

Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 20, 125-137. Hannover 2008

## **Langfristige Umsetzung der FFH-Richtlinie im Lichte globaler Änderungen**

- Anton Fischer, Freising -

### **Zusammenfassung**

Die Umwelt unterliegt global derzeit großen Veränderungen. Die Auswirkungen von Temperaturerhöhung, geänderten Niederschlägen sowie angestiegenem CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre und hohen N-Immissionen auf Pflanzengesellschaften und Ökosysteme werden mit Fokus auf Mitteleuropa dargelegt. Temperaturerhöhungen werden Änderungen der Artenzusammensetzung in Beständen sowie ein Wandern der Arten horizontal und vertikal ermöglichen bzw. erzwingen. Niederschläge werden sich in Zukunft regional sehr unterschiedlich entwickeln; betroffen sind vor allem Arten und Pflanzengesellschaften des feuchten bis nassen Standort-spektrums. Auf erhöhte CO<sub>2</sub>-Werte reagieren die Arten spezifisch, auch hier ist mit einer Änderung der Konkurrenzbeziehungen in Beständen zu rechnen. Stickstoffeinträge finden überall statt, beeinflussen die Ökosysteme aber durchaus in Abhängigkeit von der jeweiligen Standortfaktorenkonstellation differenziert.

Es ist zu erwarten, dass zukünftig neue Konstellationen der Umweltbedingungen resultieren, wahrscheinlich mit einer sehr großen regionalen Variabilität. Geänderte Konkurrenzbeziehungen sowie unterschiedlich deutliche und unterschiedlich schnelle Reaktionen der Arten bei Umweltänderungen legen nahe, davon auszugehen, dass Systeme als Reaktion auf geänderte Umweltbedingungen nicht „en bloc“ wandern werden, sondern es im Zuge der Umweltänderungen zu einer Neukombination von Arten mit unbekannter Gewichtung der einzelnen Arten kommen wird. Wandernde Arten sind heute aber mit anthropogenen Wanderungshindernissen und reduzierter Verfügbarkeit natürlicher Vektoren konfrontiert. Freiwerdende Plätze in existierenden Systemen können ggf. von neuen Arten, u.a. auch von Neobiota, rasch eingenommen werden.

Für Schutzgebiete bedeutet das: Im Zuge des „global change“ müssen Wandermöglichkeiten angeboten und Gebiete für zukünftig sich neu formende Systeme bereitgestellt werden. Schutzgebiete müssen groß genug sein für neu entstehende biologische Systeme. Letztlich wird zu akzeptieren sein, dass sich natürliche Systeme den sich ändernden Umweltsituationen anpassen werden. Das Natura 2000-Gebietssystem bietet gute Voraussetzungen für eine solche Anpassung. Der Grad der Vernetzung wird in Zukunft aber zu optimieren sein, um den Arten zu ermöglichen, neu entstehende potenzielle Lebensräume zu erreichen. Vergrößerung der einzelnen Gebiete erhöht die Chance, dass sich neue Artenkombinationen längerfristig etablieren können. Das FFH-Konzept ist für den vermutlich anstehenden internen Artenumbau insofern gut gerüstet, als die Lebensraumtypen recht weit gefasst sind.

### **Abstract**

**Global change and the European Fauna-Flora-Habitat directive:** The environment is changing globally. Consequences of increasing temperature, changed precipitation patterns, increasing atmospheric CO<sub>2</sub>-content and high nitrogen immission rates on vegetation stands,

communities and ecosystems, respectively, are discussed with focus on Central Europe. Temperature increase may change species composition everywhere and may cause species migration both horizontally and vertically (in mountain regions). Precipitation is changing according to regional patterns and is much less predictable than temperature increase; species and communities will react on a local scale. Increased CO<sub>2</sub> may influence ecosystems not only indirectly (temperature increase) but also directly, because species-specific reactions are expected and documented. Nitrogen immissions take place everywhere in Europe and in many regions worldwide; they always influence the ecosystems, although the extent varies depending on the specific site conditions at any one place.

Changed competition interrelationships, different reaction intensities as well as different reaction rates of each species suggest that biological systems will not migrate as a whole as a response to global climate change but that a rearrangement of affected assemblages with thus far unknown weightings of species is to be expected. Places that will become free for recolonisation in existing systems may become occupied by new species. Neobiota in particular may have a better chance of establishing. Migrating species are confronted by migration barriers, not only natural ones but – more and more so today – man-made ones. Most areas can no longer be used as a migration matrix because of intensive utilisation by man. The availability of natural vectors (transportation of diaspores) is also limited.

The consequences for the adaptation of protection areas include: Real networks have to be realised, the migration of species between protected areas has to be possible, and the size must be large enough for biological systems with an unknown structure. Finally, we have to accept that biological systems will change while adapting to the new developing environments. Natura 2000 offers the best preconditions for such adaptations. The degree of interconnect-edness, however, has to be optimized in next future to make it possible for species to reach new emerging potential habitats. Enlargement of the protected areas increases the change for successful establishment of new emerging species assemblages.

## 1. Einführung

Die Ziele der Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992, sog. „Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie“, sind in Art. 2, Abs. 1 und 2 formuliert (<http://eur-lex.eu>). Es ist angestrebt, „... zur Sicherung der Artenvielfalt durch die Erhaltung der natürlichen Lebensräume... beizutragen“ und „... einen günstigen Erhaltungszustand der natürlichen Lebensräume und der wildlebenden Tier- und Pflanzenarten von gemeinschaftlichem Interesse zu bewahren oder wiederherzustellen“. Zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume und der Habitats der Arten wird das Schutzgebietssystem Natura 2000 eingerichtet, das nach Art. 3 (1) der Richtlinie „... den Fortbestand oder gegebenenfalls die Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes dieser natürlichen Lebensraumtypen oder Habitats der Arten ... gewährleisten“ soll.

Bestimmte Lebensräume sollen also *erhalten* und ein bestimmter Erhaltungszustand *bewahrt* werden. Weicht der Zustand von einer (nicht näher benannten) Zielgröße ab, so soll er *wiederhergestellt* werden.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts haben weltweit fundamentale Veränderungen wesentlicher Umweltparameter stattgefunden (z.B. IPCC 2007) und finden weiter statt. Zusammengefasst werden sie heute unter der Bezeichnung „*global change*“. Neben der aktuell intensiv diskutierten Temperaturänderung geht es um weitere Klimaparameter (besonders um Niederschlag), um CO<sub>2</sub> als Basis des C-Kreislaufes in Ökosystemen, um Zufuhr von Stickstoff und andere Pflanzennährstoffe via Immissionen, um Protoneneintrag („saurer

Regen“), um UV-B-Strahlung, um Ozon (siehe [www.casiroz.de](http://www.casiroz.de)) und Methan (IPCC 2007), aber auch um alle direkten und indirekten Wirkungen von Managementänderungen zu Land und zu Wasser. Es ist zu erwarten, dass von diesen Änderungen auch die im Rahmen von Natura 2000 geschützten Lebensräume und die darin lebenden Tiere und Pflanzen beeinflusst werden und dass zukünftig Anpassungen der Konzeption des Schutzgebietsnetzwerks Natura 2000 erforderlich werden.

