

## 5.7 Aktuelle Forschungsprojekte zu Klimawandel und Biodiversität

CHRISTOPH SCHERBER, NORMA NITSCHKE & ELISABETH MARQUARD

**Aktuelle Forschungsprojekte zu Klimawandel und Biodiversität:** Langzeitbeobachtungen ermöglichen es, klimatische Veränderungen sowie Veränderungen des Artenreichtums und der Artenzusammensetzung in Ökosystemen zu dokumentieren. Allerdings können Beobachtungen allein nur Hinweise auf Veränderungen liefern; Kausalzusammenhänge können häufig nicht durch Beobachtung allein aufgeklärt werden. Deshalb wurden in den letzten Jahrzehnten zunehmend komplexer strukturierte Experimente eingerichtet, mit denen Auswirkungen sowohl des Klimawandels, als auch von Veränderungen in der Biodiversität untersucht werden können. In diesem Kapitel werden die derzeit modernsten experimentellen Groß-Forschungsprojekte zu Biodiversität und Klimawandel vorgestellt. Außerdem werden Perspektiven für zukünftige Experimente aufgezeigt, die einen höheren Grad an Realismus aufweisen und auch auf die land- und forstwirtschaftliche Praxis übertragbar sein sollten. Konkrete Lösungsstrategien für biodiversitäts- oder klimabezogene Probleme lassen sich allerdings in der Regel nur dann entwickeln, wenn letztere nicht nur als naturwissenschaftliches Phänomen untersucht, sondern auch als komplexe gesellschaftliche Herausforderung begriffen werden.

**Current research projects on climate change and biodiversity:** Long-term observations of ecological systems allow a precise documentation of changes in climatic conditions, species richness and community composition. However, observational studies can only be used to describe changes, but they are limited in their ability to identify the underlying causal mechanisms. In the last decades, a whole series of increasingly sophisticated experiments has been established that aim to manipulate components of climate change and biodiversity loss. In this chapter, we describe the most recent large-scale experiments on biodiversity and climate change. In addition, we develop perspectives for future experiments that should ideally be more realistic and relevant also for agriculture and forestry. However, concrete solutions for biodiversity- or climate related problems are usually only identified if they are studied not only from a natural science point-of-view, but also as complex societal challenges.

In den vorangegangenen Kapiteln haben wir gesehen, dass die biologische Vielfalt auf der Erde durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst wird. Spätestens mit dem Einsetzen der Industrialisierung (etwa ab 1850) haben anthropogene Veränderungen, wie zum Beispiel die Intensivierung der Landnutzung, zu bedeutsamen Verlusten biologischer Vielfalt geführt. Viele anthropogen bedingte Umweltveränderungen finden jedoch gleichzeitig statt, so dass es schwierig ist, durch Beobachtungen allein zu fundierten Schlussfolgerungen zu gelangen. Ob Klimawandel, Umweltverschmutzung oder Verlust tropischer Regenwälder: All diese Faktoren beeinflussen die Biodiversität – und Wissenschaftler stehen vor der Aufgabe, herauszufinden, wie alles zusammenhängt und was für Empfehlungen sie Politikern geben sollen.

Wie aber können so komplexe Prozesse wie der Verlust von Biodiversität oder Veränderungen unseres Klimas wissenschaftlich überhaupt untersucht werden? Wie lassen sich Ursache und Wirkung trennen? Im Prinzip gibt es hierfür zwei Ansätze, die nachfolgend beleuchtet werden sollen. Erstens, die Beobachtung von Prozessen über lange Zeiträume und große geographische Gradienten hinweg. Und zweitens, die gezielte Anlage von Experimenten, in denen das Artensterben quasi »nachgestellt« wird, oder in denen das (lokale) Klima künstlich verändert wird.

### Langzeitdaten dokumentieren Klima und Biodiversität

Während die Veränderung klimatischer Kenngrößen, wie der Temperatur oder des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmo-

