

Biodiversitäts-Exploratorien

# Wissenschaftliche Veröffentlichungen

in internationalen Fachzeitschriften 2020–2022





Coverfoto

Rubenbauer M.

Foto oben

Rubenbauer M.

# Vorwort



Die große Bedeutung der biologischen Vielfalt für den Menschen und der gleichzeitige starke Rückgang der biologischen Vielfalt rücken immer stärker ins Bewusstsein von Gesellschaft und Politik. Die wichtigste direkte Ursache des Rückgangs ist nach wie vor die oft zu intensive Landnutzung. In Mitteleuropa werden die meisten Wald- und Grünlandflächen heute intensiv genutzt, während naturbelassene Flächen oder naturnahe Nutzungsformen viel seltener sind. Während die Auswirkungen der Landnutzung für viele Pflanzen und auch einige Tiergruppen relativ gut bekannt sind, ist dies für viele andere Tiere, Pilze, Bakterien und weitere Einzeller und für die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen all diesen Lebewesen kaum verstanden. Noch viel weniger bekannt ist das gesamte Ausmaß der Folgen des Rückgangs der biologischen Vielfalt für den Menschen. Die Biodiversitäts-Exploratorien widmen sich der umfassenden Erforschung der Zusammenhänge zwischen Landnutzung, biologischer Vielfalt und dem Nutzen der Natur für den Menschen.

Die Biodiversitäts-Exploratorien werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG langfristig gefördert. Sie sind ein Forschungsprogramm, in dem Forschende aus aktuell 50 Forschungseinrichtungen in 41 Teilprojekten zusammenarbeiten.

Die Projekte untersuchen verschiedene Facetten der Beziehung zwischen der Landnutzung, der Vielfalt verschiedener Organismen, verschiedenster Ökosystemfunktionen und der Leistungen der Ökosysteme für den Menschen. Die Forschung stützt sich auf 300 gemeinsame Untersuchungsflächen und gemeinsame Experimente in Wäldern, Wiesen und Weiden in drei Landschaften im Südwesten, der Mitte und im Nordosten Deutschlands. Zudem dienen Interviews und Umfragen dazu, die Motivation für die Nutzung von Flächen und die Bedeutung der durch die Flächen erbrachten Ökosystemleistungen aus den Perspektiven verschiedener Interessen zu verstehen. Die gemeinsame und koordinierte Forschung ermöglicht einen weltweit einmaligen Reichtum an Informationen und Einsichten. In diesem Band werden die Ergebnisse von 136 Studien der Biodiversitäts-Exploratorien allgemeinverständlich präsentiert. Er vermittelt die Faszination, den Rückgang und den Wert der biologischen Vielfalt an vielen konkreten Beispielen.

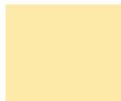
Ich danke allen Landbesitzer\*innen, Behörden und der DFG, die diese Forschung ermöglichen, sehr herzlich für ihre Unterstützung und allen am Projekt Beteiligten sehr für ihren großen Einsatz und wünsche Ihnen eine spannende Lektüre.



Markus Fischer,  
Sprecher der Biodiversitäts-Exploratorien

# Index

 **Infrastruktur  
& Datenmanagement**  
Seite 006 - 019

 **Boden-  
& Stoffkreisläufe**  
Seite 020 - 047

 **Pflanzen**  
Seite 048 - 079

 **Tiere**  
Seite 080 - 145

 **Mikroorganismen  
& Pilze**  
Seite 146 - 207

 **Wald  
& Totholz**  
Seite 208 - 255

 **Theorie  
& Modellierung**  
Seite 256 - 279

 **Synthese**  
Seite 280 - 289

 **Biodiversität  
& Gesellschaft**  
Seite 290 - 299

 **Anhang**  
Seite 300 - 335

# Infrastruktur & Datenmanagement

## Artikel

Kombination von Bild- und Beschriftungs-  
analyse zur Klassifizierung von Diagrammen  
in Biodiversitäts-Texten [S.008](#)

BEXIS2: Ein FAIR-konformes Datenmanage-  
mentsystem für Biodiversität, Ökologie und  
Umweltdaten [S.010](#)

*TubeDB*: Ein interaktives Datenbanksystem  
für Zeitreihen von Klimastationsmessungen [S.012](#)

*RSDB*: Internet-Browser basierte Nutzung von  
Informationssammlungen aus der Fernerkun-  
dung für die Erforschung der Biodiversität [S.014](#)

Partizipatives Visualisierungsdesign als An-  
satz zur Minimierung der Kluft zwischen  
Forschung und Anwendung [S.016](#)

*Tag Me If You Can!* Semantische Annotation  
von Biodiversitätsmetadaten mit dem QEMP-  
Korpus und dem *BiodivTagger* [S.018](#)

## Kombination von Bild- und Beschriftungsanalyse zur Klassifizierung von Diagrammen in Biodiversitäts-Texten

Die Einteilung von Diagrammen in unterschiedliche Typen basierend auf der Analyse von deren Beschriftungen ist ein neu aufkommendes Forschungsthema im Bereich der Informatik. Dabei dienen eindeutige Schlüsselwörter in den Beschriftungen, die sich auf das Visualisierungsvokabular beziehen (z.B. für Scatterplot: Punkt, y-Achse, x-Achse, Bubble), sowie Schlüsselwörter aus dem spezifischen Fachbereich (wie „Artenreichtum“, „Artenhäufigkeit“, „phylogenetische Assoziationen“ im Fall der Biodiversitätsforschung) als Parameter für das Training eines Klassifikators für Texte.