Der vorliegende Beitrag will zunächst darstellen, wie die in Änderung befindlichen Umweltparameter derzeit auf Vegetationsbestände und Ökosysteme wirken und konzentriert sich dabei auf (i) Temperatur, (ii) Niederschlag, (iii) N-Immissionen und (iv) CO<sub>2</sub>. Er weist dann auf einige Prozesse hin, die unter den neuen Rahmenbedingungen für den Fortbestand von Populationen in Schutzgebieten wichtig werden und diskutiert abschließend die Problemsituation im Hinblick auf eine vorausschauende Schutzgebietsplanung.

Die Bedeutung geänderter Landnutzungen wird hier nicht behandelt, da sie im Rahmen des Verschlechterungsverbot in FFH-Gebieten von eher eingeschränkter Bedeutung ist. Stets ist zwischen Auswirkungen geänderter Landnutzungen und solchen anderer global change-Faktoren zu unterscheiden. Der Fokus liegt auf Mitteleuropa, globale Trends werden jedoch ebenso benannt. Der Beitrag versucht eine breite Übersicht über den aktuellen Wissensstand zu geben.

## 2. Welche Systeme sind besonders betroffen und warum?

### 2.1 Temperatur

Im Zeitraum von 1901 bis 2000 hat sich die globale Mitteltemperatur um 0,6 K erhöht, im Zeitraum 1906 bis 2006 um 0,74 K (IPCC 2007). Wir leben also in einer Zeit mit einem Temperaturanstieg mit zunehmendem Trend. Ein solcher Anstieg entspricht einer Verschiebung der Isothermen nach Norden um etwa 120 km. Das Ausmaß der Temperaturerhöhung ist aber regional sehr unterschiedlich. In Süddeutschland und im nördlichen Alpenraum z.B. stieg die Temperatur in den zurückliegenden drei Jahrzehnten um rund 1,5 K (SEILER 2003/04).

Signifikante Änderungen sowohl physikalischer als auch biologischer Systeme sind mittlerweile von allen Kontinenten bekannt. Auf der Basis von rund 29.500 Datensätzen konnten ROSENZWEIG et al. (2008) belegen, dass die meisten der beobachteten Änderungen im Einklang mit Temperaturanstieg sind und sich zudem ohne anthropogene Klima-Komponente nicht erklären lassen. Zu beachten dabei ist, dass für Arten und Ökosysteme nicht die Mittelwerte bedeutsam sind sondern die zunehmenden (die Mittelwert aber mit bestimmenden) Extremwerte.

#### • *phänologische Änderungen*

Erste Hinweise darauf, dass Pflanzen und Tiere tatsächlich auf ein geändertes Temperaturregime zu reagieren begonnen haben, geben phänologische Beobachtungen. So hat sich in Europa die Nutzung der Vegetationsperiode durch Gehölze in den letzten drei Jahrzehnten um über 10 Tage verlängert: die Vegetationsperiode beginnt heute etwa 6 Tage früher und endet etwa 4,8 Tage später (MENZEL & FABIAN 1999). Zugvögel kommen im Brutgebiet früher an und beginnen früher zu singen und zu brüten, Schmetterlinge erscheinen früher, und Amphibien beginnen früher mit ihrer Frühjahrsaktivität (WALTHER et al. 2002). Eine Meta-Analyse, die 677 Arten von Tieren und Pflanzen einschließt und eine Zeitspanne von 16 bis 132 Jahren abdeckt (PARMESAN & YOHE 2003) zeigt, dass 9 % der untersuchten Arten einen Trend der Verzögerung der Frühjahrserscheinungen zeigen, 27 % keinen Trend, aber 62 % einen Trend zur *Vorverlegung* der Frühjahrserscheinungen. Die Autoren resumieren: „... *highly sig-*

nificant, nonrandom patterns of change in accord with observed climate warming in the twentieth century ...“ (S. 41). Sofern nicht alle Ökosystemglieder zeitgleich auf das geänderte Temperaturregime reagieren, ist alleine hierdurch mit geänderten Interaktionen im Ökosystem zu rechnen.

• *Änderungen im Wachstums- und Regenerationsverhalten von Arten*

Alpine Ökosysteme gelten im Rahmen von Klimaänderungen als besonders sensitiv (SEILER 2003/04). Hierzu einige Ergebnisse aus einer aktuellen Studie aus den bayerischen Kalkalpen, Nationalpark Berchtesgaden (KUDERNATSCH 2005, 2007, KUDERNATSCH et al. 2005, 2008): In den Jahren 2002 bis 2004 wurde die Reaktion alpiner Magerrasen (Blaugras-Horstseggenrasen = Seslerio-Caricetum sempervirentis, Polsterseggenrasen = Caricetum firmiae) auf experimentell erhöhte Temperatur untersucht. Oben offene Gefäße („Open Top Chambers“, OTCs) aus UV-durchlässigem, 3 mm starkem Acrylglas wurden auf 1 m<sup>2</sup> große Vegetationsbestände aufgesetzt. Im Blaugras-Horstseggenrasen wurde damit eine Temperaturerhöhung während der Vegetationsperiode um 0,6 K erreicht, im Polsterseggenrasen um 1,4 K (16 OTCs je Gesellschaft, zu jeder OTC eine benachbarte Vergleichsfläche ohne OTC). Da die OTCs nicht dem Boden aufsaßen sondern 2 cm Abstand zur Bodenoberfläche hatten, war eine Luftzirkulation gewährleistet, so dass sich andere Mikroklimaparameter in der Kammer nicht änderten. Weder der Bodenwasserhaushalt noch die N-Verfügbarkeit wurden durch die OTCs beeinflusst. Fast alle untersuchten Pflanzenarten reagierten auf Temperaturerhöhung positiv bezüglich vegetativer (z.B. Blattlänge, Zahl der Blätter, Zahl der Stolonen) bzw. generativer (z.B. Zahl der Blüten, Zahl der Samen pro Frucht) Parameter. Allerdings war artspezifisch, mit welchem der zahlreichen gemessenen Parameter die jeweilige Art positiv reagierte und wann im Zeitverlauf die Reaktion auftrat. Artspezifische Reaktionen auf Änderung des Temperaturregims implizieren geänderte Interaktionen (z.B. Konkurrenzgleichgewichte) im Bestand.

Tatsächlich hat, wie Wiederholungsaufnahmen im selben Raum zwischen 1988 und 2003 zeigen, die Artenzahl pro Aufnahmefläche in beiden Gesellschaften um etwa 11 Arten zugenommen, wobei der Artenpool beider Gesellschaften aber gleich geblieben ist. Es hat eine Stetigkeitszunahme der Arten stattgefunden; insgesamt haben sich die Untereinheiten in beiden Gesellschaften schärfer gegeneinander abgesetzt (KUDERNATSCH 2005).