sphäre, mit Hilfe von Messgeräten sehr gut beobachtet werden kann, gestaltet sich die Situation im Bereich der Biodiversität deutlich schwieriger. Selbst für relativ eng umgrenzte Gebiete (wie zum Beispiel Naturschutzgebiete) fehlt es meist an Langzeitdatensätzen, die Veränderungen über mehr als hundert Jahre beschreiben könnten. Aus den wenigen vorhandenen Datensätzen lassen sich jedoch trotzdem für bestimmte Orte Artenverluste und Veränderungen in der Artenzusammensetzung erstaunlich gut dokumentieren. So konnten HABEL et al. (2016) für ein Naturschutzgebiet in der Nähe von Regensburg zeigen, dass zwischen 1840 und 1880 noch ca. 120 Schmetterlingsarten beobachtet werden konnten. Heute gibt es in diesem Gebiet nur noch knapp 70 Arten – was einem Verlust von knapp 60% entspricht. Interessant ist, dass im Untersuchungsgebiet die Durchschnittstemperatur zunahm, jedoch kein Anstieg wärmeliebender Arten beobachtet werden konnte. Stattdessen stieg der Anteil von »Allerweltsarten« mit zunehmender Temperatur an. Diese Arten sind vor allem an ein Leben auf gedüngten Standorten angepasst. Ähnlich starke Verluste gibt es für viele andere Organismengruppen, und meist konnten sie anthropogenen Veränderungen zugeordnet werden. Auch die zunehmende Zerschneidung von Lebensräumen durch Aufforstung, Abholzung oder Straßenbau hat zu starken Verlusten der biologischen Vielfalt geführt. Generell werden Veränderungen der Biodiversität mittels ausgewählter Arten beschrieben, da eine komplette Erfassung der biologischen Vielfalt innerhalb eines räumlichen Gebiets unmöglich ist. Auf globaler Ebene

ne ist z.B. der auf Daten zu über 3.600 Wirbeltierarten basierende »Living Planet Index« eine wichtige Biodiversitäts-Kenngröße für Zustands- und Trendanalysen. Dieser Index wurde ursprünglich vom WWF (*Worldwide Fund for Nature*) entwickelt und ermöglicht es, über geographische Grenzen hinweg den Zustand bestimmter Ausschnitte der biologischen Vielfalt der Erde zu dokumentieren (COLLEN et al. 2009).

Zahlreiche regionale, nationale und internationale Monitoring-Projekte (s. Kap. 1.7 - SCHMIEDEL) registrieren standardisiert und regelmäßig in definierten Beobachtungsräumen das Vorkommen von Arten verschiedener Organismengruppen. Mit Hilfe solcher Projekte kann unter anderem geprüft werden, ob Naturschutzmaßnahmen greifen oder ob und wie sich bauliche Veränderungen auf die Artenzahl und -zusammensetzung auswirken. Die benötigten Daten werden dabei häufig nicht ausschließlich von Wissenschaftlern und Spezialisten zusammengetragen, sondern in vielen Fällen von interessierten »Laien« erarbeitet (*Citizen Science Projekte*). Prominente Beispiele hierfür sind die Wasservogelzählung und das Monitoring häufiger Brutvögel durch den Dachverband deutscher Avifaunisten, das Tagfaltermonitoring in Deutschland (GfS-GESELLSCHAFT FÜR SCHMETTERLINGSSCHUTZ 2015) oder das Biodiversitäts-Monitoring in Österreich und der Schweiz.