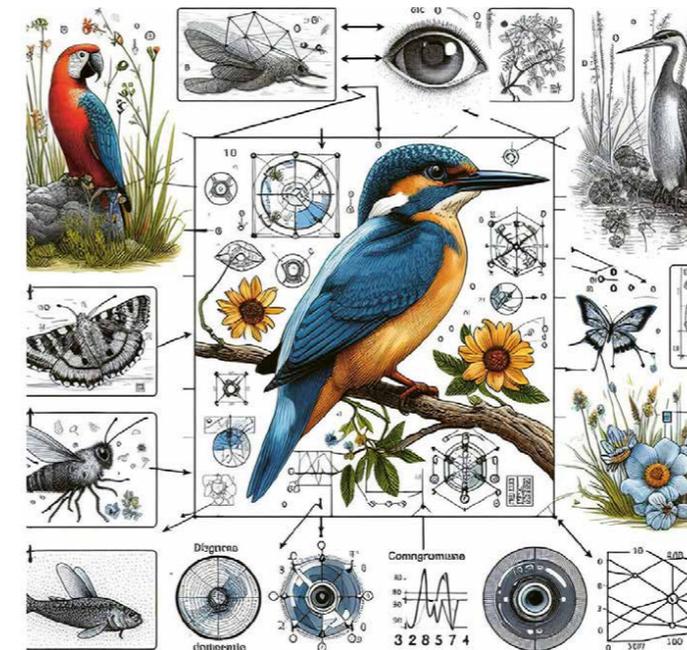
Um eine bessere Verständlichkeit des Diagramms zu erreichen, sollte ein Klassifikator neben den visuellen Merkmalen des Diagramms auch diese Parameter gut verstehen. Solche konzeptionellen/semantischen Diagrammklassifikatoren sind dann nicht nur für die Klassifizierung von Diagrammen, sondern auch für andere Visualisierungsstudien nützlich. Eine der Anwendungen solcher Klassifikatoren ist das Empfehlungssystem für die Visualisierung von Wissensbasen. Dort können diese Textklassifikatoren auf der Grundlage der Klassifizierung des mit dem Datensatz gelieferten Textes Empfehlungen für Visualisierungstypen oder -schemata aussprechen.

Motiviert durch diesen Anwendungsfall haben wir in diesem Papier unsere Idee von semantischen Diagrammklassifikatoren untersucht. Wir haben modernste Algorithmen der natürlichen Sprachverarbeitung (NLP) und der Bildverarbeitung genutzt, um einen Klassifikator für Visualisierungen auf Basis der biologischen Vielfalt zu entwickeln.

Mit einer durchschnittlichen Testgenauigkeit (F1-Score) von 92,2% über alle 15 Klassen hinweg können wir nachweisen, dass unsere

## Infrastruktur & Datenmanagement

Klassifikatoren konzeptionelle und visuelle Unterscheidungen zwischen verschiedenen Diagrammtypen treffen können.



### Autor\*innen

Kaur P., Kiesel D., (Abstract bearbeitet von **Ostrowski A. und König-Ries B.**)

### Erschienen als

Combining Image and Caption Analysis for Classifying Charts in Biodiversity Texts. Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications 3: 157-168 (2020)

doi: 10.5220/0008946701570168

### Abbildung

Erstellt mit Bing, Ostrowski A. Sinnbildliche Illustration des Themas der Arbeit. Es wurde mittels des Titels der Arbeit und der KI „Bing Image Creator“ erstellt.

## BEXIS2: Ein FAIR-konformes Datenmanagementsystem für Biodiversität, Ökologie und Umweltdaten

Die Beschaffung nutzbarer Daten aus dem Bereich der Ökologie und der Umwelt ist oft herausfordernd. Die Daten sind häufig auf mehrere Datensätze aufgeteilt, in unterschiedlichen Quellen und verschiedenen Formaten abgelegt. Zudem sind sie nicht immer optimal gespeichert und beschrieben.

Mit der allgemeinen Akzeptanz der FAIR-Prinzipien für Daten haben sich die Anforderungen und Standards für Datenveröffentlichungen in letzter Zeit erheblich verändert. Die FAIR-Prinzipien formulieren Grundsätze, die nachhaltig nutzbare Forschungsdaten erfüllen müssen. Demzufolge sollen wissenschaftliche Daten auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar sein (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable = FAIR). Der Begriff Daten umfasst hier ein weites Feld an Informationen und bezieht sich beispielsweise auf Rohdaten, Metadaten, verarbeitete und tabellarische Daten, Bilddateien, Videos, Audiodateien, Computer-Codes und zugehöriges Material. Weiterhin sollen die Daten nach Abschluss der Forschungsarbeiten gemäß diesen Grundsätzen allgemein zur Verfügung gestellt werden.

Wir haben BEXIS2, eine webbasierte Software zur Verwaltung von Forschungsdaten, entwickelt. Das System wurde in gemeinsamer Arbeit mit den Forschenden verschiedener Projekte entworfen und erfüllt die Anforderungen für eine Nutzung mittlerer bis großer Forschungsprojekte mit mehreren Teilprojekten mit bis zu mehreren hundert Forschenden. Die Software steht als Open-Source frei zur Verfügung. BEXIS2 bietet eine Reihe von Funktionen, um den gesamten Lebenszyklus von Daten zu unterstützen. Es ist ein modulares und damit erweiterbares und anpassbares System, das die Entwicklung neuer Funktionen und die Anpassung seiner verschiedenen Komponenten ermöglicht. Obwohl die FAIR-Prinzipien erst

nach dem Entwicklungsbeginn von BEXIS2 veröffentlicht wurden, waren schon einige der dort definierten Leitlinien in der Software umgesetzt. Seitdem werden diese Grundsätze bei der Weiterentwicklung von BEXIS2 berücksichtigt.