• *horizontale und vertikale Verschiebungen der Verbreitungsgebiete von Arten*

Dass Arten tatsächlich begonnen haben, ihre natürlichen Verbreitungsgebiete an neue Temperaturregime anzupassen, ist mittlerweile auch in Europa dokumentiert: Richtung Norden breitet derzeit *Ilex aquifolium* ihr Areal aus (BERGER & WALTHER 2007). Für Arten der alpinen Stufe ist eine Ausdehnung in höhere Höhenlagen nachgewiesen (GRABHERR et al. 1994, HOFER 1992, BURGA et al. 2004, KUDERNATSCH 2005, WALTHER et al. 2005). Eichen dringen in den Montseny Mountains (Katalonien, NE Spanien) in die oben anschließenden Buchenwälder vor und ersetzen dort die Buche (PENUELAS & BOADA 2003). Aus der etwa ein Jahrhundert überspannenden Zeitreihen-Studie von Berggipfeln im Bernina-Gebiet in den südwestlichen Schweizer Alpen von WALTHER et al. (2005) geht ein *zunehmender* Trend des Artenzugewinns per Dekaden hervor. Für ein isoliertes, von Gletschern umgebenes Terrain im selben Gebiet (Isla Persa) ließ sich zeigen, dass der mittlere Temperaturwert der neu hinzugekommenen Arten signifikant höher liegt als der der zu Beginn des 20. Jahrhunderts dort vorhandenen Pflanzenarten (2,09 gegenüber 1,53 auf der 5-teiligen Landolt-Skala, VITTOZ et al. 2008).

Sollten sich der aktuell festzustellende Trend des Temperaturanstiegs fortsetzen, werden diese Änderungen des Verbreitungsgebietes von Arten noch viel deutlicher ausfallen als bisher. Um erste Vorstellungen über das mögliche Ausmaß solcher Änderungen zu erhalten, kann das

Modellierungsinstrument der Klimahüllen (climatic envelopes) herangezogen werden, angewendet auf einzelne Pflanzenarten schon durch BOX et al. (1993). So berechnete KÖLLING (2007) die Klimahüllen für 27 Baumarten Mitteleuropas und leitet daraus Vorstellungen über mögliche Änderungen ihrer Verbreitungsgebiete bei geänderten Temperaturen ab. Für die wichtigste heimische Baumart Mitteleuropas, *Fagus sylvatica*, macht dieses zunächst noch grobe, lediglich die Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlagssumme berücksichtigende Modell bei einer moderaten Temperaturerhöhung von + 1,8 K bis zum Jahr 2100 potenzielle Gefährdungsbereiche in Deutschland deutlich: Neben einigen Gebieten im Oberrheingraben sind dies insbesondere der Nordosten Deutschlands mit Schwerpunkt Brandenburg.

BAKKENES et al. (2002) kalkulieren das klimabedingte Verhalten von rund 1.400 europäischen Pflanzenarten mit dem Modell EUROMOVE; der climatic envelope wurde in diesem Fall aus 13 Klimaparametern bestimmt. In der Periode 1990 bis 2050 könnten nach diesem Modell im Mittel 32 % der europäischen Pflanzenarten aus Gitterzellen mit etwa 50 km<sup>2</sup> Größe verschwinden; 44 % der Fläche Europas könnten von diesem Artenverlust (von mindestens 32 %) betroffen sein. Gleichzeitig könnten in etwa 40 % des Gebietes neu einwandernde Arten mehr als 50 % des Artenpools ausmachen. In eine ähnliche Größenordnung kommen THOMAS et al. (2004) bei einer globalen Analyse, die etwa 20 % der Festlandfläche der Erde ausmacht; bei Annahme eines mittleren Erwärmungs-Szenarios könnten bis 2050 etwa 15 bis 37 % der Arten klimabedingt aussterben.

Solche Modelle arbeiten zwangsläufig stark vereinfachend. So lässt sich argumentieren, die ökophysiologische Plastizität innerhalb der Art, z.B. in Form von angepassten lokalen Sippen, sei so groß (MANTHEY et al. 2007), dass die von climatic envelope-Modellen erzeugten Ergebnisse deutlich überzeichnet würden. Sie geben aber zumindest deutliche Hinweise darauf, in welchen Landschaften mit Änderungen der Lebensgrundlagen zu rechnen ist. Maßgeblich für die Gefährdung einer Art in einer Landschaft wird aber nicht die Temperatur selbst sein, sondern der (bei gleichzeitig nicht geänderten Niederschlägen) zunehmende Trockenstress (MANTHEY et al. 2007, s. nächstes Kap.).

Trotz aller kritischen Einschränkungen der Interpretation solcher Modellergebnisse weisen diese Studien doch deutlich auf ein Änderungspotenzial des Artenpools hin und machen auch die besonders gefährdeten Regionen deutlich.

#### • *Änderungen auf der Ebene von Pflanzengesellschaften bzw. Ökosystemtypen*

Von Temperaturerhöhung *besonders* betroffen sind Pflanzengesellschaften und Ökosystemtypen, die an niedrige Temperaturen angepasst sind, also besonders solche mit borealer, arktischer und alpiner Verbreitung. Durch Zurückdrängen kälteadaptierter Arten bzw. Einwandern von wärmebedürftigen Arten ist aber auch in allen anderen Gesellschaften letztlich mit einem gewissen Umbau des Artenspektrums zu rechnen.

Auch die Verbreitungsgebiete von Gesellschaften bzw. Ökosystemtypen werden sich ändern. *Wie und wie schnell* das abläuft, ist derzeit aber noch *weitgehend unklar*. Es ist nicht wahrscheinlich, dass Pflanzengesellschaften bzw. Ökosystemtypen als Ganzes wandern werden. Vielmehr werden manche Arten schneller, andere langsamer den neuen Klimaoptionen folgen können. Dabei kann es zu einer Neukombination von Arten kommen; es könnten Gesellschaften bzw. Ökosystemtypen entstehen, die es in dieser Form bisher gar nicht gegeben hat (SCHOLES & VAN BREMEN 1997, WALTHER 2003). Das stellt besonders große Anforderungen an Schutzgebiets-Konzepte.

## 2.2 Niederschlag

Die Änderungen der Niederschläge in den nächsten Jahrzehnten werden voraussichtlich räumlich sehr variabel ausfallen. Mit Niederschlagszunahmen wird z.B. in N-Europa, inner-

halb von Deutschland insbesondere im Westen gerechnet, mit Niederschlagsabnahmen z.B. im Mittelmeergebiet. Insgesamt gilt das Niederschlagsregime als „*highly variable spatially and temporally*“ (IPPC 2007). Regional können die Folgen einer Temperaturerhöhung (z.B. erhöhte Evapotranspiration) also entweder verstärkt oder kompensiert werden.