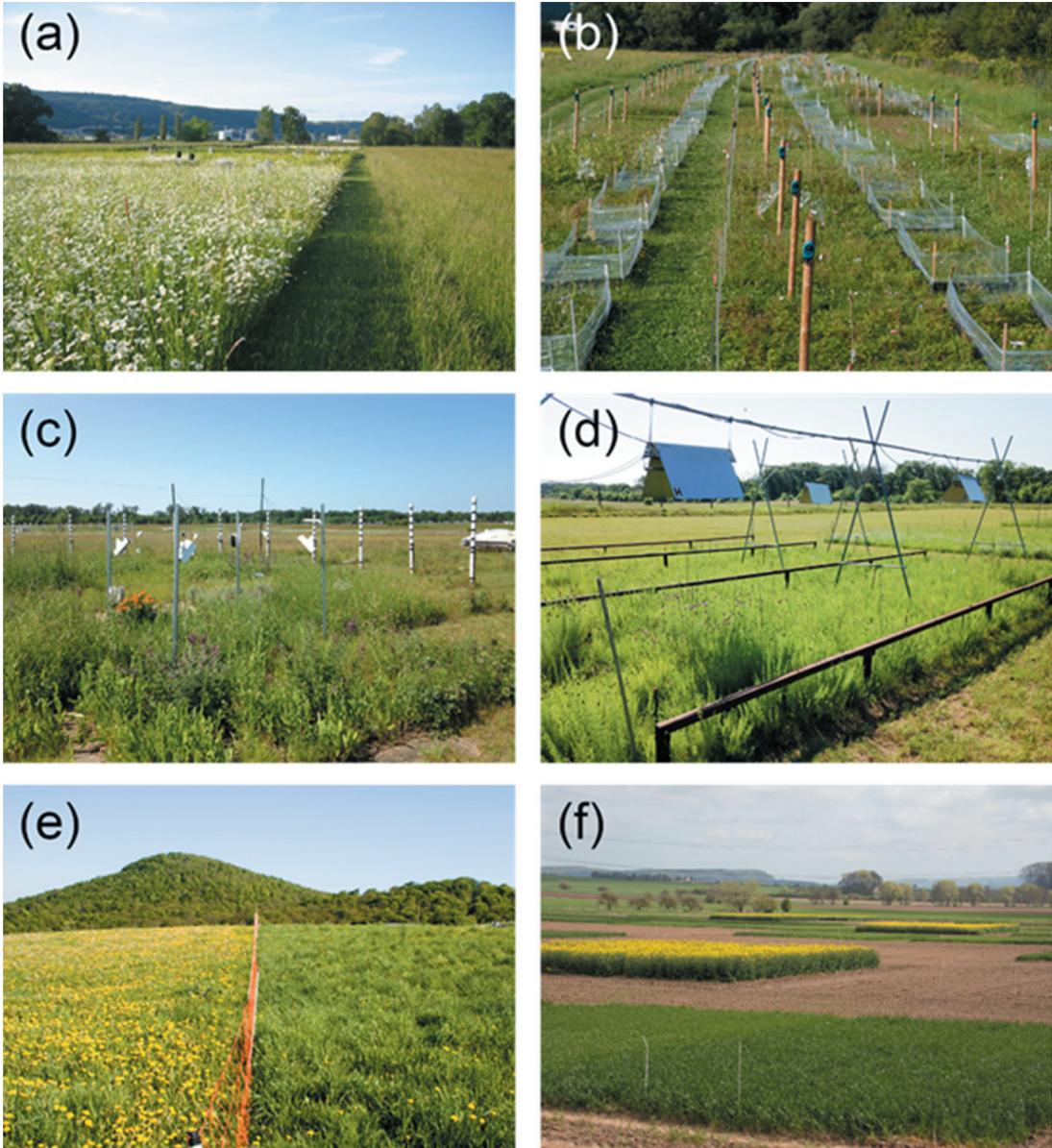
Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Langzeit-Forschungsprojekten, die sich mit den Beziehungen zwischen Artenvielfalt und verschiedenen anthropogenen Einflussgrößen befassen. Beispielhaft genannt seien das nordamerikanische Forschungsnetzwerk »neon« (*National Ecological Observatory Network*), die Biodiversitäts-Exploratorien in Deutschland (*Biodiversity Exploratories*), sowie die LTER-Forschungseinrichtungen (*Long-Term Ecological Research*). Da generell fast alle Forschungsprojekte über Drittmittel finanziert sind, ist deren Laufzeit häufig nur von beschränkter Dauer, oder zumindest unsicher.

### Biodiversitätsexperimente

Die bisher beschriebenen Ansätze haben gemeinsam, dass sie den Status der Biodiversität an verschiedenen Orten und über längere Zeiträume hinweg dokumentieren. Dabei ist es jedoch schwierig, die jeweils relevanten Einflussfaktoren zu identifizieren: Ging die Artenzahl zurück, weil gedüngt wurde – oder weil in der Umgebung aufgeforstet wurde? Da es also insgesamt problematisch ist, zeitliche oder räumliche Änderungen in der Biodiversität kausal zu begründen, wurden in den letzten Jahrzehnten Experimente angelegt, in denen eine Vielzahl möglicher anthropogener Einflussgrößen auf die Biodiversität untersucht wird. Eines der

ältesten Experimente ist das so genannte »Park Grass Experiment« (CRAWLEY et al. 2005, SILVERTOWN et al. 2006), in dem allein durch unterschiedliche Düngung teilweise extrem artenarme Pflanzen-gemeinschaften (nur 3 Arten!) entstanden.

