Eingabevariablen, die als Berechnungsgrundlage dienen. Zu diesen Eingabevariablen gehören Klimadaten, wie

tägliche Temperaturminima und -maxima sowie Globalstrahlung, und außerdem elf verschiedene Variablen, die an jeder realen Pflanzenart einige Male in der Vegetationsperiode erhoben werden müssen, wie beispielsweise Trockenmassen der einzelnen Organe, Höhe und flächige Ausdehnung der Art, Blattflächenindex, Blühtermin und Seneszenz-Termin. „VegPop“ ist in erster Linie zur Simulation der Populationsentwicklung in relativ artenarmen Beständen geeignet, liefert aber sehr genaue, quantitative Ergebnisse. Die Aufgabe des Projekt-Partners in Wageningen besteht zunächst darin, die Wirkung von Ozon auf die Arten zu parametrisieren und in das Modell einzubauen und das Modell später anhand der Daten aus den Experimenten (siehe Abschnitt „Harte Fakten“) zu kalibrieren.

Das zweite Modell beruht auf einer ökologischen Theorie, die in Sheffield, England, entwickelt wurde. In diesem Denkansatz werden

Arten in verschiedene funktionelle Typen unterteilt, die sich auf drei verschiedene grundlegende Überlebensstrategien – und ihre Mischformen – zurückführen lassen. Arten können konkurrenzstark sein und solche Lebensräume besiedeln, in denen alle nötigen Ressourcen vorhanden sind und in denen es keine Zerstörungen der Habitate gibt, in denen aber ein hoher Konkurrenzdruck herrscht. Dieser funktionelle Typ wird als „Competitor“ (C) bezeichnet. Eine andere Überlebensstrategie kann in der Anpassung an solche Lebensräume bestehen, in denen eine oder mehrere Ressourcen begrenzt sind (z.B. Salzstandorte, aride Standorte, Waldböden, extrem nährstoffarme Standorte) und dadurch ein latenter Stresszustand herrscht. Diese Arten sind „Stress-Tolerators“ (S). Wieder andere Arten sind daran adaptiert, Standorte zu besiedeln, die nur kurzfristig bestehen und dann wieder zerstört werden. Diese letzte Gruppe gehören zu den „Ruderals“ (R). Dieses C-S-R-Modell der Vegetation [8] kann als Dreieck dargestellt werden (Abb. 4); jeder Pflanzenart kann eine bestimmte Position in diesem Dreieck zugeordnet werden. Genauso kann jede noch so komplexe Pflanzengemeinschaft (Phytozönose) als Position im Dreieck als gewichtetes Mittel aller vorkommenden Arten eingezeichnet werden. Im langfristigen Experiment oder in der langfristigen Beobachtung kann registriert werden, ob und wie sich die mittlere Position einer Pflanzengemeinschaft im C-S-R-Kontinuum im Lauf der Zeit verändert, und in den zeitgleich registrierten Umweltparametern kann nach den Ursachen einer möglichen „Wanderung“ und Veränderung der Phytozönose gesucht werden.

Das C-S-R-Modell dient als Grundlage für ein Computer-Modell, das nach dem Prinzip Zellulärer Automaten funktioniert. Eine Vorversion dieses Modells ist im Internet frei verfügbar (<http://www.shef.ac.uk/uni/academic/N-Q/nuocpe/ucpe/>). Die aktuelle Version arbeitet mit sieben verschiedenen funktionellen Typen aus dem C-S-R-Spektrum und



mit einer theoretisch (fast) unbegrenzten Zahl von Individuen und Iterationen und lässt Simulationen der Entwicklung solcher virtuellen, komplexen Pflanzenbestände unter verschiedenen Bedingungen hinsichtlich der Ressourcen-Verfügbarkeit (Licht, Nährstoffe) in Interaktion mit der Bestandesdichte zu. Das Modell eignet sich hervorragend, um Aussagen über Trends in sehr komplexen Gemeinschaften über lange Zeiträume zu treffen. Im Gegensatz zu „VegPop“ liefert es aber keine quantitativen Daten. Die Aufgabe der Arbeitsgruppe aus Sheffield besteht – wie die der Arbeitsgruppe aus Wageningen mit dem