Grundsätzlich sind *alle* Ökosysteme der entsprechenden Regionen betroffen. Ganz besonders werden in Regionen Europas mit abnehmenden Niederschlägen Arten und Pflanzengesellschaften bzw. Ökosystemtypen mit enger Bindung an feuchte bis nasse Standortbedingungen (SLOBODDA 2007), speziell Moore, Feuchtwiesen und Großseggenriede, Feuchtwälder und Quellfluren (WITTIG & NAWRATH 2000) betroffen sein.

### 2.3 N-Immissionen

Die dramatische Zunahme von N-Verbindungen in der Atmosphäre ist sehr gut dokumentiert, global (z.B. GALLOWAY & COWLING 2002, IPCC 2007) wie regional (z.B. VAN EGMOND et al. 2002). Reaktionen von Pflanzen und Pflanzenbeständen auf die eingetragenen N-Verbindungen sind mittlerweile vielfältig dokumentiert.

#### • *Pflanzenwachstum*

Um auf der Ebene der Individuen zu verstehen, wie Waldpflanzen auf erhöhte Stickstoff-Verfügbarkeit reagieren, wurde in S-Bayern in drei Beständen des Galio odorati-Fagetum und parallel dazu in drei Beständen des Hordelymo-Fagetum bzw. Aposerido-Fagetum eine N-Düngung mit Ammonium/Nitrat (Verhältnis 60:40 entsprechend der in S-Bayern nachgewiesenen N-Immissionssituation) durchgeführt mit 30 kg N/ha . a, entsprechend dem maximalen Eintrag in Wäldern Bayerns, sowie 60 kg N/ha . a, entsprechend der Situation an Waldrändern in der Nähe von Emittenten in Bayern (BERNHARD 2005). Die Testflächen wurden transektartig vom Raum Kelheim/Regensburg über das Alpenvorland bei Starnberg zum Alpenrand angelegt. Von 11 charakteristischen Arten beider Waldgesellschaften wurde eine Vielzahl vegetativer und generativer Parameter vor Düngung sowie während zweier Vegetationsperioden mit Düngung aufgenommen. Eine Metaanalyse über alle Ergebnisse zeigt: (1) Vegetative Parameter reagieren im Untersuchungszeitraum signifikant positiv auf verbesserte N-Versorgung, generative Parameter aber nicht. (2) Deutliche positive Reaktionen sind bei dieser Untersuchung auf schwachsauren Böden nachweisbar, nicht dagegen auf basischen Böden.

Die Studie macht deutlich, dass die Reaktion von Waldpflanzen auf zusätzliche verfügbare Stickstoffressourcen deutlich ausfallen kann, dass die Wirkung aber durchaus mit anderen Standortfaktoren gekoppelt ist, so dass sich in der Landschaft ein Mosaik unterschiedlich stark reagierender Bereiche ergibt.

#### • *Artenzusammensetzung von Pflanzenbeständen*

Eine der ersten Untersuchungen zum Einfluss von N-Immissionen auf die Vegetation stammt von TRAUTMANN et al. (1970): In der Umgebung des Industriekomplexes Mannheim–Ludwigshafen fanden die Autoren in Kiefernforsten in der Nähe des Industriekomplexes Anreicherungen von N-anzeigenden Pflanzenarten; gleichzeitig kamen N-Mangelzeiger nur in größerer Entfernung dieser Anlagen vor.

Zwischenzeitlich konnte mittels einer Vielzahl vegetationskundlicher Wiederholungserhebungen in Mitteleuropa gezeigt werden, dass in Waldbeständen (also i.d.R. ohne N-Düngung) in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts tatsächlich Arten mit hohen Ansprüchen an die Stickstoff-Versorgung an Bedeutung zugenommen haben (zusammengefasst in FISCHER 1999 a, b). Entsprechendes gilt auch in ungedüngtem Grünland (z.B. HAGEN 1993).

Diese Änderungen können die Artenzusammensetzung von Pflanzenbeständen deutlich verschieben. So zeigten RÖDER et al. (1996) für das Luzulo-Fagetum der Buntsandsteinröhön,



dass von 1950 bis 1990 eine damals beschriebene, durch Nährstoff-Mangelzeiger gekennzeichnete Variante nach 4 Jahrzehnten verschwunden war, sich aber statt dessen in diesen Waldbeständen eine durch N-anspruchsvolle Arten gekennzeichnete Variante neu gebildet hatte; daneben gab es zu beiden Zeitpunkten eine „Typische Variante“ (sowohl ohne N-Anzeiger als auch ohne N-Mangelzeiger).

Festzuhalten ist: In weiten Teilen Europas unterliegen zahlreiche Vegetationsbestände fortlaufenden Änderungen der floristischen Zusammensetzung als Folge verbesserter N-Verfügbarkeit (N-Immissionen). In der Waldvegetation Mitteleuropas spiegeln sich N-Einträge derzeit (noch) am klarsten von allen klima- und immissionsbedingten Parametern in der Artenzusammensetzung wider.

## 2.4 CO<sub>2</sub>-Konzentration

CO<sub>2</sub> kann Ökosysteme nicht nur indirekt als Treibhausgas, sondern auch direkt beeinflussen. Der Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre von vorindustriell etwa 280 ppm auf aktuell (2005) 379 ppm (IPCC 2007) könnte die Assimilationsleistung einiger Pflanzenarten steigern. Tatsächlich ist bekannt, dass Pflanzen auf erhöhte CO<sub>2</sub>-Verfügbarkeit positiv reagieren können, nachgewiesen besonders für landwirtschaftliche Pflanzen, für junge Pflanzen, und im Experiment (seit z. B. WEIGEL et al. 1992).

### • *artspezifische Reaktionen*

Das bisher weltweit einzige Experiment zur experimentellen CO<sub>2</sub>-Erhöhung, das einen ganzen Waldbestand (mit ausgewachsenen Individuen verschiedener Baumarten) umfasst, wird bei Basel/CH durchgeführt (PEPIN & KÖRNER 2002; Buchen-Mischwald, 80-120 Jahre alt, 30-35 m hoch, FACE = Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment, etwa 530 ppm CO<sub>2</sub>). Nach 4 Jahren zeichnet sich ab (KÖRNER et al. 2005, ASSHOFF et al. 2006): Die experimentell erzeugte CO<sub>2</sub>-Erhöhung im Kronenraum führt zu einem erhöhten C-Fluss, aber es gibt keine grundsätzliche Wachstums-Stimulation, keine grundsätzliche erhöhte Blattmasseproduktion und keine grundsätzliche Beeinflussung des Fruktifikationserfolges. Vielmehr gibt es eine Vielzahl von *artenspezifischen* Reaktionen. Damit macht dieses Experiment eine Wirkung erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalte auf Struktur und floristische Zusammensetzung von Pflanzenbeständen wahrscheinlich.

### • *gruppenspezifische Reaktionen*

Neben diesen artspezifischen sind auch gruppenspezifische Reaktionen zu erwarten. So zeigen EHLERINGER et al. (2002), dass C3- bzw. C4-Pflanzen auf Temperatur- und CO<sub>2</sub>-Partialdruckänderungen mit grundsätzlich unterschiedlichem Wachstumserfolg reagieren. Da bestimmte Herbivoren an die eine oder andere Gruppe gebunden sind, könnten Änderungen der genannten Umweltparameter auf diesem Wege unmittelbar auf die nächste Trophiebene durchschlagen.