Seit ungefähr 1990 wurden dann erstmals sogenannte Biodiversitätsexperimente (Abb. 5.7-1a-d) ins Leben gerufen (EISENHAEUER 2016, SCHMID & HECTOR 2004), in denen man unterschiedlich viele Arten oder Organismengruppen miteinander kombiniert und auf diese Weise untersuchen kann, wie sich Biodiversitätsverluste auf Ökosysteme auswirken. Das Ziel dieser Experimente ist es, herauszufinden, ob Biodiversitätsverluste generell vorhersagbare Auswirkungen auf Ökosysteme haben – ob also ganz allgemein bei lokalem Aussterben einzelner Arten systematisch bestimmte Veränderungen in Ökosystemen zu erwarten sind. Diese Experimente wurden in den letzten Jahren zunehmend verfeinert, so dass nicht nur die Artenzahl allein verändert werden kann, sondern auch Arten mit bestimmten Eigenschaften miteinander kombiniert werden können (Abb. 5.7-1b; EBELING et al. 2014). Das Spektrum untersuchter Parameter reicht dabei von »einfachen« Messgrößen wie dem landwirtschaftlichen Ertrag bis hin zu Überflutungstoleranz (WRIGHT et al. 2015), Resistenz gegen Dürre (ISBELL et al. 2015), oder Bioenergie-Ausbeute (TILMAN et al. 2006a). Bereits Charles Darwin entwarf um 1817 einen »*Hortus Gramineus*«, in welchem er mit Kombinationen verschiedener Wiesenpflanzen experimentierte (HECTOR & HOOPER 2002). Das größte und älteste laufende Biodiversitäts-Experiment befindet sich in den USA im Staat Minnesota im Cedar Creek Ecosystem Science Reserve (TILMAN et al. 2006b). Auch in Deutschland wird seit 2002 ein großes Biodiversitätsexperiment von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert (»Jena-Experiment«; ROSCHER et al. 2004). In beiden Experimenten wurden unterschiedlich viele Pflanzenarten auf Versuchsflächen angesät. Jede Fläche erhält so eine bestimmte Artenzahl zugeordnet, die allerdings durch Jäten und teilweise auch Herbizidanwendungen erhalten werden muss. Den umgekehrten Ansatz, nämlich das Entfernen von Arten aus einem bestehenden System (»*Removal*«-Experimente; Abb. 5.7-1e), gibt es ebenfalls (DÍAZ et al. 2003, EVERWARD et al. 2014, PETERSEN et al. 2012). Solche Pflanzengemeinschaften unterliegen somit stetigen Störungen, und können daher nur begrenzt natürliche, ungestörte Systeme abbilden. Andererseits erlaubt das hohe Maß an Kontrolle der Einflussfaktoren eine präzise Analyse der Zusammenhänge. Wissenschaftler erhoffen sich, durch Biodiversitätsexperimente belastbare Aussagen über die Bedeutung der biologischen Vielfalt für bestimmte



**Abb. 5.7-1 Biodiversitäts-Experimente.** (a) Im Jena-Experiment wurde ursprünglich die Pflanzenartenzahl (1-60 Arten) und die funktionelle Zusammensetzung der Vegetation (4 funktionelle Gruppen) in 20 x 20-Meter umfassenden Parzellen experimentell manipuliert; (b) Das »Trait-based Experiment« innerhalb des Jena-Experimentes dient dazu, Mechanismen des Biodiversitätsverlustes unter Berücksichtigung funktioneller Merkmale von Pflanzen zu untersuchen. Man beachte die Vegetationskameras (»phenocams«) und mit Kunststofffolien abgetrennten Bereiche zur Manipulation von Insekten. (c-d) Das BioCON-Experiment in Cedar Creek (Minnesota, USA), wo unterschiedlich artenreiche Pflanzengemeinschaften erhöhtem CO<sub>2</sub> (c) bzw. erhöhter Temperatur (d) ausgesetzt werden. (e) »Removal«-Experimente, in denen mit Hilfe selektiver Herbizidanwendung die funktionelle Zusammensetzung der gesamten Pflanzendecke verändert wird (links: von Kräutern, rechts: von Gräsern dominiert); (f) Untersuchungen zur zeitlichen Diversifizierung in Agrarökosystemen (Fruchtfolgeversuch in Harste bei Göttingen) (Fotos: Chr. Scherber (a,b,e,f), A. Ebeling (c,d)).

Ökosystemfunktionen machen zu können. Bisherige Ergebnisse experimenteller Studien deuten darauf hin, dass Biodiversität in der Tat eine Vielzahl positiver Auswirkungen auf Ökosystemfunktionen und somit einen hohen Nutzen für den Menschen haben kann, indem sie z.B. auf Flächen mit ansonsten gleichbleibender Bewirtschaftung höhere Erträge ermöglicht oder zu einer besseren Nährstoffverfügbarkeit, einem rascheren Abbau von Bodenstreu, mehr Bestäubung oder einer effizienteren biologischen Schädlingsbekämpfung führen kann. In landwirtschaftlichen Fruchtfolgeversuchen (Abb. 5.7-1f) werden darüber hinaus weitere Komponenten (zeitliche Diversifizierung) in Systemen untersucht, die direkt der menschlichen Ernährung dienen.

### »Global Change«-Experimente

Zusätzlich zu den reinen Biodiversitäts-Experimenten gibt es eine Vielzahl an Versuchen, in denen andere Komponenten des Globalen Wandels untersucht werden. Diese sogenannten »Global Change«-Experimente kombinieren oft verschiedenste anthropogene Einflussgrößen (DE BOECK et al. 2015). In der kürzlich ins Leben gerufenen »Global Change Experimental Facility« (GCEF) in Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt; Abb. 5.7-2) wird beispielsweise der Einfluss des Klimawandels auf Agrarsysteme verschiedener Bewirtschaftungstypen untersucht. Ergebnisse dieses auf mindestens 15 Jahre angelegten Projektes sollen dazu dienen, gezielt Strategien zur Anpassung der Landwirtschaft an prognostizierte klimatische Veränderungen zu entwickeln.

