

Multitrophische Biodiversitätsmanipulation unter kontrollierten Umweltbedingungen im iDiv Ecotron

Manfred Türke^{1,2}, Reinhart Feldmann³, Bernd Fürst⁴, Henrik Hartmann⁵, Martina Herrmann^{6,1},
Stefan Klotz^{3,1}, Georg Mathias^{1,2}, Stefan Meldau⁷, Markus Ottenbreit⁸, Sascha Reth^{4*},
Martin Schädler^{3,1}, Stefan Trogisch^{9,1}, Francois Buscot^{3,1} und Nico Eisenhauer^{1,2}

Zusammenfassung

Anthropogene Veränderungen der Umwelt bedrohen die Biodiversität sowie die Interaktionen zwischen trophischen Ebenen und verändern als Folge deren Einfluss auf Ökosystemfunktionen. Dies führt zu Beeinträchtigungen von Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung oder Bodenfruchtbarkeit. Im Rahmen einer neuen, experimentellen Forschungsplattform, dem „iDiv Ecotron“, sollen die Mechanismen erforscht werden, die dem Zusammenhang von Biodiversität und Ökosystemfunktionen zugrunde liegen, indem die Biodiversität auf mehreren trophischen Ebenen in terrestrischen Ökosystemen gleichzeitig manipuliert wird. Diese vertikale Biodiversitätsmanipulation simuliert Veränderungen der biologischen Vielfalt in natürlichen Ökosystemen und wird so helfen, die Folgen des Artenverlustes und die zugrundeliegenden Mechanismen für das Funktionieren terrestrischer Ökosysteme zu erforschen. Das iDiv Ecotron setzt sich aus 24 identischen, als „EcoUnits“ bezeichneten Versuchseinheiten zusammen, die wiederum in jeweils vier Kammern unterteilt werden können, so dass die Untersuchung von bis zu 96 voneinander isolierten Ökosystemen möglich ist. Im iDiv Ecotron können oberirdisch-unterirdische Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Tier- und Pflanzenarten, Mikroorganismen und abiotischen Faktoren studiert werden sowie die Messung von Stoff- und Energieflüssen unter naturnahen Bedingungen mit nicht invasiven Methoden erfolgen und zugleich die Umweltbedingungen gesteuert und reguliert werden. Dieser Beitrag stellt den wissenschaftlichen Hintergrund und die technischen Möglichkeiten des Ecotrons vor.

Schlagwörter: Bodenmonolithen, Multifunktionalität, multitrophische Interaktionen, Oberirdisch-unterirdische Interaktionen, Ökosystemfunktionen

Summary

Fließtext Anthropogenic environmental changes threaten biodiversity as well as interactions between trophic levels and consequently alter ecosystem functions. A new experimental research platform, the „iDiv Ecotron“, was developed to investigate the mechanisms underlying the relationship between biodiversity and ecosystem functioning by manipulating biodiversity at multiple trophic levels. This vertical biodiversity manipulation more realistically mimics biodiversity changes in natural ecosystems and will thus shed light on mechanisms and consequences of species loss for the functioning of terrestrial ecosystems. The iDiv Ecotron comprises 24 identical experimental units, called „EcoUnits“, each of which may be separated into four compartments, allowing for the study of up to 96 isolated ecosystems. The iDiv Ecotron can be used to investigate aboveground-belowground interactions among different plant and animal species, microorganisms, and abiotic factors and to measure element and energy flows under near-natural conditions using non-invasive methods under controlled environmental conditions. Here we present the scientific background and technical possibilities of the iDiv Ecotron.

Keywords: aboveground-belowground interactions, Ecosystem functions, multifunctionality, multi-trophic interactions, soil monoliths

Wissenschaftlicher Hintergrund

Biodiversität umfasst die genetische Vielfalt innerhalb einer Art sowie den Reichtum an Arten, funktionellen

Artengruppen und Lebensräumen in einem Ökosystem. Die Zusammensetzung von Artengemeinschaften und die Komplexität der Wechselbeziehungen von Organismen untereinander und mit ihrer Umwelt beeinflussen die Funk-

¹ German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Deutscher Platz 5e, D-04103 LEIPZIG

² Institute of Biology, Leipzig University, Johannisallee 21, D-04103 LEIPZIG

³ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ GmbH, Theodor-Lieser-Straße 4, D-06120 HALLE

⁴ UGT GmbH, Eberswalder Straße 58, D-15374 MÜNCHENBERG / Lise-Meitner-Straße 30, D-85354 FREISING

⁵ Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Hans Knöll Straße 10, D-07745 JENA

⁶ Friedrich Schiller University Jena, Institute of Ecology, Aquatic Geomicrobiology, Dornburger Straße 159, D-07743 JENA

⁷ KWS SAAT SE, Grimsehlstraße 31, D-37574 EINBECK

⁸ emc GmbH, Liebknechtstraße 41, D-99086 ERFURT

⁹ Institute of Biology/Geobotany and Botanical Garden, Martin Luther University Halle-Wittenberg, Am Kirchtor 1, D-06108 HALLE

* Ansprechpartner: Dr. Sascha Reth, sascha.reth@ugt-online.de



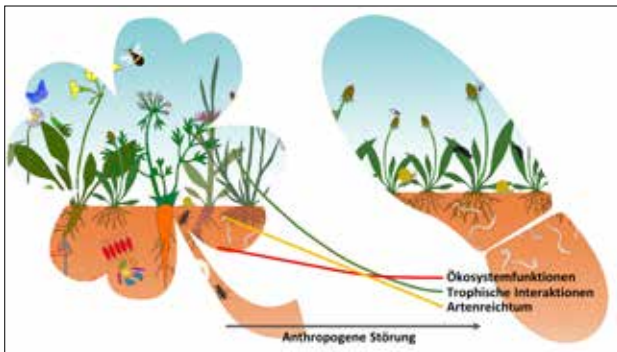


Abbildung 1: Die Verarmung von Biodiversität durch anthropogene Störungen der Landschaft geht mit einer Reduktion der Interaktionen zwischen trophischen Ebenen und Ökosystemfunktionen einher.