## 3. Welche Aspekte sind bei Umbauprozessen von Pflanzenbeständen bzw. Ökosystemen besonders kritisch?

Der Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand der Änderungstendenzen der wichtigsten Umweltfaktoren macht deutlich: Jeder einzelne Faktor wirkt mehr oder weniger flächig und betrifft damit grundsätzlich alle oder zumindest sehr viele Pflanzenbestände bzw. Ökosysteme. Nicht alle Arten reagieren aber zeitgleich und in gleichem Ausmaß, und auf unterschiedlichen Standorten kann das Ausmaß der Reaktion durchaus unterschiedlich ausfallen. Unterschiedliche Reaktionsmuster der einzelnen Arten müssen zwangsläufig zu Änderungen

der Interaktionen zwischen den Arten führen (z.B. Einstellen neuer Konkurrenzgleichgewichte), was letztlich zu neuen Artenkombinationen führt.

Arten wie Systeme (Pflanzengesellschaften, Ökosysteme) müssen sich in den kommenden Jahrzehnten aber *nicht einem* in Änderung begriffenen Standortfaktor anpassen bzw. ihm folgen, sondern einer *komplett neu arrangierten Standortfaktorenkombination* (z.B. Temperaturanstieg, aber regional entweder Ab- oder Zunahme der Niederschläge). Jede Art wird spezifisch auf die (regional sehr unterschiedlichen) neuen Konstellationen der Umweltfaktoren und die dadurch ausgelöste Änderung des Konkurrenzgefüges reagieren. Und jede Art vermag voraussichtlich den Konstellationen *unterschiedlich rasch* zu folgen. Es ist also wahrscheinlich, dass die Wanderung von Lebensgemeinschaften mindestens teilweise mit deren „Auflösung“ und mit der Bildung ganz neuer Gemeinschaften einhergeht (ROOT et al. 2003), mit einem „*rearrangement of affected assemblages with so far unknown weighting of species involved*“ (SCHOLES & VAN BREMEN 1997), also dem Entstehen neuer Artenkombinationen (WALTHER 2003). Aus Sicht des Landesamtes für Umwelt eines Bundeslandes: „*Terrestrische Ökosysteme, wie Wälder und Wiesen, werden künftig eine veränderte Artenzusammensetzung, neue Dominanzverhältnisse und eine veränderte Biodiversität aufweisen*“ (Bayer. LFU 2008).

Verschiedene ökosystemare Aspekte können im Zuge des Umbaus an Bedeutung zunehmen:

– *Störungen*: Bei der Artenumstellung in Pflanzenbeständen können vermehrt „offene Plätze“ frei werden, wenn Individuen von jetzt weniger angepassten Arten absterben, bevor besser angepasste nachrücken (z.B. bei größerer Trockenheit). Dabei könnten Neobiota bessere Chancen haben sich neu zu etablieren bzw. größere Gebiete oder neue Ökosysteme zu erschließen (vgl. PETERMANN et al. 2007) als bisher. Dies wird durch zusätzliche anthropogene Eingriffe verstärkt. Störungen geltend als entscheidend beim Umbau der Gesellschaften (GRITTI et al. 2006).

– *verzögerter Austausch von Individuen*: Langlebige Arten könnten die Reaktionsfähigkeit von Pflanzenbeständen auf Änderungen verzögern. Das könnte gerade in Wäldern von Bedeutung werden: Regelmäßige Holznutzung entnimmt Baumindividuen deutlich vor ihrem natürlichen Ausscheiden und ermöglicht bei Änderung der Standortfaktoren relativ rasch die Etablierung neuer Individuen von ggf. besser angepassten Arten. Wälder in Schutzgebieten ohne Nutzung werden dann, da diese vorgezogene Entnahme fehlt, langsamer reagieren als genutzte Wälder. Das würde bedeuten: Sie signalisieren eine Kontinuität, obwohl die für ihr Entstehen relevanten Umweltkonstellationen in dieser Form an dieser Stelle nicht mehr existieren. Mit dem altersbedingten Ausscheiden der Baumschicht wird der Umbau dann um so gravierender verlaufen (DAVIS 1989).

– *Migrationsmöglichkeiten und -notwendigkeiten*: Arten müssen diejenigen Gebiete erreichen können, in denen zukünftig geeignete Umweltbedingungen für sie herrschen, das heißt, sie müssen wandern *können*. Die durch die laufenden Temperaturänderungen bedingte Verlagerung von Klimazonen könnte von den Arten Wanderungsraten erfordern, die über denjenigen am Beginn der postglazialen Wärmezeit liegen (MALCOLM et al. 2002). Heute besiedeltes und zukünftig besiedelbares Gebiet dürfen weder durch natürliche noch durch anthropogene Hürden voneinander getrennt sein. Ersteres gab es immer und ist ein wesentlicher Grund für die Ausdifferenzierung nicht-weltweiter Areale; letzteres hat sich in den zurückliegenden Jahrhunderten, besonders aber in den zurückliegenden Jahrzehnten dramatisch verändert. In großen Teilen der Erde und insbesondere in Europa wird ein Großteil der Fläche für agrarische und infrastrukturelle Zwecke genutzt, steht somit den Arten der natürlichen Ökosysteme also weder als Lebensraum noch als Wandermatrix zur Verfügung.

– *Vektoren*: Viele natürliche Vektoren der Ausbreitung fehlen in der heutigen Kulturlandschaft. Manche tierische Vektoren (z.B. große wandernde Herbivoren) sind ausgestorben oder



ihrerseits auf kleine Arealreste in oft winzigen Populationen begrenzt. Selbst fließendes Wasser als Vektor ist durch Kanalisierung von Bächen und Flüssen oft in seiner Funktion als Ausbreitungsagens eingeschränkt. Die „Wanderungsproblematik“ lässt sich mit den Worten von DAVIS (1989, S. 79) zusammenfassen: „*Natural vectors are reduced, and target areas (reserves in climatically favourable regions) are small.*“

– *genetische Änderungen*: Wenn sich neue Umweltfaktorenkonstellationen und damit neue Anpassungsnotwendigkeiten ergeben, findet in den existierenden Populationen die Auslese der Nachkommen anders als bisher statt, was letztlich zu neuen Ökotypen und langfristig zu neuen Arten führt (DAVIS 2001). Dies ist besonders im Zuge des Wanderungsprozesses von Arten von Bedeutung, denn in dieser Situation finden andere Selektionsrichtungen statt als ohne Wanderung.