Allein zur Untersuchung klimatischer Veränderungen gibt es zudem eine große Anzahl weiterer Versuchsansätze (Rustad 2008). So wurden beispielsweise im Rahmen des dänischen »CLIMAITE«-Experiments (Abb. 5.7-3; MIKKELSEN et al. 2008) drei verschiedene Klimawandel-Faktoren kombiniert. In dem von 2007 bis 2015 laufenden Experiment wurden die Auswirkungen von Dürre, erhöhtem  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre sowie leicht erhöhter Lufttemperatur ( $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ ) auf Biodiversität und Ökosystemprozesse untersucht (z.B. SCHERBER et al. 2013, STEVNBÄK et al. 2012, VESTERGÅRD et al. 2015).

### Kombinierte Untersuchung von Biodiversität und »Global Change«

Schließlich existieren inzwischen auch Experimente, in denen Klimawandel und Artenverlust gleichzeitig simuliert werden, wie zum Beispiel das BioCON-Experiment (Biodiversity,  $\text{CO}_2$  and Nitrogen) in Minnesota (USA; REICH et al. 2001, Abb. 5.7-1c-d). In diesem Experiment wird seit 1997 der atmosphärische  $\text{CO}_2$ -Gehalt experimentell erhöht (ein sogenanntes FACE- (Free Air  $\text{CO}_2$  Enrichment) Experiment); darüber hinaus wird die Wirkung von Stickstoff-Eintrag in Freiland-Wiesenökosysteme unterschiedlicher Pflanzenartenvielfalt untersucht. BioCON-Forscher konnten beispielsweise zeigen, dass ein Biodiversitätsverlust unter erhöhtem Stickstoffeintrag geringer ausfiel, wenn zugleich der atmosphärische  $\text{CO}_2$ -Gehalt erhöht war (REICH 2009).  $\text{CO}_2$  ist die Basis der pflanzlichen



Abb. 5.7-2: Die »Global Change Experimental Facility« (GCEF) am Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig bei Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt). In dem Experiment werden Klimawandel und Landnutzung auf 50 Parzellen von  $16 \times 25\text{ m}$  Größe manipuliert. Bildquelle: Tricklabor/Service Drone.

Photosynthese und kann bei erhöhter Verfügbarkeit zu gesteigerter Biomasseproduktion (»CO<sub>2</sub>-Düngung«) führen. Dieser Zusammenhang legt ein mögliches Abfedern der Treibhauseffekte durch den weltweit steigenden atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalt nahe, da ein Teil davon der Atmosphäre entzogen und vorläufig als pflanzliche Biomasse festgelegt werden kann (vgl. Kap. TREPPEL in diesem Band). BioCON-Daten der frühen Phase zeigen, dass artenreiche Pflanzengemeinschaften mit stärkerem Biomassezuwachs auf erhöhten CO<sub>2</sub>- (oder auch Stickstoff-) Gehalt reagierten als artenärmere (REICH et al. 2001). Langfristig gesehen scheint diese positive Reaktion auf erhöhte CO<sub>2</sub>-Werte jedoch durch die Stickstoff-Verfügbarkeit im Boden begrenzt zu sein, die weltweit im Allgemeinen eher niedrig ist (REICH et al. 2006, REICH & HOBBIIE 2013). Die Autoren plädieren daher für eine Berücksichtigung dieses Zusammenhangs (der auch in Waldsystemen beobachtet wurde, z.B. NORBY et al. 2010, OREN et al. 2001) in aktuellen Klimamodellen, sowie für ein verstärktes Bemühen um Langzeitdaten zu diesem Themenkomplex.

Doch auch natürliche Lebensräume werden für Experimente zum Klimawandel herangezogen. An der Universität von Minnesota (USA) erforscht man, wie sich die aktuelle und absehbar fortschreitende Erderwärmung auf ein konkretes Waldbiotop im Übergangsbereich zwischen borealer und gemäßigter Zone auswirkt (B4WarmED - *Boreal Forest Warming at an Ecotone in Danger*, RICH et al. 2015). In ausgewählten Waldflächen wird dabei seit 2008 eine ober- und unterirdische Erwärmung um wenige Grad Celsius simuliert, um Verschiebungen der Baumartzusammensetzung durch Klimawandel zu untersuchen.

## Untersuchung sozial-ökologischer Systeme

Neben der hier ausführlich dargestellten, naturwissenschaftlich ausgerichteten Biodiversitätsforschung mit einem häufig experimentellen Ansatz hat sich in den letzten Jahrzehnten ein Forschungszweig entwickelt, der die gesellschaftliche Dimension von Biodiversitätsverlust und Klimawandel einbezieht. Hierzu gehört zum Beispiel die sozial-ökologische Forschung, deren Ziel es ist, komplexe Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen gesellschaftlichen Phänomenen und natürlichen Systemen zu untersuchen (LIU et al. 2007) und mittels transdisziplinärer Methoden nachhaltige Lösungsstrategien für drängende umweltbezogene Herausforderungen unserer Zeit zu entwickeln (GRIESSHAMMER et al. 2012). Eine ganz entscheidende Rolle spielen hierbei die indirekten Triebkräfte, die Probleme wie den Biodiversitätsverlust oder den Klimawandel beeinflussen, z.B. das Rechts- und Wirtschaftssystem eines Landes, existierende Machtverhältnisse, die Effektivität von Institutionen oder die Wirkung technischer Innovationen.