tionalität von Ökosystemen (Naeem et al. 1994, Lefcheck et al. 2015, Soliveres et al. 2016b). Viele dieser sogenannten Ökosystemdienstleistungen sind wiederum von essentieller Bedeutung für den Menschen und werden deshalb als Ökosystemdienstleistungen bezeichnet (Cardinale et al. 2012, Mace et al. 2012, Naeem et al. 2012). Dazu gehören beispielsweise die Biomasseproduktion, Bestäubung von Nutzpflanzen, Kontrolle von Schädlingen, Regulierung von Nährstoffkreisläufen, der Schutz vor Verunreinigungen von Gewässern und vor Bodenerosion sowie die Speicherung von Kohlenstoff zur Verringerung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre.

Anthropogene Einflüsse auf die Umwelt, wie etwa der Klimawandel, die Fragmentierung und Degradation von Habitaten sowie die Intensivierung der Landnutzung, haben häufig einen negativen Einfluss auf die Diversität zahlreicher ober- und unterirdischer Organismengruppen, darunter Pflanzen, Tiere und Mikroben (Allan et al. 2014, Gossner et al. 2016) (Abbildung 1). Die Diversität in höheren trophischen Ebenen (z.B. Pflanzenfresser, Räuber und Zersetzer) sind von besonderer Wichtigkeit, da sie eine Vielzahl von Ökosystemfunktionen gleichzeitig beeinflussen (= Multifunktionalität) (Lefcheck et al. 2015, Soliveres et al. 2016b). Allerdings werden diese höheren trophischen Ebenen häufig durch anthropogene Störungen stark negativ beeinflusst (Attwood et al. 2008, Allan et al. 2014) (Abbildung 1). Besonders seltene Arten sind von lokalem Aussterben oft stark betroffen, wobei diese Arten mitunter einen wichtigen Beitrag zur Multifunktionalität von Ökosystemen leisten (Soliveres et al. 2016a).

Feldstudien zeigen korrelative Zusammenhänge zwischen taxonomischen Gruppen und Ökosystemfunktionen und -prozessen auf (Soliveres et al. 2016b, van der Plas et al. 2016). Um zu verstehen wie multitrophische Komplexität, also das Wechselspiel zwischen Organismen und ökologischen Prozessen, die Funktionalität von Ökosystemen beeinflusst, sind neue wissenschaftliche Herangehensweisen notwendig (Eisenhauer et al. 2016). Eine Möglichkeit bieten hier Freilandexperimente, in welchen meist pflanzliche Diversitätsgradienten etabliert und bezüglich ihrer Funktionalität miteinander verglichen werden (Eisenhauer et al. 2016). Um multitrophische Systeme manipulieren zu können, müssen experimentelle Ökosysteme jedoch möglichst in sich geschlossen sein, um Immigration und Emigration von Organismen und Stoffen einzuschränken.

Hier bieten Ecotrons, d.h. Versuchsanlagen mit isolierten Ökosystemen, eine vielversprechende Lösung (Lawton 1996). Solche Versuchsanlagen sind besonders geeignet, um Stoff- und Energieflüsse über verschiedene trophische Ebenen hinweg betrachten zu können, welche die Grundlage von wichtigen Ökosystemprozessen und -dienstleistungen darstellen (Hines et al. 2015).

Was ist ein Ecotron?

In einem Ecotron werden in einer Reihe identischer Versuchskammern isolierte Ökosysteme etabliert. Ökologische Prozesse und Stoffflüsse können im Ecotron mit nicht-invasiven Methoden gemessen werden, während zugleich die Umweltbedingungen gesteuert und reguliert werden. Die Ökosysteme sind in sich geschlossen, d.h. es findet kein ungewollter Ein- oder Austrag von Wasser, Nährstoffen, Ressourcen, Organismen und gegebenenfalls Gasen statt und alle Veränderungen in diesen Ökosystemprozessen werden dokumentiert und können zwischen verschiedenen Behandlungen verglichen werden.

Ecotron-Forschung bietet einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Labor- und Feldstudien (Abbildung 2). Die Ergebnisse aus Laborexperimenten spiegeln nicht immer die Ergebnisse aus natürlichen Lebensräumen wider, da unter vereinfachten Bedingungen im Labor oft die Wechselwirkungen zwischen Arten sowie die Wechselbeziehungen zwischen Prozessen in natürlichen Ökosystemen fehlen (Calisi und Bentley 2009). Andererseits variieren in natürlichen Ökosystemen die Umweltbedingungen zeitlich und räumlich stark, und Ökosystemprozesse werden durch eine Vielzahl (häufig unbekannter) Faktoren beeinflusst, die Varianz in den Daten erzeugen. Diese Varianz kann wiederum die allgemeinen Mechanismen verschleiern, die den untersuchten Prozessen zu Grunde liegen (Calisi und Bentley 2009). Experimentelle Ansätze, die naturnahe Bedingungen simulieren, wie etwa im Ecotron, bieten die Möglichkeit, die Varianz zu reduzieren sowie ökologische Wechselwirkungen von Organismen in einem angemessenen, räumlichen Maßstab zu untersuchen (Lawton 1996).

Der Begriff Ecotron wurde in den späten 1950er Jahren durch Frode Eckardt in Montpellier geprägt, der seinerseits vom Phytotron der Caltech in Pasadena beeinflusst wurde (<http://www.ecotron.cnrs.fr>). Dieser Name leitete sich wiederum vom Zyklotron (Cyclotron) in Berkeley ab, einem Teilchenbeschleuniger, wobei Cyclo- für Kreis und -tron für die Endung von Elektron steht. Das Präfix Eco- in Ecotron steht für Ökologie bzw. ökologisch (Ecology/ ecological).