Um zu untersuchen, inwieweit BEXIS2 den FAIR-Prinzipien entspricht, haben wir eine Selbstbewertung anhand der FAIR-Indikatoren, Definitionen und Kriterien des sogenannten FAIR-Datenreifegradmodells durchgeführt. Ursprünglich wurde das FAIR-Modell entwickelt, um die Übereinstimmung von Datensätzen mit diesen Prinzipien zu beurteilen. Die Ergebnisse der Selbstbewertung zeigen, dass BEXIS2 die FAIR-Indikatoren in bemerkenswerter Weise erfüllt und unterstützt. Es werden aber auch Aspekte aufgezeigt, bei denen in Zukunft eine verstärkte Weiterentwicklung angestrebt werden kann.

In dieser Veröffentlichung werden weiterhin Beispiele für den Einsatz der BEXIS2-Software bei verschiedenen Forschungsprojekten dargestellt. Unter Berücksichtigung der FAIR-Prinzipien wird gezeigt, dass BEXIS2 die Anforderungen an die Verwaltung von Biodiversitäts- und ökologischen Daten erfüllt und als gemeinsames Forschungsdatenmanagementsystem dienen kann.



## Infrastruktur & Datenmanagement

### Autor\*innen

Chamanara J., Gaikwad J., Gerlach R., Algargawy A., **Ostrowski A., König-Ries B.**

### Erschienen als

BEXIS2: A FAIR-aligned data management system for biodiversity, ecology and environmental data.

Biodiversity Data Journal (2021)

doi: 10.3897/BDJ.9.e72901

### Abbildung

BEXIS2 Projekt

Logo des Datenmanagementsystems, das an der Friedrich-Schiller-Universität Jena entwickelt wird.

## TubeDB: Ein interaktives Datenbanksystem für Zeitreihen von Klimastationsmessungen

Geograph\*innen, Ökolog\*innen und andere Umweltwissenschaftler\*innen benötigen häufig für die Forschung präzise Informationen über das örtliche Klima und dessen Änderung über die Zeit. Klimabzw. Wetterinformationen sind z.B. Temperatur und Feuchtigkeit in der Luft und im Boden, Niederschlag und Sonneneinstrahlung. Die Verwaltung und Verarbeitung dieser Messwerte kann umfangreiche Computerkenntnisse und genaues Wissen über die Messgeräte erfordern. In diesem Artikel stellen wir *TubeDB* vor, ein einfach zu bedienendes und effizientes Softwaresystem zur Archivierung, Qualitätskontrolle, Abfrage und Weiterverarbeitung von Klimamessungen in Form von Zeitreihendaten.

Die Messungen, so wie sie von den Klimastationen aufgezeichnet werden, dienen als Basis. Diese Daten werden in die *TubeDB* geladen und dann entsprechend den individuellen Anforderungen zusammengestellt. Meistens sind dies nicht die unmittelbar gemessenen Werte, sondern aufbereitete Informationen. Die Aufbereitung der Messzeitreihen umfasst die zeitliche Zusammenfassung, z. B. die Berechnung des Durchschnitts der Lufttemperatur für jeden Monat. Außerdem werden mit automatischen Qualitätsprüfungen Messfehler erkannt und aus den aufbereiteten Informationen entfernt. Gerade bei einer großen Menge an Messstationen kann es gelegentlich zu einem vorübergehenden Ausfall einer Messstation kommen. Oft brauchen Forschende aber lückenfreie Klimainformationen. Dazu gibt es in *TubeDB* mathematische Verfahren, durch die Lücken mit realistischen Abschätzungen von benachbarten Stationen gefüllt werden.

Für eine einfache Verwendung von überall ist *TubeDB* über einen Internet-Browser bedienbar. Forschende können im Browser Diagramme der Klimamessungen darstellen, die individuelle

## Infrastruktur & Datenmanagement

Aufbereitung der Informationen einstellen und die fertigen Informationen als Datei herunterladen.

Zusammenfassend ermöglicht *TubeDB* Nicht-Computerwissenschaftler\*innen einen einfachen Zugang zu detaillierteren Klimainformationen, die für viele Forschungsaktivitäten wichtig sind.



### Autor\*innen

**Wöllauer S.**, Zeuss D., Hänsel F., Nauss T.

### Erschienen als

TubeDB: An on-demand processing database system for climate station data. *Computers & Geosciences* 146: 104641 (2021)

doi: 10.1016/j.cageo.2020.104641

### Foto

Schmidt E.

Klimastation (Schorfheide-Chorin), die Messwerte u. a. zum Niederschlag, zur Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur aufzeichnet.

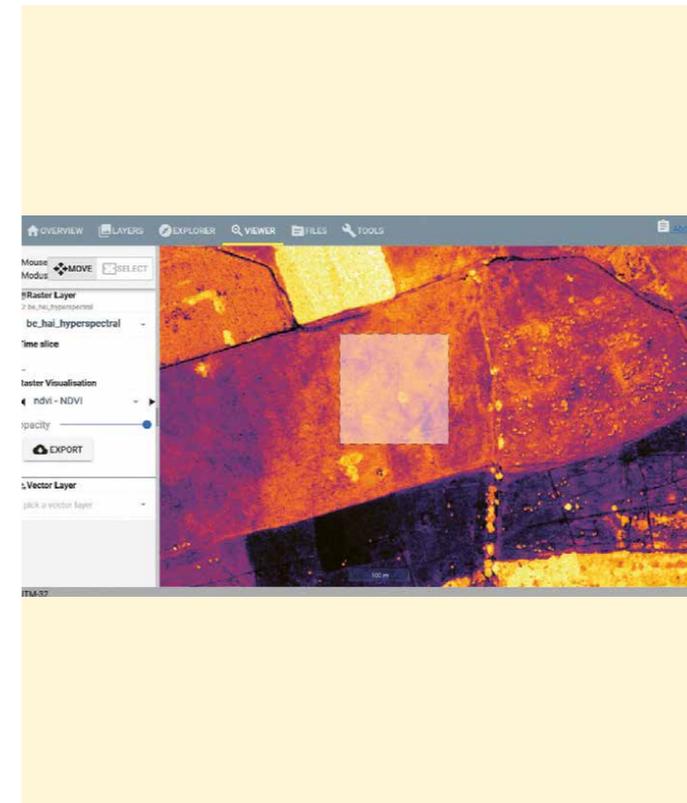
## RSDB: Internet-Browser basierte Nutzung von Informationssammlungen aus der Fernerkundung für die Erforschung der Biodiversität