In Deutschland existiert mit dem Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) in Frankfurt am Main bereits seit 1989 eine einschlägige Forschungseinrichtung. Ganz maßgeblich gestärkt wurde dieses Forschungsfeld in Deutschland durch das 2001 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung aufgelegte Förderprogramm »Sozial-Ökologische Forschung« (SÖF). Die Bandbreite der im Rahmen dieses Programms erforschten Themen reicht von Möglichkeiten zur Förderung biologischer Vielfalt in Agrarsystemen bis hin zum Potential ökonomischer Steuerungsinstrumente für die Lösung umweltbezogener Probleme (RUPPERT-WINKEL et al. 2015). Wei-



**Abb. 5.7-3:** Klimawandel-Experimente am Beispiel des CLIMATE-Experiments in Dänemark. (a) Das Experiment besteht aus 12 wabenförmigen Versuchseinheiten (Octagonen), von denen 6 zufällig ausgewählte einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration ausgesetzt sind. Das CO<sub>2</sub> strömt aus Metallrohren aus und wird durch den Wind über die Fläche innerhalb des Octagons verteilt. (b) Zusätzlich werden mit Hilfe mobiler Stoffplanen Trockenheit und Wärmeabstrahlung verändert. Diese Manipulationen erfolgen jeweils nur nachts und werden von Regensensoren gesteuert. Copyright: Teis N. Mikkelsen, Kim Pilegaard, Johannes Ransijn.

tere wichtige Themen sozial-ökologischer Forschung sind unter anderem die Erforschung und Lösung von Konflikten, welche durch die Nutzung oder das Unterschutzstellen von bestimmten Arten oder Ökosystemen entstehen, oder die Analyse von Governance-Systemen und ihrer Effizienz.

Die sehr dynamische Entwicklung der sozial-ökologischen Forschung über die letzten zwei Jahrzehnte, sowie die Popularität, die das Ökosystemleistungskonzept gewonnen hat (s. Kap. ZIMMER & HELFER in diesem Band), sind auch Ausdruck dafür, dass sowohl innerhalb der Wissenschaft als auch der Politik das Bewusstsein dafür wächst, dass komplexe Herausforderungen wie der Klimawandel und der Biodiversitätsverlust nicht nur als naturwissenschaftliches, sondern auch als gesellschaftliches Phänomen verstanden werden müssen. Gerade wenn mögliche Entwicklungspfade und Handlungsoptionen identifiziert und ihre potentiellen Konsequenzen abgeschätzt werden sollen, ist das Einbeziehen sozial- und geisteswissenschaftlicher Expertise unabdingbar. Dies ist auch der erklärte Anspruch der Zwischenstaatlichen Plattform für Biodiversität und Ökosystemleistungen (IPBES, s. Kap. REISE in diesem Band), dem sie aber aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte und inzwischen gebildeter Strukturen bisher nur teilweise gerecht wird (REUTER et al. 2016, VADROT et al. 2016). Dennoch muss anerkannt werden, dass sich IPBES einer multidisziplinären Herangehensweise verschrieben hat (DIAZ et al. 2015) und darauf hinwirkt, dass die sozial- und geisteswissenschaftliche Perspektive in seinen Gremien und Produkten stärker vertreten ist.

## Ausblick

Experimentelle Großforschungsprojekte zu Biodiversität und Klimawandel liefern wichtige Erkenntnisse darüber, wie verschiedene, teils anthropogene Einflussfaktoren auf Biodiversität und auf Ökosysteme wirken. Durch geschickte Kombination verschiedenster Einflussgrößen können hierbei sowohl direkte, als auch indirekte Mechanismen verstanden werden. Zudem können Wirkungen auf den Naturhaushalt, aber auch auf das menschliche Wohlergehen oder gesellschaftliche Interaktionen abgeschätzt werden. Neben der Motivation, mittels grundlagenorientierter Studien einen Erkenntnisgewinn um seiner selbst willen zu erzielen, spielt für viele Forschende und Fördermittelgeber im Biodiversitäts- und Klimawandelkontext die potentielle gesellschaftliche Relevanz des generierten Wissens eine herausragende Rolle. So schafft die Biodiversitätsforschung mit einem Fokus auf naturwissenschaftliche Messgrößen eine grundlegende Wissensbasis für wichtige naturschutzrelevante Anwendungen, wie z.B. die Entwicklung von Indikatorsystemen und Schutzkon-