Während per Definition eine Vielzahl von Versuchsanlagen als Ecotron bezeichnet werden könnte, wurde der Name bisher nur vereinzelt verwendet, so etwa für das Ecotron in Silwood Park (Imperial College London, Lawton et al. 1993), in dem der erste Nachweis zur Bedeutung von Biodiversität für Ökosystemfunktionen experimentell erbracht wurde (Naeem et al. 1994) und das 2013 geschlossen wurde (<http://www.ecotron.cnrs.fr>). In Montpellier wurde 2010 ein Ecotron für Untersuchungen über den Einfluss von Biodiversität in Wechselwirkung mit Umweltveränderungen auf Stoffkreisläufe in Betrieb genommen (<http://www.ecotron.cnrs.fr>; Lange et al. 2015, Roy et al. 2016). Weitere Ecotrons entstehen derzeit z.B. in Frankreich und Belgien (<http://www.ecotron.cnrs.fr>).

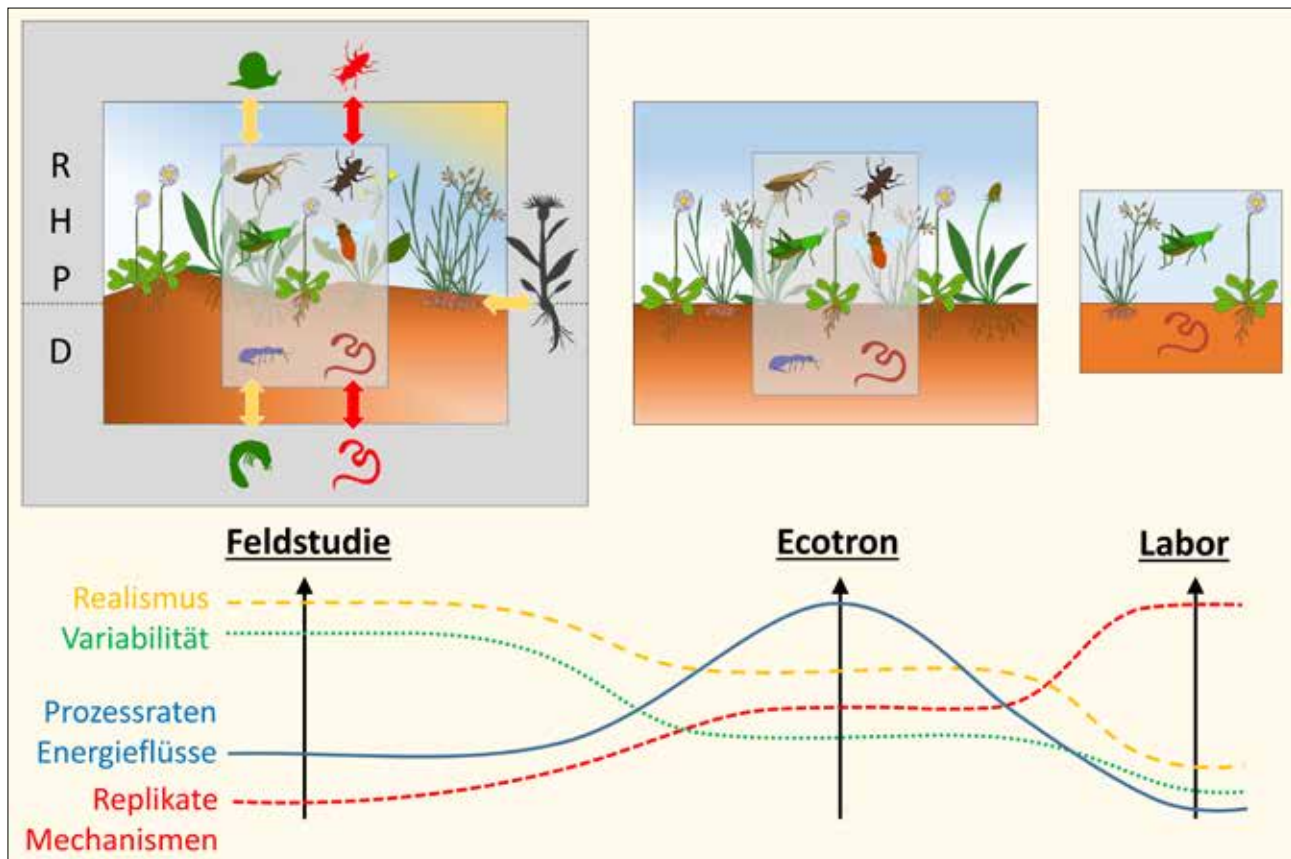


Abbildung 2: Kontrast der Vor- und Nachteile von Feld- und Laborstudien und des Ecotrons als wichtiges Bindeglied zwischen beiden Ansätzen. In multitrophischen Systemen werden Interaktionen von Räubern (R), Herbivoren (= Pflanzenfresser, H), Primärproduzenten (= Pflanzen, P) und Destruenten (= Zersetzer, D) untersucht. Im Freiland herrscht eine große räumliche und zeitliche Variabilität in den Umwelteinflüssen vor, die Effekte und Mechanismen im Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemfunktionen verschleiern können und wodurch kaum vergleichbare Replikate untersucht werden können. Die Probesträche ist umgeben von einer potentiell unerforschten und variablen Matrix (graue Box), die Einfluss auf die untersuchten Parameter nimmt. So finden etwa Immigration und Emigration von Organismen statt (rote Pfeile), was eine genaue Verfolgung der Populationsentwicklung erschwert, und es finden Interaktionen mit nicht erfassten Organismen statt (gelbe Pfeile), die das Verhalten der untersuchten Arten und die Entwicklung von Prozessen beeinflussen. Feldstudien zeigen korrelative Zusammenhänge unter realistischen Bedingungen auf, sind aber weniger geeignet um spezifische Mechanismen zu ergründen, die bestimmten Ökosystemprozessen zugrunde liegen. Laborstudien bilden oft stark vereinfachte, unrealistische Bedingungen ab, mit nur wenigen untersuchten (häufig standardisierten) Arten, Prozessen und Interaktionen. Sie sind geeignet, um spezifische Mechanismen mit einer großen Anzahl standardisierter, identischer Replikate zu untersuchen. Ecotron-Forschung nutzt die Vorteile aus beiden Ansätzen und ist insbesondere geeignet um Prozessraten und Stoff- und Energieflüsse im Ökosystem zu messen.