Die Erfassung der Biodiversität ist eine wichtige Aufgabe der Umweltforschung. Dafür ist es notwendig, über große Gebiete und lange Zeiträume Daten zu beobachten. Eine effiziente Variante ist die Fernerkundung. Sie ermöglicht das Sammeln von Informationen von der Erdoberfläche, ohne direkt vor Ort sein zu müssen. Dafür werden Kameras und Laser an Satelliten, Flugzeugen und Drohnen verwendet, die die Landoberfläche abtasten. Daraus entstehen Kamerabilder der Erdoberfläche und Laser-Punktwolken der Oberflächenstruktur. Wesentliche Vorteile dieser Verfahren sind der geringere Aufwand und reduzierte Kosten im Vergleich zu arbeitsintensiven Begehungen der Untersuchungsgebiete. Große Gebiete können so über lange Zeiträume überwacht werden.

Die gesammelten Informationen sind durch die Vielzahl an unterschiedlichen Fernerkundungssystemen nicht einfach zugänglich. Umfangreiche Kenntnisse über die spezifischen Eigenschaften der Erfassungsgeräte und über die Weiterverarbeitung der Informationen sind notwendig. Unsere entwickelte Fernerkundungsdatenbank (RSDB) dient als einheitliches Speicher-, Verwaltungs- und Verarbeitungssystem für verschiedene Arten von Fernerkundungsinformationen. Da von den Fernerkundungsinformationen mit Hilfe von Indikatoren Rückschlüsse auf die Artenvielfalt gezogen werden können, enthält RSDB Funktionen zum Berechnen von aktuell mehr als 200 Indikatoren. Solche Indikatoren werden in einer Vielzahl von ökologischen Studien angewendet. Beispiele für Indikatoren sind die Blattfläche, die Verteilung der Biomasse und die Blatthöhe. Aus solchen Indikatoren lassen sich Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit von Ressourcen oder auf die Vielfalt von und in Lebensräumen ziehen.

Forschende können mit einem Internet-Browser die RSDB bedienen. Große Informationssammlungen können durchsucht und erkundet

werden. Textuelle Zusatzinformationen und bildliche Darstellungen von Zwischenergebnissen ermöglichen die zielgerichtete Erstellung von Biodiversitäts-Indikatoren, die in Studien eingesetzt werden. In ökologischen Studien kann damit RSDB eine sinnvolle Ergänzung zur Erfassung der Artenvielfalt sowie deren Entwicklung darstellen.



## Infrastruktur & Datenmanagement

### Autor\*innen

**Wöllauer S.**, Zeuss D., Magdon P., Nauss T.

### Erschienen als

RSDB: An easy to deploy open-source web platform for remote sensing raster and point cloud data processing.  
Ecography 44: 414–426 (2021)

doi: 10.1111/ecog.05266

### Abbildung

Wöllauer S.

RSDB Benutzeroberfläche mit der Kartendarstellung der Vegetationsstärke als Indikator für Biodiversität – errechnet mithilfe eines Hyperspektraldatensatzes. Die Farbskalierung geht dabei über dunkelviolett (wenig) bis hin zu gelb (viel Vegetation).

## Partizipatives Visualisierungsdesign als Ansatz zur Minimierung der Kluft zwischen Forschung und Anwendung

Die Wichtigkeit von anspruchsvollen Visualisierungen und deren Erforschung durch gezielte Projekte ist in der Wissenschaft anerkannt. Dennoch werden die Visualisierungen von der Zielgruppe häufig nicht angenommen, d.h. nicht zur besseren Verdeutlichung der Daten eingesetzt. Auch wenn die Gründe dafür vielfältig sein mögen, argumentieren wir, dass sie mit den typischen Fallstricken der Softwareentwicklung übereinstimmen. Einerseits werden die potentiell Nutzenden oft nicht oder nur am Rande in den Designprozess der Visualisierung eingebunden. Andererseits stimmen die Ziele, die wir als Visualisierungswissenschaftler\*innen verfolgen, oft nicht mit den Zielen dieser potentiell Nutzenden überein und sie werden auf reine Datenlieferant\*innen reduziert.

Wir stellen Fallstudien vor, die sowohl über abgeschlossene als auch laufende Projekte berichten und einem beteiligenden Designansatz folgen. Diese Projekte wurden durch die Bedürfnisse von Nutzenden in den digitalen Geisteswissenschaften, der Biodiversitätsforschung, der Sportanalyse und der Datenwissenschaft initiiert.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass partizipatives Visualisierungsdesign zu gegenseitigem Nutzen führt und dazu beiträgt, die Kluft zwischen Forschung und Anwendung in den jeweiligen Fachbereichen zu verringern.