Alle o.g. Änderungen tangieren auch die Lebensraumtypen unmittelbar. Nach einer vorläufigen Studie des BfN (PETERMANN et al. 2007) gelten 23 von 91 der Lebensraumtypen von Natura 2000 in Deutschland als hochsensitiv gegenüber Klimaänderungen und weitere 34 als mittel sensitiv. „*Konservierender Naturschutz, der auf überwiegend kleinflächige Schutzgebiete konzentriert ist, ist (im Hinblick auf Klimawandel-Szenarien) mehr oder weniger chancenlos*“ (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004).

#### **4. Was ist bei einer langfristigen Schutzgebietsplanung zu beachten?**

Zukunftsszenarien sind wie alle Modelle stark vereinfachte Regelwerke, mit denen Erfahrungswissen der Gegenwart in die Zukunft fortgeschrieben wird. Sie dürfen deshalb nicht als Prognosen interpretiert werden. Die o.g. Ausführungen umreißen also *Möglichkeiten* zukünftiger Änderungen in Pflanzenbeständen bzw. Ökosystemen. Rein hypothetisch sind sie allerdings nicht mehr: Manche der diskutierten Prozesse sind tatsächlich bereits angelaufen, und sehr viele Indizien machen es wahrscheinlich, dass die Prozesse auch in nächster Zukunft in der eingeschlagenen Richtung weiter laufen werden. Es ist also wesentlich, sich auch im Rahmen des europäischen FFH-Schutzkonzeptes mit möglichen Konsequenzen zu beschäftigen.

Das Ausmaß der erwarteten Änderungen der Umweltfaktoren unterliegt einer breiten Varianz und damit Unsicherheitsspanne (z.B. hinsichtlich Temperaturanstieg, noch mehr aber hinsichtlich Niederschlagsänderungen). Und das Wissen über das Ausmaß der Wirkung der Änderung vieler einzelner Umweltfaktoren auf Pflanzenbestände bzw. Ökosysteme ist begrenzt, ganz besonders aber bezüglich der Kombinationswirkung mehrerer Umweltfaktoren (entweder gekoppelt oder unabhängig voneinander variierend). Nach heutigem Wissensstand spricht vieles dafür, dass die unter „global change“ zusammengefassten Umweltänderungen das Artengefüge in einem Ausmaß beeinflussen werden, wie wir es bisher in der Lebensspanne eines Menschen nicht für möglich gehalten haben.

Die o.g. Ausführungen zu wesentlichen Umweltgrößen belegen: (1) Jeder einzelne der behandelten Parameter wirkt grundsätzlich flächig, mit einem jeweils spezifischen regionalen Muster. Es ist deshalb insgesamt mit einem regional sehr differenzierten Muster der angebotenen neuen Umweltbedingungen zu rechnen. (2) Es ist zu erwarten, dass die einzelnen Arten weitgehend artspezifisch auf die neuen Umweltkonstellationen reagieren werden.

Als Konsequenz ist zum einen mit einem neuen Verteilungsmuster von Arten und Systemen in der Landschaft zu rechnen, und zum zweiten mit der Ausformung neuer Artengruppen (Pflanzengesellschaften, Ökosystemtypen).

Naturschutz entstand aus dem Bestreben, Verlorengelendes vor dem endgültigen Verlust zu bewahren. Er ist damit stark auf Bewahren bestimmter Elemente (z.B. auf Landschaften, Arten, Pflanzengesellschaften, Ökosystemtypen) oder Zustände ausgelegt. Auch die FFH-

Richtlinie stellt den bewahrenden Charakter deutlich heraus (s. Einleitung). Der Charakter der zu schützenden Objekte (z.B. Artenzusammensetzung von Pflanzengesellschaften) wird sich aber ändern, und ebenso die Lokalisation von Arten und Systemen in der Landschaft. Schutzgebietsstrategien müssen also zwangsläufig sowohl inhaltlich (Artenzusammensetzung) als auch räumlich „flexibler“ sein als bisher. Hier kann sich die relativ breite Definition der meisten FFH-Lebensraumtypen positiv auszahlen, die in der Regel eine ganze Gruppe von Pflanzengesellschaften bis zur Ebene des Verbandes in einem Lebensraumtyp zusammenfasst. Benötigt werden bereit gestellte Gebiete, in denen sich die den neuen Umweltbedingungen entsprechenden Artengruppen entwickeln können.

Die Ausführungen haben zudem gezeigt, dass insbesondere die Möglichkeit zur Wanderung von Arten im Zuge der Anpassung an geänderte Umweltsituationen von großer Bedeutung werden wird. Arten müssen die Chance haben, sich in zukünftig besiedelbaren Gebieten anzusiedeln, d. h. solche Gebiete müssen (i) *vorhanden* und (ii) *erreichbar* sein. Konkret bedeutet das:

- (1) Gebiete müssen rechtzeitig bereitgestellt werden, damit sie vorhanden sind, sobald sich die Arten auf die neuen Umweltkonstellationen einstellen (und wandern) müssen (PETERMANN et al. 2007); dies ist eine „prospektive Schutzstrategie“.
- (2) Für die Erreichbarkeit der Gebiete maßgeblich ist die Realisierung einer echten Vernetzung. Hierzu zählen ökologische Korridore, also funktionelle Verbindungen zwischen den einzelnen Gebieten. So sind Wanderkorridore für Wildkatzen in Deutschland derzeit in Planung. Nicht für jede Art wird eine Korridor-Verbindung zu ihren benachbarten geschützten Habitaten realisierbar sein, oft werden „stepping stones“ oder „Verbindungsbiotope“ notwendig sein, die einen vorübergehenden Aufenthalt von Tieren oder Pflanzen ermöglichen. Ein naturnah bewirtschafteter Wald stellt eine ideale Matrix zur Wanderung von Waldarten zwischen eingestreuten Wald-Totalreservaten (z.B. Naturwaldreservaten) dar. In Zukunft brauchen wir nicht nur einen Genaustausch (z.B. via lufttransportierter Pollen) zwischen den Teilpopulationen sondern – da ja neu entstandene Siedlungsplätze besetzt werden müssen – eine Erreichbarkeit in Form wandernder Tierindividuen bzw. transportierter Diasporen, und zwar trotz oftmals reduzierter natürlicher Vektoren.

Das FFH-Konzept ist der Grundidee nach als „Netzwerk“ angelegt. In Art. 10 der FFH-Richtlinie ist ein unterstützendes System von verbindenden Landschaftselementen und Funktionsbezügen für Wanderung, genetischen Austausch etc. vorgesehen (vgl. SSYMANK et al. 2006). Diesem Ansatz wird künftig deutlich mehr Gewicht beizumessen sein als bisher. Wie prekär die Situation ist, stellen LEUSCHNER & SCHIPKA (2004) heraus; als Zusammenfassung eines Literaturüberblicks sprechen sie von 10 bis 50 % der Arten, die auf lokaler und globaler Ebene aussterben könnten, weil die vorhandenen Schutzgebiete den erwarteten Klimawandel-bedingten Wanderungsbewegungen nicht entsprechen. Das FFH-Schutzgebietssystem Natura 2000 bietet eine ausgezeichnete Grundlage für einen funktionalen Biotopverbund; die effiziente Vernetzung ist aber weiter zu optimieren.