„VegPop“-Modell – zunächst darin, Ozon als weitere Umweltvariable in das Modell zu integrieren. Später wird das zelluläre Modell der Arbeitsgruppe aus Sheffield mit „VegPop“ interagieren; die Daten aus den Experimenten in der realen Welt an komplexen Ökosystemen werden dann zur Kalibrierung dienen.

#### Harte Fakten

Modelle sind ein hervorragendes Werkzeug, um die richtigen Fragen zu stellen, zum Teil auch, um die richtigen Antworten zu finden.

Wenn sie auf die Wirklichkeit angewendet werden sollen, sind sie allerdings ohne eine Kalibrierung anhand realer Daten wertlos. Deshalb werden im BIOSTRESS-Projekt halbnatürliche, krautige Ökosysteme oder Ökosystemausschnitte verschiedenen Ozon-Konzentrationen ausgesetzt. Die Experimente erfolgen entweder an in Töpfen gezogenen Modellpflanzengemeinschaften, die aus wenigen Arten bestehen, oder an komplexen Systemen im Freiland. In Tabelle 1 findet sich eine Übersicht der untersuchten Ökosysteme, der Pflanzenarten, des methodischen Ansatzes und der federführenden Partner im BIOSTRESS-Projekt. Alle Partner, die hier aufgelistet sind, messen die Auswirkungen der Ozon-Exposition auf Artenverschiebungen in ihren Untersuchungssystemen. Darüber hinaus nehmen sie eine Zuordnung aller Arten zu bestimmten funktionellen Typen vor. Die dazu notwendigen Parameter sind von den Modellen vorgegeben (vgl. C-S-R-Modell, Abb. 4). Die Modellierer werden damit in die Lage versetzt, virtuelle Pflanzengemeinschaften mit der gleichen Zusammensetzung von funktionellen Typen wie im realen Experiment zu konstruieren und entsprechende Experimente mit Ozon in Modellsimulationen durchzuführen.

Ergebnisse aus den in Tabelle 1 genannten Experimenten werden erst relativ spät verfügbar sein. Um den Modellierern den Einstieg in die Parametrisierung der Ozon-Effekte in ihren Modellen zu ermöglichen, führt ein Labor in Pisa, Italien, das sich auf die biochemische Früherkennung von Ozon-Wirkungen spezialisiert hat, ein Screening der Pflanzenarten aus allen Experimenten unter standardisierten Bedingungen durch.

Das BIOSTRESS-Projekt interessiert sich nicht nur für Effekte, die Ozon auf die Vegetation der betroffenen Ökosysteme ausübt, sondern geht noch einen Schritt weiter in Richtung auf mögliche Beeinträchtigungen der Funktion der Systeme. Für die Stoffkreisläufe in Ökosystemen spielen Bodenmikroorganismen eine zentrale Rolle. Im