## Infrastruktur & Datenmanagement

### Autor\*innen

Jänicke, S., Kaur P., Kuzmicki P., Schmidt J.,  
(Abstract bearbeitet von **König-Ries B.,  
Ostrowski A.**)

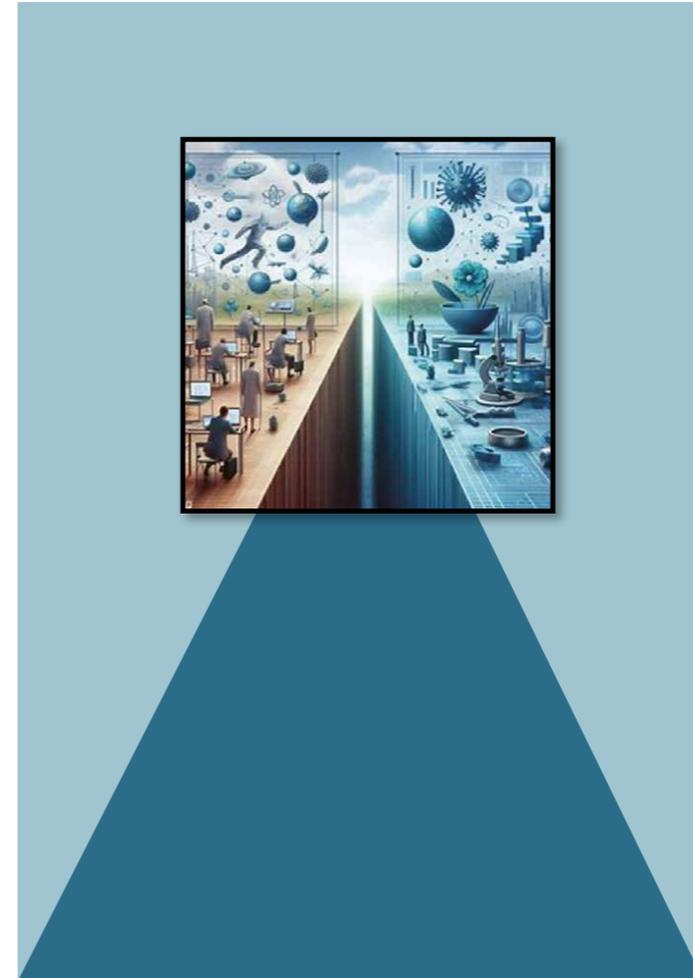
### Erschienen als

Participatory Visualization Design as an  
Approach to Minimize the Gap between Re-  
search and Application.  
Eurovis workshop VISGAP (2020)

doi: 10.2312/visgap.20201108

### Abbildung

*Mit Bing erstellt*, König-Ries B.  
Sinnbildliche Illustration des Themas der  
Arbeit. Es wurde mittels des Titels der Arbeit  
und der KI „Bing Image Creator“ erstellt.



## Tag Me If You Can! Semantische Annotation von Biodiversitätsmetadaten mit dem QEMP-Korpus und dem BiodivTagger

*Dataset Retrieval*, also die Auffindbarkeit von Daten, gewinnt aufgrund der großen Menge an Forschungsdaten und der großen Nachfrage nach der Wiederverwendung wissenschaftlicher Daten zunehmend an Bedeutung. *Dataset Retrieval* basiert meist auf Metadaten, d.h. den zusätzlich strukturiert vorliegenden Informationen über die eigentlichen Primärdaten. Die Anreicherung dieser Metadaten mit semantischen Annotationen auf der Grundlage von Linked Open Data (LOD) ermöglicht die Verknüpfung von Datensätzen, Publikationen und Autor\*innen und erweitert die Suche nach semantisch verwandten Begriffen.

In dieser Arbeit stellen wir den *BiodivTagger* vor, eine ontologiebasierte *Pipeline* zur Extraktion von Informationen, der für Metadaten aus der Biodiversitätsforschung entwickelt wurde. Das System erkennt biologische, physikalische und chemische Prozesse, Umweltbegriffe, Datenparameter und Phänotypen (Erscheinungsbild eines Organismus) sowie Materialien und chemische Verbindungen und verknüpft sie mit Konzepten in speziellen Ontologien.

Um unsere *Pipeline* zu evaluieren, haben wir einen Goldstandard von 50 Metadaten-Dateien (QEMP-Korpus) aus fünf verschiedenen Datenbeständen der Biodiversitätsforschung erstellt. Soweit wir wissen, ist dies der erste annotierte Metadatenkorpus für Forschungsdaten zur biologischen Vielfalt. Die Ergebnisse zeigen ein gemischtes Bild. Während Materialien und Datenparameter in den meisten Fällen ordnungsgemäß Konzepten (Einträgen) in bestehenden Ontologien zugeordnet wurden, traten bei Prozessen und Umweltbegriffen einige Probleme bei der Verknüpfung mit Einträgen in Ontologien auf.

## Infrastruktur & Datenmanagement

### Autor\*innen

Löffler F., Abdelmageed N., Babalou S., Kaur P., König-Ries B., (Abstract bearbeitet von Ostrowski A.)