iDiv Ecotron

Das iDiv Ecotron (https://www.idiv.de/de/forschung/forschungsplattformen/idiv_ecotron.html) ist eine gemeinsame Forschungsplattform vom Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). Die Konzeptionierung erfolgte unter Zusammenarbeit von zahlreichen Wissenschaftlern und Technikern von iDiv und UFZ und den Firmen Emc GmbH, Erfurt und Umwelt-Geräte-Technik GmbH (UGT), Müncheberg. Der Fokus der Forschung liegt auf dem Einfluss von multitrophischer Komplexität von Artengemeinschaften auf Ökosystemfunktionen und hat damit die größten inhaltlichen Übereinstimmungen mit dem Ecotron des Imperial College London (Lawton et al. 1993). Die Forschung im iDiv Ecotron wird sich auf das Verständnis der Beziehungen zwischen horizontaler (d.h. die Anzahl der Arten innerhalb einer trophischen Ebene) und

vertikaler Biodiversität (d.h. die Anzahl der trophischen Ebenen) und der Multifunktionalität von Ökosystemen konzentrieren, insbesondere im Hinblick auf höhere trophische Ebenen. Drei Schlüsselfragen der Forschung lauten:

- (1) Beeinflusst die Komplexität der Interaktionsnetzwerke zwischen Arten die Funktionsweise von Ökosystemen?
- (2) Wie hängen Ökosystemfunktionen von den Beziehungen zwischen oberirdischen und unterirdischen Organismen und Prozessen ab?
- (3) Welche Auswirkungen hat der globale Wandel auf Biodiversität, Interaktionsnetzwerke und Ökosystemfunktionen?

In verschiedenen Behandlungen wird die Diversität und Komplexität der Ökosysteme manipuliert und experimentell mit Treibern des globalen Wandels gekreuzt. Die iDiv Ecotron Versuchseinheiten (EcoUnits) sind so konzipiert, dass sie Organismen mit verschiedenen Wuchsformen

und Lebensstrategien beherbergen können, was es ermöglicht, die Interaktionen zwischen Primärproduzenten, Zersettern, Pflanzenfressern, Räubern, Mutualisten, Parasiten und Pathogenen sowie abiotischen Bedingungen zu untersuchen. Dazu werden in die EcoUnits Pflanzen wie Moose, Kräuter, Gräser, Stauden und Baumsetzlinge eingebracht. Es werden oberirdische Tiere (z.B. Insekten, Spinnen und Weichtiere), unterirdische Tiere (z.B. Regenwürmer, Springschwänze, Milben und Fadenwürmer) sowie Mikroorganismen hinzugefügt oder die Artenzahl und Abundanz in diesen Gruppen in intakten Bodenmonolithen nachträglich verarmt, z. B. durch den gezielten Einsatz von Pestiziden (De Laender et al. 2016). Abiotische Bedingungen, wie die Intensitäten von Licht, Beregnung, Nährstoffversorgung oder Toxinen, werden manipuliert. Viele Parameter werden mit mobiler sowie fest installierter, nicht invasiver Messtechnik erfasst, wie z.B. mittels automatisierter Sickerwasserbeprobung und Videokameras (siehe Technischer Aufbau, *Abbildung 3*). Als Beispiele für die geplanten Untersuchungen seien hier der Einfluss von Interaktionen zwischen Antagonisten (herbivore Insekten, Pathogene) und Mutualisten (Mykorrhiza-Pilze, Endophyten, Zersetzer) auf die Koexistenz von Pflanzenarten und Tierarten genannt. Außerdem ist die Messung von Substratflüssen innerhalb komplexer Netzwerke möglich. Der Einfluss von Biodiversitätseffekten und Stressfaktoren auf Konkurrenz zwischen Arten und daraus resultierend auf deren Populationsentwicklung und auf das Verhalten und die Physiologie von Individuen innerhalb der Populationen sollen ebenfalls betrachtet werden. Diese Interaktionen werden zudem hinsichtlich ihres Einflusses auf Ökosystemfunktionen untersucht, wie beispielsweise die Biomasseproduktion in verschiedenen trophischen Ebenen oder die Kohlenstoffspeicherung im Boden.

Technischer Aufbau

Ecotron-Halle

Das Ecotron wurde in einer klimagesteuerten Halle mit einer Fläche von 580 m² auf der UFZ-Versuchsstation Bad Lauchstädt errichtet. Es beherbergt 24 identische EcoUnits, die jeweils ein bis vier voneinander isolierte Ökosysteme aufnehmen können (*Abbildung 3*). Die Lufttemperatur kann ganzjährig in einem Schwankungsbereich um $20 \pm 5^\circ \text{C}$ geregelt werden. Jede EcoUnit hat einen definierten Aufstellungsbereich, wobei jeweils vier Einheiten im Block um einen Medienturm arrangiert werden, wo sich die Anschlüsse für Strom (2.7 kW pro EcoUnit), VE-Wasser, Datennetzwerk und Kühlmedium befinden (*Abbildung 4*). Die EcoUnits sind transportabel. Der Transport der EcoUnits zum Zweck der Befüllung mit Boden und der Entleerung erfolgt mit dem Gabelstapler (*Abbildung 5a*). Entsprechende Fahrwege sind in der Halle vorhanden.