Die Länder Europas verfolgen im FFH-Konzept unterschiedliche Strategien bezüglich Abwägung von Schutzgebietsflächengröße und Schutzgebietszahl. Viele Bundesländer setzen auf viele kleine Gebiete. Die daraus resultierende relativ große Zahl von Natura 2000-Gebieten fördert ggf. die Erreichbarkeit (die Entfernungen zwischen den einzelnen Gebieten sind kleiner als bei wenigen großen Gebieten). Es ist aber offen, ob die kleinen, heute ausgewiesenen Gebiete den Anforderungen der zukünftigen Lebensgemeinschaften genügen. Im Sinne einer Versicherungsstrategie vor dem Hintergrund einer unklaren Zukunft ist es sinnvoll, die existierenden Gebiete zu vergrößern.

Die Wissenschaft war bisher weder auf derartig grundlegende Änderungen der Umwelt noch auf derartig grundlegende Änderungen der Ökosysteme eingestellt, d.h. es war bisher nicht Gegenstand der Forschung, wie die Natur auf derartig gewaltige Änderungen reagiert. Dass Ökosysteme nicht „en bloc“ wandern werden, erscheint plausibel; wie der „Wandervorgang“ aber ablaufen wird (und ob der Begriff für Ökosysteme überhaupt Sinn macht), wie sich die biotischen Interaktionen also verschieben, ist weitgehend unklar. Dieses Wissen wird aber dringend benötigt, um die bestehenden Schutzgebietskonzepte nachhaltig wirksam zu optimieren bzw. anzupassen.

Natura 2000 stellt einen wesentlichen Schritt in Richtung eines effizienten Schutzes der belebten Naturgüter dar. Das Konzept entstand allerdings in einer Zeit, in der bestimmte Rahmenbedingungen wie das Klima in der Spanne eines Menschenlebens als (mehr oder weniger) konstant angenommen werden konnten. Das hat sich zwischenzeitlich grundlegend geändert. Die Aufgabe am Beginn des 21. Jahrhunderts ist es, das System an eine (Um)Welt im Umbruch anzupassen. „Schutz“ wird in Zukunft nicht nur „Bewahren“ und ggf. „Wiederherstellen“ bedeuten können, sondern „Weiterentwicklung ermöglichen“. „Vergrößern“, „vernetzen“ und „optimieren“ sind die drei zentralen Begriffe in der bayernweiten Übersicht von BEIERKUHNLIN & FOKEN (2008), die als wesentlich für Natura 2000 herausgestellt werden. Der dort geforderte „dynamische Biodiversitätsschutz“ ist zum einen durch Ausschöpfung der bereits in der FFH-Richtlinie enthaltenen Möglichkeiten anzustreben; wo dies nicht ausreicht, werden aber zusätzliche Anpassungen an die neuen Herausforderungen einer sich dramatisch ändernden Umwelt notwendig.

## Literatur

- ASSHOFF, R., ZOTZ, G. & C. KÖRNER (2006): Growth and phenology of mature temperate forest trees in elevated CO<sub>2</sub>. – *Global Change Biology* **12**: 848-861.
- BAKKENES, M., ALKEMADE, J.R.M., IHLE, F., LEEMANS, R. & J.B. LATOUR (2002): Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. – *Global Change Biology* **8**: 390-407.
- BAYER. LFU (2008): Klimaanpassung Bayern 2020. Der Klimawandel und seine Auswirkungen. Kenntnisstand und Forschungsbedarf als Grundlage für Anpassungsmaßnahmen. – *UmweltSpezial*, 42 S, Hof.
- BEIERKUHNLIN, C. & T. FOKEN (2008): Klimawandel in Bayern. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. – *Bayreuther Forum Ökologie* **113**, 501 S., Universität Bayreuth.
- BERGER, S. & G.-R. WALTHER (2007): Immergrüne Laubgehölze – Indikatoren des Klimawandels? – *Ber. Reinh.-Tüxen-Ges.* **19**: 44-59, Hannover.
- BERNHARDT, M. (2005): Reaktionen der Waldbodenvegetation auf erhöhte Stickstoffeinträge: Analyse und Vorhersage von Vegetationsveränderungen anhand von funktionellen Merkmalen. – *Diss. Bot.* **397**, 121 S.
- BOX, E., CRUMPACKER, D. & D. HARDIN (1993): A climatic model for location of plant species in Florida, U.S.A. – *J. Biogeogr.* **20**: 629-644.
- BURGA, C., G.-R. WALTHER & S. BEIBNER (2004): Florenwandel in der alpinen Stufe des Berninagebietes – ein Klimasignal? – *Ber. Reinh.-Tüxen-Ges.* **16**: 57-66.
- DAVIS, M.B. (1989): Lags in vegetation response to greenhouse warming. – *Climatic Change* **15**: 75-82.
- DAVIS, M.B. (2001): Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. – *Science* **292**: 673-679.
- EHLERINGER, J.R., CERLING, T.H. & M.D. DEARLING (2002): Atmospheric CO<sub>2</sub> as a global change driver influencing plant-animal interactions. – *Integ. & Comp. Biol.* **42**: 424-430.
- FISCHER, A. (1999 a): Sukzessionsforschung. Stand und Entwicklung. – *Ber. Reinh.-Tüxen-Ges.* **11**: 157-177, Hannover.
- FISCHER, A. (1999 b): Floristical changes in Central European forest ecosystems during the past decades as an expression of changing site conditions. – In: KARJALEINEN, SPIECKER & LAVOUSSINIE (eds.): Causes and consequences of accelerating tree growth in Europe. – *EFI-Proceedings* **27**: 53-64.