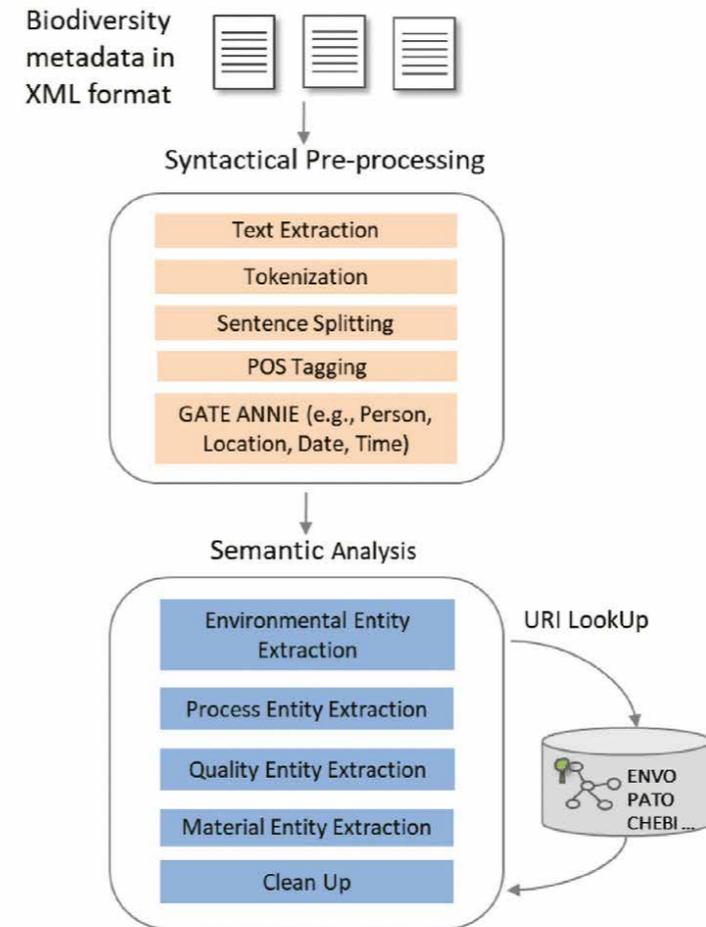
### Erschienen als

Tag Me If You Can! Semantic Annotation of Biodiversity Metadata with the QEMP Corpus and the BiodivTagger. Proceedings of the Twelfth Language Resources and Evaluation Conference: 4557–4564 (2020)

### Abbildung

Löffler F.

Schematische Darstellung eines Teils der verwendeten Reihenfolge von Verarbeitungsschritten, um automatisch Informationen aus beschreibenden Daten (Metadaten) zu gewinnen. Diese Informationen können weiterverwendet werden, um beispielsweise die Suche nach Daten zu verbessern.



# Boden- & Stoffkreisläufe

<u>Artikel</u>		
Bedeutung von Nährstoffgehalten für die Mineralisierung der organischen Substanz in Laub- und Nadelwäldern	<a href="#">S.022</a>	Ober- und unterirdische Artenvielfalt verbessern gemeinsam den P-Kreislauf im landwirtschaftlichen Grünland <a href="#">S.032</a>
Trockenheit erhöht das Risiko der Nitratauswaschung bei der Düngung von Grünland	<a href="#">S.024</a>	Beitrag der biologischen Bodenkrusten zur Zusammensetzung und Stabilität der organischen Substanz in Wäldern der gemäßigten Zonen <a href="#">S.034</a>
Einflussfaktoren auf die Bodenatmung bei Trockenheit entlang eines Gradienten der Bewirtschaftungsintensität in gemäßigten Grünlandökosystemen	<a href="#">S.026</a>	Auswirkungen der Landnutzungsintensität und der biologischen Vielfalt auf die Infiltrationskapazität und die hydraulische Leitfähigkeit von Grünlandböden in Süddeutschland <a href="#">S.036</a>
CO <sub>2</sub> -Aufnahme durch Mikroorganismen in Böden unter Buchen- und Kiefernwäldern der gemäßigten Breiten	<a href="#">S.028</a>	Biologische Bodenkrusten: Eine Wohngemeinschaft im Buchenwald für Phosphor und Stickstoff umsetzende Bakterien <a href="#">S.038</a>
Einfluss von Bewirtschaftungsintensität auf das Risiko der Nährstoffauswaschung im Grünland	<a href="#">S.030</a>	

Biokrusten: Bisher unbeachtete Hotspots auf bewirtschafteten Böden gemäßiger Regionen [S.040](#)

Was hält uns zusammen? Eine Analyse zur Zusammensetzung und Funktion ökologischer Bodenkrusten in gemäßigten Wäldern [S.042](#)

Einfluss von Bewirtschaftungsintensität und Umweltbedingungen auf die Mikrobiota in biologischen Bodenkrusten und krustenfreien Bodenhabitaten gemäßiger Wälder [S.044](#)

Mineralzusammensetzung und Grünlandbewirtschaftung beeinflussen die molekulare Zusammensetzung und damit die Stabilität der organischen Substanz im Boden [S.046](#)

## Bedeutung von Nährstoffgehalten für die Mineralisierung der organischen Substanz in Laub- und Nadelwäldern

Mikroorganismen bauen die organische Substanz (OS) im Boden ab und nutzen den darin enthaltenen Kohlenstoff und die Nährstoffe (Stickstoff N, Phosphor P, und Schwefel S) für ihr Wachstum. Der Anteil von organischem Kohlenstoff (OC) in der OS ist normalerweise höher als der Anteil, den Mikroorganismen für ihr Wachstum im Verhältnis zu Nährstoffen benötigen. Daher müssen Mikroorganismen Strategien entwickeln, um mit diesem Ungleichgewicht der Ressourcen umzugehen. Eine Möglichkeit besteht darin, die OC-reichen Makromoleküle der OS nur abzubauen, um Zugang zu den Nährstoffen zu bekommen, ohne sie dann weiter zu nutzen. Dadurch steigt die Menge an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) in der Bodenlösung. Da die Mikroorganismen so mehr OS abbauen müssen, als sie nutzen können, brauchen sie mehr Energie, um entsprechende Enzyme zu produzieren. Dies verringert ihre Kohlenstoffnutzungseffizienz und führt zu einer höheren CO<sub>2</sub>-Freisetzung pro mikrobieller Biomasse.

Wir erwarten daher, dass in Böden mit geringem Nährstoffgehalt der OS mehr DOC und CO<sub>2</sub> im Verhältnis zu mineralisierten Nährstoffen gebildet werden als in nährstoffreichen Böden. Neben regionalen Unterschieden im Nährstoffgehalt beeinflussen auch forstwirtschaftliche Praktiken, beispielsweise die Auswahl der Baumarten, das Verhältnis zwischen OC und Nährstoffen in der OS. Daher wird ein Einfluss der Baumartenzusammensetzung auf die Freisetzung von CO<sub>2</sub>, DOC und mineralisierten Nährstoffen erwartet.