EcoUnits

Die 24 EcoUnits (*Abbildung 3*) wurden so konstruiert, dass ein hohes Maß an Flexibilität in der Wahl der zu untersuchenden Ökosysteme und in der Anwendung von verschiedenen Behandlungen gewährleistet werden kann. Jede EcoUnit kann, je nach Bedarf, mit einem einzigen, großräumigen Ökosystem ausgestattet werden (N=24) oder nur oberirdisch mittels Trennwänden, nur unterirdisch mittels Lysimetern oder in beiden Bereichen in bis zu vier Kompartimente aufgeteilt werden, in denen entsprechend vier weitestgehend unabhängige Ökosysteme unter verschiedenen Behandlungen etabliert werden können (N=96; *Abbildung 6*). Die Dimensionen der EcoUnits ermöglichen realistische Interaktionen zwischen Pflanzen, wirbellosen

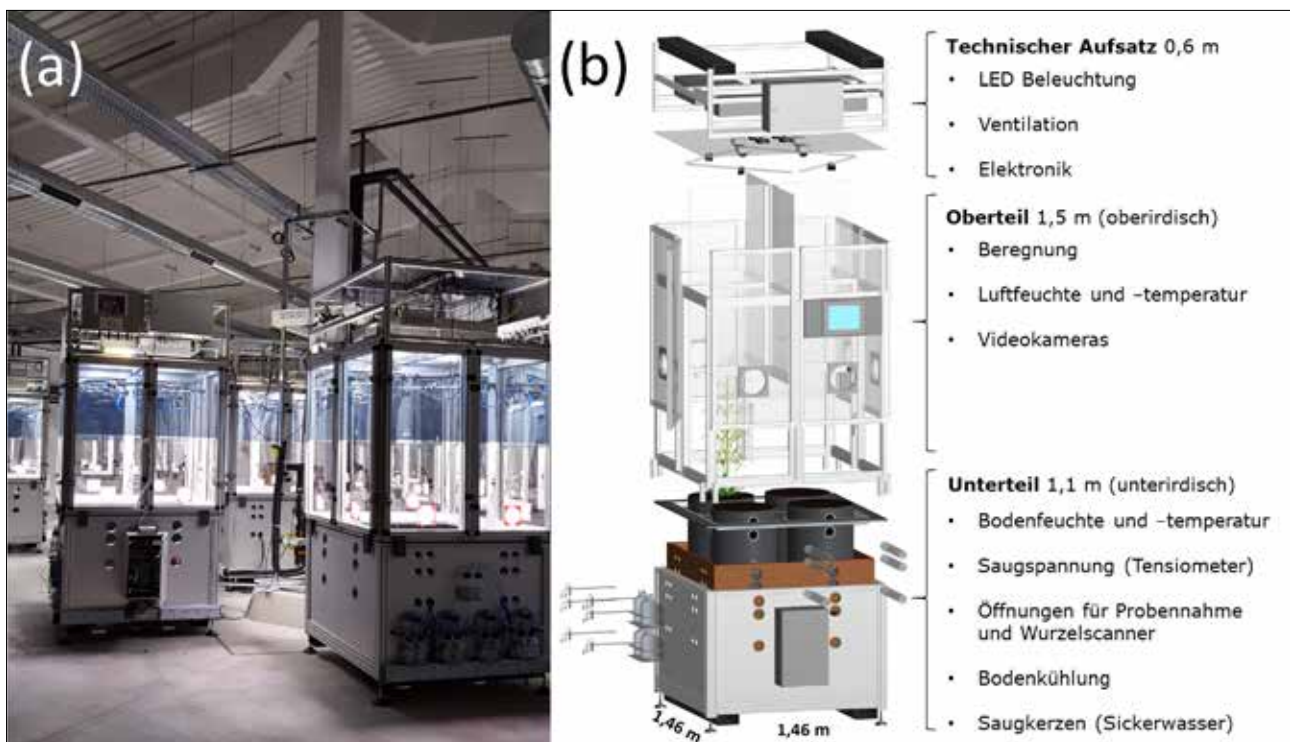


Abbildung 3: iDiv Ecotron-Halle mit 24 EcoUnits (a) und Aufbau einer EcoUnit (b).

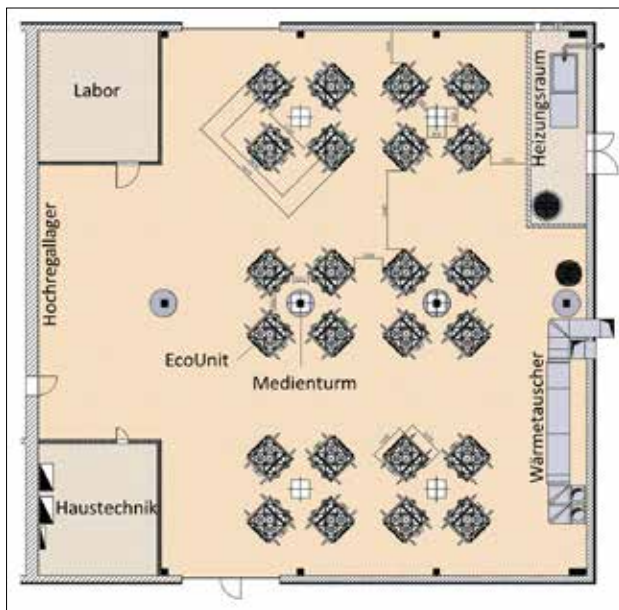


Abbildung 4: Ecotron-Halle (580 m²) auf der UFZ-Versuchsstation Bad Lauchstädt mit 24 EcoUnits. Der Grundriss wurde modifiziert nach einer Vorlage des Ingenieurbüros für Energie-, Haus- und Umwelttechnik A. Körwitsch, Gerbstedt.