zepten, oder für Empfehlungen von Grenzwerten. Geht es um die Entwicklung von komplexeren Lösungsstrategien für die drängenden Nachhaltigkeitsprobleme unserer Zeit, ist die Einbeziehung ihrer gesellschaftlichen Ursachen und Auswirkungen unerlässlich, wie dies z.B. in der sozial-ökologischen Forschung bereits geschieht. Zukünftige Biodiversitäts- und Klimawandelexperimente werden verstärkt danach beurteilt werden, wie realitätsnah sie sind, und ob deren Ergebnisse sich auf echte Landnutzungssysteme und die land- und forstwirtschaftliche Praxis übertragen lassen.

## Danksagung

Wir danken der DFG für langjährige Unterstützung (DFG-FOR 456, DFG-FOR 1451/1-3, DFG-SPP 1374, DFG-GRK 1644). C.S. dankt der V. Kann Rasmussen Foundation (CLIMATE-Projekt) sowie dem EU-Infrastrukturprojekt »increase«.

## Literatur

- COLLEN, B., J. LOH, S. WHITMEE, L. MCRAE et al. (2009): Monitoring Change in Vertebrate Abundance: the Living Planet Index. *Conservation Biology* 23:317-327.
- CRAWLEY, M. J., A. E. JOHNSTON, J. SILVERTOWN, M. DODD et al. (2005): Determinants of Species Richness in the Park Grass Experiment. *Am Nat* 165:179-192.
- DE BOECK, H. J., S. VICCA, J. ROY, I. NIJS et al. (2015) Global Change Experiments: Challenges and Opportunities. *Bioscience* 65:922-931.
- DIAZ, S., S. DEMISSEW, C. JOLY, W. M. LONSDALE et al. (2015): A Rosetta Stone for Nature's Benefits to People. *PLoS Biology* 13:e1002040.
- DÍAZ, S., A. J. SYMSTAD, F. STUART CHAPIN, D. A. WARDLE et al. (2003): Functional diversity revealed by removal experiments. *Trends in Ecology & Evolution* 18:140-146.
- EBELING, A., S. POMPE, J. BAADE, N. EISENHAUER et al. (2014): A trait-based experimental approach to understand the mechanisms underlying biodiversity-ecosystem functioning relationships. *Basic and Applied Ecology* 15:229-240.
- EISENHAUER, N. (2016): Biodiversity-ecosystem function experiments reveal the mechanisms underlying the consequences of biodiversity change in real world ecosystems. *Journal of Vegetation Science* (in press).
- EVERWAND, G., V. ROSCH, T. TSCHARNTKE, C. SCHERBER (2014): Disentangling direct and indirect effects of experimental grassland management and plant functional-group manipulation on plant and leafhopper diversity. *BMC Ecology* 14:1.
- GFS-GESELLSCHAFT FÜR SCHMETTERLINGSSCHUTZ (2015): Tagfalter-Monitoring Deutschland, Jahresbericht 2014. *Oedippus* 31:1-62.
- GRIEBHAMMER, R., T. JAHN, U. SCHNEIDEWIND, A. ZÄHRNT et al. (2012): Verstehen - Bewerten - Gestalten. Transdisziplinäre Wissen für eine nachhaltige Gesellschaft. Memorandum zur Weiterentwicklung der sozial-ökologischen Forschung in Deutschland. Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt.
- HABEL, J. C., A. SEGERER, W. ULRICH, O. TORCHYK et al. (2016): Butterfly community shifts over two centuries. *Conservation Biology* 30:754-762.
- HECTOR, A. & R. HOOPER (2002): Darwin and the first ecological experiment. *Science* 295:639-640.
- ISELL, F., D. CRAVEN, J. CONNOLLY, M. LOREAU et al. (2015): Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526:574-577.
- LIU, J., T. DIETZ, S. R. CARPENTER, M. ALBERTI et al. (2007): Complexity of Coupled Human and Natural Systems. *Science* 317:1513-1516.
- MIKKELSEN, T. N., C. BEIER, S. JONASSON, M. HOLMSTRUP et al. (2008): Experimental design of multifactor climate change experiments with elevated CO<sub>2</sub>, warming and