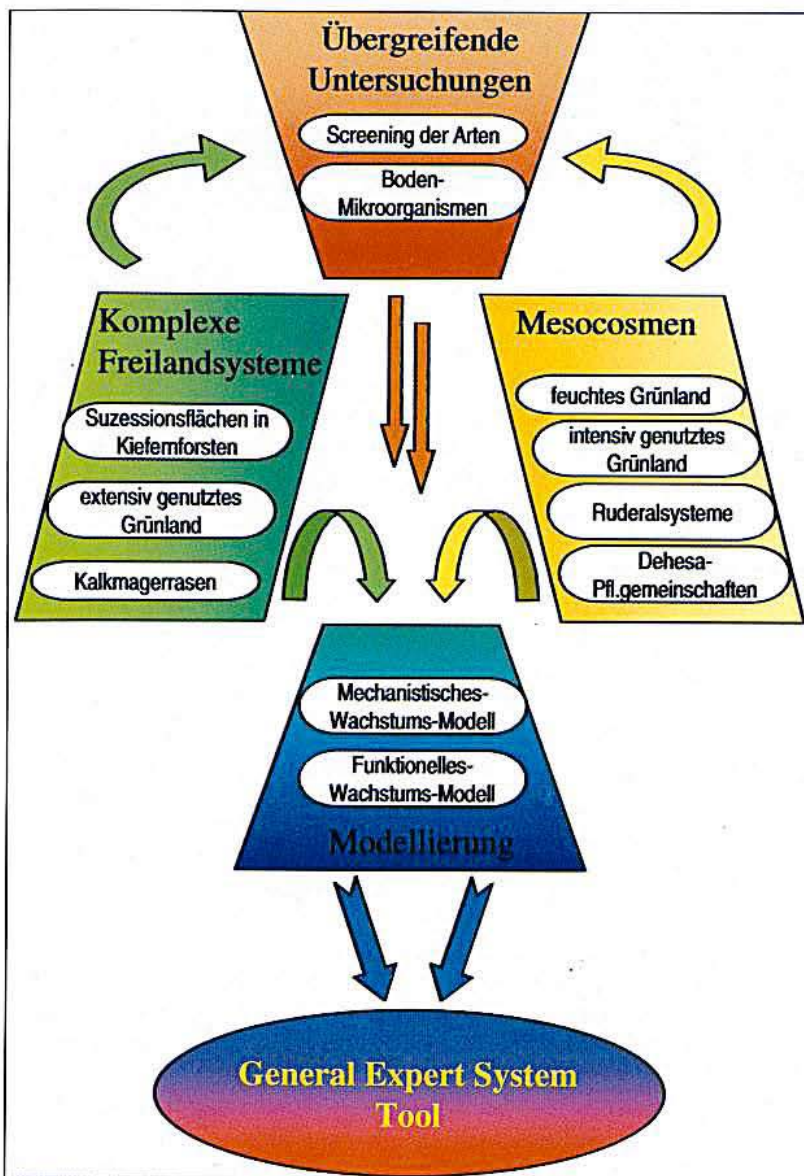


Abb. 5: Die wichtigsten Komponenten und ihr Zusammenwirken im BIOSTRESS-Projekt.





Abb. 6: Für die experimentellen Untersuchungen im Rahmen des BIOSTRESS-Projektes wurden auf der Lehr- und Forschungsstation des Instituts für Tierzucht am Oberen Hardthof 30 Versuchsflächen (Plots) mit einem Durchmesser von je 2 m angelegt. Einer dieser Plots ist im Vordergrund deutlich zu erkennen, weitere Plots etwas undeutlicher im Hintergrund.

Foto: Paetz



Abb 7: Auf den Versuchsflächen werden mit Hilfe des abgebildeten Plexiglasrahmens Artmächtigkeitsanalysen nach der Punktquadrat-Methode durchgeführt. Links blüht violett Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*); vorne rechts ist pink blühend die Futter-Esparsette (*Onobrychis viciifolia*) zu erkennen.

Foto: Paetz

BIOSTRESS-Projekt wird die strukturelle Diversität der Mikrobengemeinschaften im Boden der experimentellen Plots an allen in Tabelle 1 genannten Standorten (mit Ausnahme der Studie in den USA) erfasst. Im Hintergrund steht die Überlegung, dass jeder Stress auf die oberirdischen Organe der Vegetation Auswirkungen auf pflanzliche Ausscheidungen in den Boden, die Wurzelexudation, hat und damit auch die Lebensbedingungen im Boden verändern wird. Diese Untersuchungen werden zentral von einer Arbeitsgruppe der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig durchgeführt, wo die entsprechenden genetischen Methoden entwickelt wurden.