Um dies zu prüfen, untersuchten wir die Mineralisierungsraten von C, N, P und S in Oberböden von unterschiedlich bewirtschafteten Waldflächen in Deutschland. Unter kontrollierten Laborbedingungen bestimmten wir über einen Zeitraum von zwei Wochen die CO<sub>2</sub>-Freisetzung und die Auswaschung von gelöstem organischen

## Boden- & Stoffkreisläufe

Kohlenstoff (DOC), Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) und Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

Die Ergebnisse zeigten, dass, entsprechend unserer Erwartung, die CO<sub>2</sub>-Freisetzung pro mikrobieller Biomasse und die Auswaschung von DOC mit sinkendem N-Anteil in der OS zunahm, insbesondere in der nährstoffärmsten Region Schorfheide-Chorin. Die Baumartenzusammensetzung wirkte sich dabei stärker auf die DOC- als auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus und war höher unter Nadel- als unter Laubwäldern. Entgegen unserer Erwartung war die Nährstoffmobilisierung in der nährstoffärmsten Region Schorfheide-Chorin in Bezug auf die mikrobielle Biomasse am höchsten. Während nur hier die P-Auswaschung unter Nadelwäldern höher war als unter Laubwäldern, war in den anderen beiden Regionen die Auswaschung von N und S unter Laubwäldern gegenüber Nadelwäldern erhöht. Dies lässt sich nicht alleine über Unterschiede in der Nährstoffzusammensetzung der OS erklären und zeigt, dass insbesondere bei der Nährstoffauswaschung auch noch andere biotische und abiotische Faktoren eine Rolle spielen.



### Autor\*innen

Gan H. Y., Schöning I., Schall P., Ammer C., **Schrumpf M.**

### Erschienen als

Soil organic matter mineralization as driven by nutrient stoichiometry in soils under differently managed forest stands. *Frontiers in Forests and Global Change* 3: 99 (2020)

doi: 10.3389/ffgc.2020.00099

### Foto

Schöning I.  
Bodenprobenahme entlang von zwei Transekten auf einem typischen Laubwaldplot.

## Trockenheit erhöht das Risiko der Nitratauswaschung bei der Düngung von Grünland

Der Klimawandel und die Intensivierung der Landwirtschaft beeinflussen unser Grünland und die von ihm erbrachten Ökosystemleistungen. Ein Risiko entsteht, wenn diese beiden Faktoren zusammenwirken, wie etwa bei der Ausbringung von flüssigen Hofdüngern (Gülle) während einer Trockenheitsphase. Es kann verlockend erscheinen, die durch die Bodentrockenheit verminderte Nährstoffverfügbarkeit durch eine Güllegabe auszugleichen, um Ertragseinbußen zu minimieren. Da aber trockene Böden Nährstoffe nicht gut zurückhalten, kann diese Praxis zu einer starken Nitratauswaschung führen. Es sind bereits Fälle bekannt, wo eine Düngung von trockenheitsbedingt rissigen Böden zu einer Verunreinigung des Grundwassers geführt hat.

Diese Studie untersuchte die Gefahr der Nitratauswaschung durch Düngung und darauffolgende Wiedervernässung von trockenen Grünlandböden. Hierzu haben wir an 15 Grünlandstandorten auf der Schwäbischen Alb jeweils vier Grassoden ausgestochen und die insgesamt 60 Soden in ein Gewächshaus gebracht. Die jeweils vier Grassoden pro Standort wurden dann wie folgt behandelt: (1) Trockenheit (Aussetzen der Wassergaben), (2) Düngung mit Gülle, (3) Düngung und Trockenheit zusammen, sowie (4) Kontrolle (keine Düngung und normale Wassergabe). Die (starke) Trockenheit wurde dadurch hervorgerufen, dass die Bewässerung etwa sieben Wochen lang fast vollständig eingestellt wurde. Die Düngung erfolgte durch drei Güllegaben mit insgesamt 168 kg Gesamtstickstoff pro Hektar, wobei die zweite und insbesondere die dritte Düngergabe in die Zeit der Trockenheit fielen. Das Risiko der Nährstoffauswaschung wurde mit Ionenaustauschern unter den Grassoden gemessen.

Die Kombination von Düngung und Trockenheit führte zu einem drastischen Anstieg des Auswaschungsrisikos für Nitrat und teil-

## Boden- & Stoffkreisläufe

weise auch für Ammonium. Der Anstieg des Auswaschungsrisikos belief sich auf mehr als das Dreifache im Vergleich zur Kontrolle. Weder Trockenheit noch Düngung allein zeigten hingegen ein erhöhtes Auswaschungsrisiko.

Unsere Studie unterstreicht, dass die Düngung von Grünland während starker Trockenheit ein schwerwiegendes Umweltproblem darstellen kann.



### Autor\*innen

**Klaus V. H.**, Friedritz L., Hamer U., **Kleinbecker T.**

### Erschienen als

Drought boosts risk of nitrate leaching from grassland fertilization.  
Science of the Total Environment Global Change Biology 726: 137877 (2020)

doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137877

### Foto

Klaus V. H.  
Der Aufbau des Experiments im Gewächshaus der Universität Münster.