Tieren und Mikroorganismen. Innerhalb der Versuchskammern sollen natürliche Bedingungen simuliert werden, wie etwa Regen durch ein automatisiertes Beregnungssystem oder ein Temperaturgradient im Boden durch eine Unterbodenkühlung. Es sollen terrestrische Ökosysteme aufgebaut werden, die über Wochen bis Monate stabil gehalten werden. Der Prototyp einer EcoUnit wurde 2015 gebaut, experimentell getestet und unter verschiedenen Aspekten (u.a. Bedienung, Licht- und Beregnungshomogenität) beurteilt. Die Ergebnisse dieser Tests halfen das Design der endgültigen EcoUnits zu verbessern. Die EcoUnits wurden durch beauftragte Firmen gebaut, wobei die Emc GmbH den Bau der Oberteile und der dort verbauten Elektronik und Steuerungssysteme, die UGT GmbH die Unterteile und zugehörige Elektronik und Sensoren (Abbildung 3) und die Roschwege GmbH den Bau der LED-Lampen durchführten.

Abmessungen

Die EcoUnits haben die Gesamtabmessungen von $1,55 \times 1,55 \times 3,20$ m (L \times B \times H) und setzen sich aus einem mit Substrat gefüllten Unterteil (unterirdischer Teil), einem Oberteil (oberirdischer Teil) sowie einem technischen Aufsatz zusammen (Abbildung 3). Das Gestell der Kammer besteht aus Aluminiumprofilen, die zum einen für Stabilität sorgen, es aber auch ermöglichen jederzeit zusätzliche Komponenten hinzuzufügen. Das Unterteil umfasst einen Behälter mit den Innenabmessungen von $1,24 \times 1,24 \times 0,80$ m (L \times B \times H), der mit $1,23$ m³ Boden befüllt werden kann oder alternativ vier Stahlzylinder (Lysimeter) von $0,50 \times 0,80$ m (D \times H) mit je $0,16$ m³ Boden aufnehmen kann. Lysimeter können entweder manuell mit Erde befüllt oder zur Entnahme intakter Bodenmonolithe aus dem Feld verwendet werden, die dann in die EcoUnits eingebracht werden (Abbildung 5b). An das Oberteil mit den Innenabmessungen von $1,38 \times 1,38 \times 1,50$ m (L \times B \times H) schließt sich ein technischer Aufsatz mit den Anlagen für die Beleuchtung, Belüftung und Beregnung an.

Feste Einbauten für die Messtechnik

Im oberirdischen Teil befinden sich vier Sensoren für die Messung von Lufttemperatur und Luftfeuchte. Im unterirdischen Teil befinden sich in drei verschiedenen Bodentiefen (Mitte des Sensors in einer Bodentiefe von 9,5, 21,5 und 43,5 cm) jeweils vier Sensoren zur Messung von Bodentemperatur und -feuchte sowie vier Tensiometer zur Messung der Saugspannung im Boden. Die Daten dieser Sensoren werden in ausgewählten Zeitabständen automatisch von der zentralen Steuereinheit erfasst. Am Grund des Bodenbehälters bzw. jedes der vier Lysimeter befinden sich Saugsonden, die kontinuierlich Sickerwasser für chemische Analysen sammeln. Darüber hinaus können im oberirdischen Teil zudem bis zu vier HD-IP-Videokameras verbaut werden, mit denen die Vegetationsentwicklung im Verlauf des Experiments sowie Insektenverhalten erfasst werden, wie etwa die Bewegung und Habitatnutzung, Herbivorie, Prädation und Bestäubung. Die Kameras können unter Verwendung von Infrarotlicht auch bei Dunkelheit aufzeichnen. In den Wänden des Unterteils befinden sich vier Öffnungen in jeder der drei Bodentiefen (eine Öffnung pro Tiefenstufe in jedem Lysimeter). Diese können vielseitig verwendet werden: entweder zur horizontalen Entnahme von Bodenproben bzw. von Bodenvolatilen während der Experimente oder zum Einbau von Acrylglasröhren, in welche wiederum ein transportabler Wurzelscanner eingeführt wird, der zur Überwachung des Wurzelwachstums und von Wurzelumsatzraten dient. Alternativ können sie auch zur Installation von Röhren genutzt werden, welche die Lysimeter unterirdisch miteinander verbinden, um Ausbreitungskorridore für Bodenorganismen zu schaffen.

Umweltbedingungen

Die Einstellung der Umweltparameter und die Festlegung der Erfassungsintervalle erfolgen über ein Netzwerk via Zentralrechner oder über transportable Tablets und können entweder für die gesamte Serie der 24 EcoUnits, Gruppen von EcoUnits, individuelle EcoUnits oder individuelle Kompartimente geregelt werden. Eine eigens entwickelte Software (Emc GmbH) ermöglicht eine Steuerung über eine intuitive Benutzeroberfläche. Alle Einstellungen der Umweltbedingungen (z.B. Änderungen der Lichtintensität oder Beregnungsereignisse) sowie die Messwerte werden erfasst und in einer Datenbank auf dem Zentralrechner gespeichert.

Licht: Jede EcoUnit verfügt über vier LED Leuchten, die im Verbund betrieben werden. Es gibt vier Farb- (Wellenlängen-) Kanäle, die einzeln zwischen 0 und 100% ihrer Kapazität geregelt werden können. Für jeden Farbkanal kann die Intensität für jede Stunde im Laufe des Tages definiert werden, wobei sich die Intensität zwischen aufeinanderfolgenden Stunden mit verschiedenen Einstellungen schrittweise verändert. So kann der relative Anteil von Licht mit verschiedenen Wellenlängen innerhalb des Lichtspektrums angepasst werden (z.B. ein höherer Anteil von Rotlicht während der Morgen- und Abenddämmerung). Die verfügbaren Farbkanäle sind weiß (3000 K und 5000 K), UV (400 - 405 nm), blau (460 - 475 nm) und rot (625 - 740 nm). Bei den maximalen Lichtintensitätseinstellungen beträgt die Intensität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) auf Bodenniveau $>400 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$. Für jeden Tag des Jahres kann ein Gesamtlichtintensitätsniveau für alle gemeinsam



Abbildung 5: Transport und Neigung eines EcoUnit-Bodenteils mit dem Gabelstapler (a) und Entnahme von Lysimetern im Feld durch die UGT GmbH (b).