- drought: the CLIMAITE project. *Functional Ecology* 22:185-195.
- NORBY, R. J., J. M. WARREN, C. M. IVERSEN, B. E. MEDLYN et al. (2010): CO<sub>2</sub> enhancement of forest productivity constrained by limited nitrogen availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107:19368-19373.
- OREN, R., D. S. ELLSWORTH, K. H. JOHNSEN, N. PHILLIPS et al. (2001): Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere. *Nature* 411:469-472.
- PETERSEN, U., N. WRAGE, L. KÖHLER, C. LEUSCHNER et al. (2012): Manipulating the species composition of permanent grasslands. A new approach to biodiversity experiments. *Basic and Applied Ecology* 13:1-9.
- REICH, P. B. (2009): Elevated CO<sub>2</sub> reduces losses of plant diversity caused by nitrogen deposition. *Science* 326:1399-1402.
- REICH, P. B. & S. E. HOBBIÉ (2013): Decade-long soil nitrogen constraint on the CO<sub>2</sub> fertilization of plant biomass. *Nature Climate Change* 3:278-282.
- REICH, P. B., HOBBIÉ SE, LEE T, ELLSWORTH DS et al. (2006) Nitrogen limitation constrains sustainability of ecosystem response to CO<sub>2</sub>. *Nature* 440:922-925
- REICH, P. B., J. KNOPS, D. TILMAN, J. CRAINE et al. (2001): Plant diversity enhances ecosystem responses to elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen deposition. *Nature* 410:809-812.
- REUTER, K., M. TIMPT & C. NESSHOVER (2016): Disciplinary balance: How to engage social scientists in IPBES. *Nature* 531:173.
- RICH, R. L., A. STEFANSKI, R. A. MONTGOMERY, S. E. HOBBIÉ et al. (2015): Design and performance of combined infrared canopy and belowground warming in the B4WarmED (Boreal Forest Warming at an Ecotone in Danger) experiment. *Global Change Biology* 21:2334-2348.
- ROSCHER, C., J. SCHUMACHER, J. BAADE, W. WILCKE et al. (2004): The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5:107-121.
- RUPPERT-WINKEL, C., R. ARLINGHAUS, S. DEPPISCH, K. EISENACK et al. (2015): Characteristics, emerging needs, and challenges of transdisciplinary sustainability science: experiences from the German Social-Ecological Research Program. *Ecology and Society* 20: 13.
- RUSTAD, L. E. (2008): The response of terrestrial ecosystems to global climate change: towards an integrated approach. *Science of the Total Environment* 404:222-235.
- SCHERBER, C., D. J. GLADBACH, K. STEVNBÄK, R. J. KARSTEN et al. (2013): Multi-factor climate change effects on insect herbivore performance. *Ecology and Evolution* 3:1449-1460.
- SCHMID, B. & A. HECTOR (2004): The value of biodiversity experiments. *Basic and Applied Ecology* 5:535-542.
- SILVERTOWN, J., P. POULTON, E. JOHNSTON & P. M. BISS (2006): The Park Grass Experiment 1856-2006: its contribution to ecology. *Journal of Ecology* 94:801-814.
- STEVNBÄK, K., C. SCHERBER, D. J. GLADBACH, C. BEIER et al. (2012): Interactions between above- and belowground organisms modified in climate change experiments. *Nature Climate Change* 2:805-808.
- TIEDE, J., B. WEMHEUER, M. TRAUOGOTT, R. DANIEL et al. (2016): Trophic and Non-Trophic Interactions in a Biodiversity Experiment Assessed by Next-Generation Sequencing. *Plos One* 11: e0148781.
- TILMAN, D., J. HILL & C. LEHMAN (2006a): Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science* 314:1598-1600.
- TILMAN, D., J. M. H. KNOPS & P. B. REICH (2006b): Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441:629-632.
- VADROT, A. B. M., J. JETZKOWITZ & L. C. STRINGER (2016): Social sciences: IPBES disciplinary gaps still gaping. *Nature* 530:160.
- VESTERGÅRD, M., K. DYRNUM, A. MICHELSEN, C. DAMGAARD et al. (2015): Long-term multifactorial climate change impacts on mesofaunal biomass and nitrogen content. *Applied Soil Ecology* 92:54-63.
- WRIGHT, A. J., A. EBELING, H. DE KROON, C. ROSCHER et al. (2015): Flooding disturbances increase resource availability and productivity but reduce stability in diverse plant communities. *Nature Communications* 6:6092.

#### **Kontakt:**

*Prof. Dr. Christoph Scherber*  
*Institut für Landschaftsökologie,*  
*Westfälische Wilhelms-Universität Münster*  
*Christoph.Scherber@uni-muenster.de*

*Dr. Norma Nitschke*  
*Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) &*  
*Leibniz-Institut f. Molekulare Pharmakologie (FMP), Berlin*  
*Dr. Elisabeth Marquard*  
*Berlin-Brandenburgisches Institut f. Biodiversitätsforschung*  
*(BBIB) - Freie Universität Berlin*

*Scherber, Chr., N. Nitschke & E. Marquard (2016): Aktuelle Forschungsprojekte zu Klimawandel und Biodiversität. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Racher (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. pp. 331-337. Online: [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de). doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.55.*