Abbildung 5 veranschaulicht schematisch, wie die einzelnen Komponenten des BIOSTRESS-Projekts ineinander greifen und aufeinander aufbauen.

#### Der experimentelle Beitrag aus Gießen

Die Justus-Liebig-Universität hat im BIOSTRESS-Projekt zwei Aufgaben: Neben der administrativen und wissenschaftlichen Gesamt-Koordination des Vorhabens werden in Gießen experimentelle Untersuchungen zu möglichen Veränderungen durch Ozon in Halbtrockenrasen auf Kalk durchgeführt. Dazu sind in den vergangenen Monaten entsprechende Untersuchungsflä-

chen auf der Lehr- und Forschungsstation des Instituts für Tierzucht am Oberen Hardthof mit freundlicher Unterstützung von Prof. Dr. Georg Erhardt und Dr. Helmut Tripp angelegt worden (Abb. 6). Da dort zwar die klimatischen, aber nicht die geologischen Voraussetzungen für das Vorkommen von Halbtrockenrasen herrschen, wurden 30 künstliche Versuchsflächen (Plots) mit Kalksubstrat versehen und eine Saatgutmischung aus 35 Arten aufgebracht. Jeder dieser kreisförmigen Plots hat einen Durchmesser von 2 m. Um Randeffekte zu vermeiden, wird die Entwicklung der Bestände auf den Plots auf einem zentralen Kreis mit einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> kontinuierlich verfolgt, wobei



pflanzensoziologische Methoden und Artmächtigkeitsanalysen nach der Punktquadrat-Methode (Abb. 7) angewandt werden, um Ausgangsdaten für Diversitätsanalysen zu erhalten. Gleichzeitig wird auf dem Gelände am Oberen Hardthof ein Expositionssystem aufgebaut, das aus 20 einzelnen Expositionsringen besteht, in denen die Plots unterschiedlichen Ozonkonzentrationen ausgesetzt werden können. Die 30 Plots werden gegen Ende der Vegetationsperiode 2000 mittels einer Clusteranalyse auf ihre Gleichförmigkeit untersucht. Sollten sich Unterschiede der Bestandentwicklung auf den Plots zeigen, werden die Cluster möglichst gleichmäßig auf sechs verschiedene Behandlungen mit je fünf parallelen Plots verteilt:

1. Ernteplots, die nicht zur Dauerbeobachtung, sondern für Ernten dienen, um Pflanzenparameter für die Modelle zu bestimmen;
2. Kontrollplots, die ohne Expositionssystem der Außenluft ausgesetzt sind;
3. Expositionplots, die mit einem Expositionsring versehen sind, aber nur Außenluft erhalten;
4. Expositionplots, die in Expositionsringen der 1,3-fachen Ozonkonzentration der Außenluft ausgesetzt werden;
5. Expositionplots wie unter 4., aber mit der 1,7-fachen Außenkonzentration;
6. Expositionplots wie unter 4. und 5., aber mit der 2-fachen Außenkonzentration.

Die Ozon-Exposition auf den Expositionplots beginnt im Frühjahr 2001 und wird für zwei Vegetationsperioden aufrecht erhalten. Die Auswertung der Expositionplots unter 3. bis 6. wird erlauben, Exposition-Wirkungsbeziehungen zu erstellen. Der Vergleich zwischen 2. und 3. dient dazu, mögliche Beeinflussungen und Artefakte durch die Expositionsringe an sich zu erkennen. Solche Artefakte sollten aber weitgehend ausgeschlossen sein, da es sich bei den Expositionsringen um ein neu entwickeltes, kammerloses Freiland-Expositionssystem handelt, bei dem eine Veränderung des Mi-

kroklimas weitgehend ausgeschlossen ist.