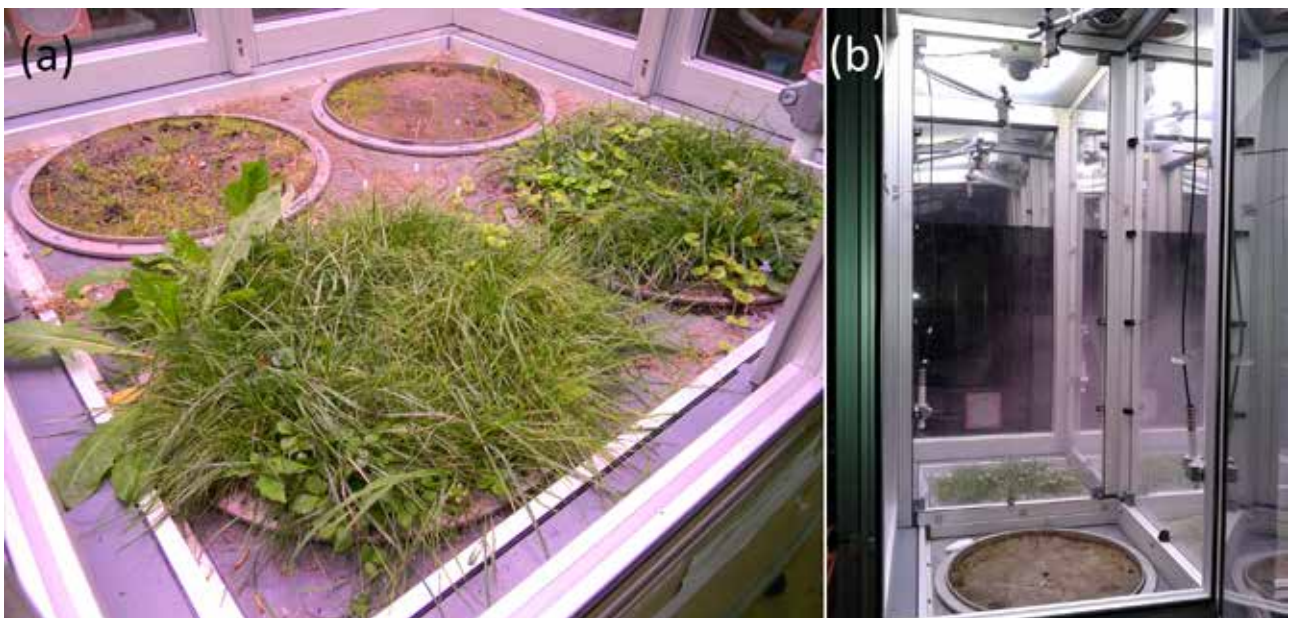


Abbildung 6: EcoUnit Prototyp mit eingesetzten Lysimetern. Ohne oberirdische Trennwände (a) können bis zu 24 isolierte Ökosysteme untersucht werden und mit eingesetzten Trennwänden (b) sogar 96 Ökosysteme.

behandelten Farbkanäle zwischen 0 und 100% definiert werden, so dass saisonale Änderungen der Lichtintensität und Tageslänge simuliert werden können.

Beregnung: Vier im Oberteil installierte Bewässerungsdüsen sorgen für die automatische Beregnung mit entionisiertem Wasser, wobei die Möglichkeit besteht, die Durchflussrate (über Änderungen des Wasserdruckes), die Wassermenge sowie die Häufigkeit der Beregnungsereignisse zu mo-

difizieren. Aus Düsen verschiedener Hersteller und mit unterschiedlichen Sprühwinkeln wurden solche ausgewählt, die eine bestmögliche, räumliche Homogenität des Niederschlags auf Bodenniveau erzielen. Für die Viertelbereiche der Einheit können unterschiedliche Beregnungsmengen eingestellt werden.

Klima: In der Ecotron-Halle werden Lufttemperatur und -feuchte geregelt. Die durch die oberirdischen Datenlogger

zur Verfügung gestellten Informationen zu Temperatur und Feuchte innerhalb der EcoUnits werden mit den Bedingungen in der Ecotron Halle verglichen. Die Klimabedingungen innerhalb der Einheiten können nun durch die Erhöhung oder Reduzierung der Lüftergeschwindigkeit automatisch an die Bedingungen in der Halle angeglichen werden. Auch manuelle Einstellungen können vorgenommen werden. Für die Viertelbereiche der Einheit sind unterschiedliche Einstellungen möglich.

Bodentemperatur: Um einen naturnahen Bodentemperaturgradienten zu erzielen, bei dem die Temperatur von den tieferen Bodenschichten zur Oberfläche hin ansteigt, wurde am Boden des Unterteils/Bodenbehälters ein Kapillarsystem installiert, in dem ein Kühlmedium (Ethylenglykol-Wasser-Gemisch) zirkuliert. Verschiedene Einstellungen, in denen die Daten aus den ober- und unterirdischen Temperatursensoren verwendet werden, können zur automatischen Anpassung der Bodentemperatur herangezogen werden. Die Bodentemperatur kann für jede EcoUnit einzeln reguliert werden.

Ausblick

Die Forschung im iDiv Ecotron soll dazu dienen, Mechanismen zu identifizieren, die den Zusammenhängen von multitrophischer Komplexität und der Multifunktionalität von Ökosystemen zugrunde liegen. Dabei bildet diese Forschung ein Bindeglied zwischen Laborstudien, Biodiversitätsexperimenten im Freiland und Feldbeobachtungen. Eine Abstimmung in den wissenschaftlichen Fragestellungen und eine Vernetzung mit anderen Forschungsplattformen von iDiv und UFZ, wie etwa dem Jena Experiment (<http://www.the-jena-experiment.de/>) oder der Global Change Experimental Facility (www.ufz.de/gcef/), ist daher vorgesehen. Die Ergebnisse der verschiedenen Plattformen, die auf unterschiedlichen, räumlichen Skalen operieren, sollen sich gegenseitig ergänzen und so ein umfassenderes Bild von dem Verhältnis von Biodiversität und Ökosystemfunktionen liefern.