- GALLOWAY, J.N. & E.B. COWLING (2002): Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. – *Ambio* **31**: 64-71.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & H. PAULI (1994): Climate effects on mountain plants. – *Nature* **369**: 448.
- GRITTI, E., SMITH, B. & M. SYKES (2006): Vulnerability of mediterranean basin ecosystems to climate change and invasion by exotic plant species. – *J. Biogeogr.* **33**: 145-157.
- HAGEN, T. (1993): Vegetationsveränderungen in Kalk-Magerrasen des Fränkischen Jura. Untersuchungen langfristiger Bestandsveränderungen als Reaktion auf Landnutzungsumstellung und Stickstoff-Deposition. – *Laufener Forschungsber.* **4**, 218 S., Laufen/Salzach.
- HOFER, H. R. (1992). Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. – *Ber. Geob. Inst. ETH, Stiftung Rübel* **58**: 39-54.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers. – <http://www.ipcc.ch>.
- KÖLLING, C. (2007): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. – *AFZ-DerWald* 23/2007: 1242-1245.
- KÖRNER, C., ASSHOFF, R., BIGNUCOLO, O., HÄTTENSCHWILER, S., KEEL, S., PELAEZ-RIEDL, S., PEPIN, S. SIEGWOLF, R. & G. ZOTZ (2005): Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO<sub>2</sub>. – *Science* **309**: 1360-1362.
- KUDERNATSCH, T. (2005): Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Vegetation alpiner Kalk-Magerrasen im Nationalpark Berchtesgaden. – *Diss. TU München, Fachgebiet Geobotanik*, 151 S.
- KUDERNATSCH, T. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Pflanzengemeinschaften im Nationalpark Berchtesgaden. – *Forschungsber. N. P. Berchtesgaden* **52**, 100 S., Berchtesgaden.
- KUDERNATSCH, T., BECK, S., KRENZER, M., FISCHER, A., BERNHARDT, M., FRANZ, H., VOGEL, M. & C. ABS (2005): Recent changes in species composition and species richness of alpine grasslands in Berchtesgaden Biosphere Reserve and National Park. – *Proc. 2nd. Thematic Workshop: Projecting Global Change Impacts in Mountain Biosphere Reserves, Gran Sasso National Park, Italy*, 103-115.
- KUDERNATSCH, T., FISCHER, A., BERNHARD-RÖRMERMANN, M., & C. ABS (2008): Short-term effects of temperate enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. – *Basic and Applied Ecology* **9**: 263-274.
- LEUSCHNER, C. & F. SCHIPKA (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. – *BfN-Skripten* **115**, 34 S., BfN Bonn-Bad Godesberg.
- MALCOLM, J.R., MARKHAM, A., NELSON, R.P. & M. GARACI (2002): Estimated migration rates under scenarios of global climate change. – *J. Biogeography* **29**: 835-849.
- MANTHEY, M., LEUSCHNER, C. & W. HÄRDTLE (2007): Buchenwälder und Klimawandel. – *Natur und Landschaft* **82**: 441-445.
- MENZEL, A. & P. FABIAN (1999): Growing season extended in Europe. – *Nature* **397**: 659.
- PARMESAN, C. & G. YOHE (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. – *Nature* **421**: 37-42.
- PENUELAS, J. & M. BOADA (2003): A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). – *Global Change Biology* **9**: 131-140.
- PEPIN, S. & C. KÖRNER (2002): Web-FACE: a new canopy free-air CO<sub>2</sub> enrichment system for tall trees in mature forests. – *Oecologia* **133**: 1-9.
- PETERMANN, J., BALZER, S., ELLWANGER, G., SCHRÖDER, E. & A. SSYMANK (2007): Klimawandel – Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000. – *Naturschutz & Biolog. Vielfalt* **46**: 127-148.
- RÖDER, H., FISCHER, A. & W. KLÖCK (1996): Waldentwicklung auf Quasi-Dauerflächen im Luzulo-Fagetum der Buntsandsteinrhön (Forstamt Mittelsinn) zwischen 1950 und 1990. – *Forstwiss. CBl.* **115**: 321-335.
- ROOT, T.L., PRICE, J.T., HALL, K.R., SCHNEIDER, S.H., ROSENZWEIG, C. & J.A. POUNDS (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. – *Nature* **421**: 57-60.
- ROSENZWEIG, C., KAROLY, D., VICARELLI, M., NEOFOTIS, P., WU QIGANG, CASASSA, G., MENZEL, A., ROOT, T.L., ESTRELLA, N., SEGUIN, B., RYJANOWSKI, P., LIU CHUNZHEN, RAWLINS, S. & A. IMESON (2008): Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. – *Nature* **453**: 353-357.
- SCHOLES, R. & N. VAN BREMEN (1997): The effects of global change on tropical ecosystems. – *Geoderma* **79**: 9-24.

- SEILER, W. (2003/04): Klimaveränderungen und Auswirkung auf den alpinen Wasserhaushalt. – Jb. Schutz Bergwelt **68/69**: 93-105.
- SLOBODDA, S. (2007): Klimawandel in Sachsen – Auswirkungen auf Ökosysteme, Lebensräume und Arten. – Naturschutz & Biolog. Vielfalt **46**: 105-126.
- SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, C. & E. SCHRÖDER (1998): Das europäische Schutzgebiets-system NATURA 2000. – Schr.r. Landschaftspflege und Naturschutz **53**, 560 S., BfN Bonn-Bad Godesberg.
- SSYMANK, A., BALZER, S. & K. ULLRICH (2006): Biotopverbund und Kohärenz nach Artikel 10 der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. – Naturschutz und Landschaftsplanung **38**: 45-49.
- THOMAS, C.D., CAMERON, A., GREEN, R.E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L.J., COLLINGHAM, Y.C., ERASMUS, B.F.N., FERREIRA, M., GRAININGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARSVELD, A.S., MIDGLEY, G.F., MILLES, L., ORTEGA-HUERTA, M.A., PETERSON, A.T., PHILLIPS, O.L. & S.E. WIALLIAMS (2004): Extinction risk for climate change. – Nature **427**: 145-148.
- TRAUTMANN, W., KRAUSE, A. & R. WOLFF-STRAUB (1970): Veränderungen der Bodenvegetation in Kiefernforsten als Folge industrieller Luftverunreinigungen im Raum Mannheim-Ludwigshafen. – Schr.r. Veg.kde. **5**: 193-207.
- VAN EGMOND, K., BRESSER, T. & L. BOUWMAN (2002): The European nitrogen case. – Ambio **31**: 72-78.
- VITTOZ, P., BODIN, J., UNGRICHT, S., BURGA, C. & G.-R. WALTHER (2008): One century of vegetation change on Isla Persa, a nunatak in the Bernina massif in Swiss Alps. – J. Veg. Sc. **19**: 671-680.
- WALTHER, G.-R. (2003): Plants in a warmer world. – Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics **6**: 169-185.
- WALTHER, G.-R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T., FROMENTIN, J.-M., HOEGH-GULDBERG, O. & F. BAIRLEIN (2002): Ecological responses to recent climate change. – Nature **416**: 369-395.
- WALTHER, G.-R., BEIBNER, S. & C. BURGA (2005): Trends in upward shift of alpine plants. – J. Veg. Sc. **16**: 541-548.
- WEIGEL, H.-J., MEJER G.-J. & H.-J. JÄGER (1992): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Landwirtschaft: Open-top Kammern zur Untersuchung von Langzeitwirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf landwirtschaftliche Pflanzen. – Angew. Bot. **66**: 135-142.
- WITTIG, R. & S. NAWRATH (2000): Welche Pflanzenarten und -gesellschaften Hessens sind bei einer globalen Temperaturerhöhung gefährdet? Vorschläge für ein Biomonitoring. – Geobot. Kolloq. **15**: 59-69.

### Dank

Mein Dank gilt Dr. Axel Ssymank, BfN Bonn-Bad Godesberg, für einen anregenden Gedankenaustausch zur Thematik sowie einem anonymen Reviewer für nützliche Anregungen.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Anton Fischer, Fachgebiet Geobotanik, Department für Ökologie und Ökosystemmanagement, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technische Universität München, D-85354 Freising, Am Hochanger 13

e-mail: [a.fischer@wzw.tum.de](mailto:a.fischer@wzw.tum.de)