### Besonderheiten im 5. Rahmenprogramm der EU – die Einbindung von „Nutzern“

Das 5. Rahmenprogramm der EU verfolgt gegenüber den vergangenen Programmen eine veränderte Strategie: Die Nutzung und Anwendung von wissenschaftlichen Ergebnissen aus geförderten Projekten hat eine zentrale Position eingenommen. Antragsteller müssen detailliert darlegen, wer die Nutzer ihrer Ergebnisse sein werden und auf welche Art und Weise die Verbreitung der Ergebnisse und die Einbindung von Nutzern in das Projekt sichergestellt wird. Idealerweise sind die künftigen Nutzer bereits als Partner dem Konsortium angegliedert.

Schon in der Antragsphase sind von den Partnern des BIOTRESS-Projekts potentielle Nutzer der Ergebnisse benannt und angesprochen worden. Dabei handelt es sich um sehr unterschiedliche Nutzergruppen (Ämter, Ministerien, Nicht-Regierungs-Organisationen, interessierte Laien) sowohl aus den einzelnen Staaten der teilnehmenden Partner als auch um zentrale, europaweit agierende Einrichtungen. Aufgrund der deutlich unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Nutzer werden bei ihrer Einbindung mehrere Wege beschritten; dazu gehört die Web-site des Projekts (<http://www.uni-giessen.de/biostress/>), das Versenden von Informationsbriefen zum Fortgang des Projekts in regelmäßigen zeitlichen Abständen und die Einladung zu den mindestens einmal jährlich stattfindenden Treffen des Konsortiums, die jeweils eine separate Sektion für die Nutzer beinhalten. Eine Liste der involvierten Institutionen kann auf der Web-site des Projekts eingesehen werden. Dort finden sich auch detaillierte und ständig aktualisierte Informationen zum Fortgang des Projekts.

Das BIOTRESS-Projekt hat zum Ziel, Gefährdungen der Biodiversi-

tät durch troposphärisches Ozon zu analysieren und zu prognostizieren. Der Umweltfaktor „Ozon in der Troposphäre“ hat sich innerhalb der vergangenen hundert Jahre dramatisch verändert, und wir gehen davon aus, dass sich bereits Effekte ergeben haben. Wir müssen auch annehmen, dass diese Effekte subtil und anhand reiner Freilandbeobachtungen schwer zu erkennen sind, da sie von einer Vielzahl weiterer Effekte im Rahmen der globalen Veränderungen begleitet werden. Wir sind überzeugt, dass es uns gelingen wird, die Rolle von Ozon für die Biodiversität in den uns interessierenden Ökosystemen zu erkennen, und wir hoffen, damit einen kleinen, aber wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Konvention über Biologische Vielfalt in Europa leisten zu können. •

### LITERATUR

- [1] Purvis A, Hector A (2000) Getting the measure of biodiversity. *Nature* 405: 212-219.
- [2] <http://www.biodiv.org/>
- [3] Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, da Fonseca GAB, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- [4] Bobbink R (1991) Effects of nutrient enrichment in Dutch chalk grassland. *J. Appl. Ecol.* 28: 28-41.
- [5] Marengo A, Gouget H, Nédélec P, Pagés J-P, Karcher F (1994) Evidence of a long-term increase in tropospheric ozone from Pic du Midi data series: Consequences: Positive radiative forcing. *J. Geophys. Res. - Atmos.* 99: 16617-16632.
- [6] Franzaring J, Dueck ThA, Tonnejck AEG (1999) Can plant traits be used to explain differences in ozone sensitivity between native European plant species? In: *Critical Levels for Ozone - Level II* (Fuhrer J, Achermann B, Eds.). Bern: Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, pp. 83-87.
- [7] Barbo DN, Chappelka AH, Somers GL, Miller-Goodman MS, Stolte K (1998) Diversity of an early successional plant community as influenced by ozone. *New Phytol.* 138: 653-662.
- [8] Grime JP, Hodgson JG, Hunt R (1988) *Comparative Plant Ecology - a functional approach to common British Species*. London: Unwin Hyman.