Danksagung

Zahlreiche wissenschaftliche und technische Mitarbeiter von iDiv und UFZ waren an der Konzeptionierung des iDiv Ecotrons beteiligt. Besonderer Dank gilt den Teilnehmern des ersten Ecotron sDiv Workshops 2013, allen iDiv Wissenschaftlern, die durch Teilnahme an Befragungen wertvolle Hinweise für das Ecotron-Konzept geliefert haben, den weiteren Mitgliedern der aktuellen Ecotron Kommission Ulrich Brose, Stan Harpole und Alexandra Weigelt, den weiteren iDiv-Direktoren Helge Bruelheide, Kirsten Küsel und Christian Wirth, den UFZ Kollegen Karl-Heinz Bäte, Katy Bernhard, Detlef Bunge, Konrad Kirsch, Ines Merbach, Kai Morlock, Peter Portius und Thomas Wieser, den iDiv Kollegen Bianca Bachmann, Stefan Bernhardt, Thomas Boy, Vadim Bulst, Simone Cesarz, Lucien Daenen, Kathrin Greyer, Andy Hofmann, Christian Krause, Alfred Lochner, Sabine Matthäi, Marlene Rauschenbach und Dirk Sarpe sowie den Kollegen aus der Wirtschaft Stefan Gmyrek, Daniel Hirt, Philipp Jaesche, Armin Körwitsch, Birgit Ludwig, Rolf Schweitzer, Andreas Stach und Patrick Wilke. Die Ecotron Forschungsplattform wird finanziert aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG; FZT 118) und der Helmholtz-Gemeinschaft.

Literatur

- Allan E., Bossdorf O., Dormann C.F., Prati D., Gossner M.M. et al. (2014) Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multi-diversity. *P Natl Acad Sci USA* 111, 308-313.
- Attwood S.J., Maron M., House A.P.N., Zammit C. (2008) Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management? *Global Ecol Biogeogr* 17, 585-599.
- Calisi R.M., Bentley G.E. (2009) Lab and field experiments: Are they the same animal? *Horm Behav* 56, 1-10.
- Cardinale B.J., Duffy J.E., Gonzalez A., Hooper D.U., Perrings C. et al. (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59-67.
- De Laender F., Rohr J.R., Ashauer R., Baird D.J., Berger U. et al. (2016) Reintroducing environmental change drivers in biodiversity-ecosystem functioning research. *Trends Ecol Evol* 31, 905-915.
- Eisenhauer N., Barnes A.D., Cesarz S., Craven D., Ferlian O. et al. (2016) Biodiversity-ecosystem function experiments reveal the mechanisms underlying the consequences of biodiversity change in real world ecosystems. *J Veg Sci* 27, 1061-1070.
- Gossner M.M., Lewinsohn T., Kahl T., Grassein F., Boch S. et al. (2016) Land-use intensification causes multitrophic homogenization of grassland communities. *Nature* 540, 266-269.
- Hines J., van der Putten W.H., De Deyn G.B., Wagg C., Voigt W. et al. (2015) Towards an integration of biodiversity-ecosystem functioning and food web theory to evaluate relationships between multiple ecosystem services. In: Woodward, G., Bohan, D.A. (Eds.) *Ecosystem services: from biodiversity to society*, Pt 1, *Adv Ecol Res* 53: 161-199.
- Lange M., Eisenhauer N., Sierra C.A., Bessler H., Engels C. et al. (2015) Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Comm* 6, 6707 (doi:10.1038/ncomms7707).
- Lawton J.H. (1996) The Ecotron facility at Silwood Park: The value of „big bottle“ experiments. *Ecology* 77, 665-669.
- Lawton J.H., Naeem S., Woodfin R.M., Brown V.K., Gange A. et al. (1993) The Ecotron - a controlled environmental facility for the investigation of population and ecosystem processes. *Philos T Roy Soc B* 341, 181-194.
- Lefcheck J.S., Byrnes J.E.K., Isbell F., Gamfeldt L., Griffin J.N. et al. (2015) Biodiversity enhances ecosystem multifunctionality across trophic levels and habitats. *Nature Comm* 6, 6936 (doi:10.1038/ncomms7936).
- Mace G.M., Norris K., Fitter A.H. (2012) Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol Evol* 27, 19-26.
- Naeem S., Duffy J.E., Zavaleta E. (2012) The functions of biological diversity in an age of extinction. *Science* 336, 1401-1406.
- Naeem S., Thompson L.J., Lawler S.P., Lawton J.H., Woodfin R.M. (1994) Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368, 734-737.
- Roy J., Picon-Cochard C., Augusti A., Benot M.-L., Thiery L. et al. (2016) Elevated CO₂ maintains grassland net carbon uptake under a future heat and drought extreme. *P Natl Acad Sci USA* 113, 6224-6229.
- Soliveres S., Manning P., Prati D., Gossner M.M., Alt F. et al. (2016a) Locally rare species influence grassland ecosystem multifunctionality. *Philos T Roy Soc B* 371, 20150269 (doi: 10.1098/rstb.2015.0269).
- Soliveres S., van der Plas F., Manning P., Prati D., Gossner M.M. et al. (2016b) Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* 536, 456-459.
- van der Plas F., Manning P., Soliveres S., Allan E., Scherer-Lorenzen M. et al. (2016) Biotic homogenization can decrease landscape-scale forest multifunctionality. *P Natl Acad Sci USA* 113, 3557-3562.