## Einflussfaktoren auf die Bodenatmung bei Trockenheit entlang eines Gradienten der Bewirtschaftungsintensität in gemäßigten Grünlandökosystemen

Bodenatmung ist ein wichtiger Prozess für die Freisetzung von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Es gibt nur wenige Untersuchungen dazu, wie sich die Grünlandbewirtschaftungsintensität auf die Bodenatmung auswirkt. Mithilfe von Messkammern, in denen das bei der Bodenatmung freiwerdende CO<sub>2</sub> an Natronkalk gebunden wird, haben wir im Frühsommer 2018 und 2019 auf 150 Grünlandflächen in den drei Biodiversitäts-Exploratorien die Bodenatmung durch Langzeitmessungen (über 3 Tage) untersucht. Die Bewirtschaftung der Grünlandflächen reichte von ungedüngtem und beweidetem Grünland bis hin zu intensiv gedüngtem und häufig gemähtem Grünland.

Um die Auswirkungen der Beweidungs- und Düngungsintensität sowie der Pflanzendiversität auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden zu bestimmen, verwendeten wir Strukturgleichungsmodelle. Dadurch konnten wir direkte und indirekte Effekte untersuchen, die sich durch die Menge und Zusammensetzung der organischen Substanz von Pflanzen und im Boden ergeben.

Die Ergebnisse zeigten, dass die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden durch die in den beiden Untersuchungsjahren aufgetretene Sommertrockenheit und die damit verbundene begrenzte Wasserverfügbarkeit im Boden deutlich verringert wurde. Unter diesen Bedingungen fanden wir keinen Zusammenhang zwischen der Beweidungsintensität, der Pflanzenbiomasse oder dem C:N-Verhältnis der Pflanzen mit der CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden. Im Gegensatz dazu führte eine höhere Düngungsintensität zu einer größeren CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden. Dies lag an dem mit der Düngung einhergehenden geringerem Pflanzenartenreichtum und dem damit verbundenen niedrigeren C:N-Verhältnis im Boden. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass intensiv bewirtschaftetes Grünland auch bei extremer Trockenheit im Vergleich zu extensiv

## Boden- & Stoffkreisläufe

bewirtschaftetem, pflanzenartenreichem Grünland durch eine höhere Bodenatmung gekennzeichnet ist.



### Autor\*innen

Apostolakis A., Schöning I., Michalzik B., Klaus V. H., Boeddinghaus R. S., Kandeler E., Marhan S., Bolliger R., Fischer M., Prati D., Hönsel F., Nauss T., Hölzel N., Kleinebecker T., **Schrumpf M.**

### Erschienen als

Drivers of soil respiration across a management intensity gradient in temperate grasslands under drought.  
Nutrient Cycling in Agroecosystems 124: 101-116 (2022)

doi: 10.1007/s10705-022-10224-2

### Foto

Apostolakis A.  
Versuchsaufbau (Messkammer) im Grünland.

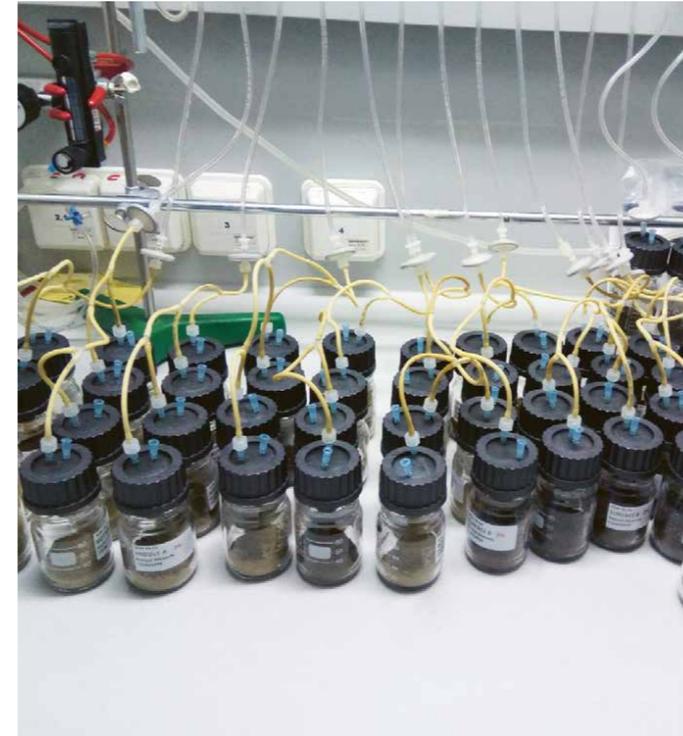
## CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Mikroorganismen in Böden unter Buchen- und Kiefernwäldern der gemäßigten Breiten

Neben Pflanzen können auch bodenlebende Mikroorganismen CO<sub>2</sub> aufnehmen und in Biomasse umwandeln. Dieser Prozess wird als „dunkle CO<sub>2</sub>-Fixierung“ bezeichnet, da er im Gegensatz zur Photosynthese der Pflanzen ohne Licht auskommt. Damit können auch Mikroorganismen einen Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre und zur Kohlenstoffspeicherung im Boden leisten. Über die Faktoren, die diesen Prozess im Boden beeinflussen, ist aber noch wenig bekannt. Wir wollten prüfen, wie sich unterschiedliche Baumarten, insbesondere Buche und Kiefer, auf die CO<sub>2</sub>-Fixierung in Bodenproben aus unterschiedlichen Tiefen auswirken.

Dazu inkubierten wir Bodenproben in einer CO<sub>2</sub>-Atmosphäre, die mit dem stabilen Isotop <sup>13</sup>C angereichert war, um dieses <sup>13</sup>C anschließend aus dem CO<sub>2</sub> in die mikrobielle Biomasse (MB) und in den Bodenkohlenstoff hinein verfolgen zu können. Die Raten der dunklen CO<sub>2</sub>-Fixierung pro Gramm MB änderten sich in den Buchenbodenprofilen kaum mit der Tiefe, während sie in den Kiefernböden mit zunehmender Bodentiefe abnahmen. Dies lag vermutlich daran, dass sich die mikrobielle Gemeinschaft im Unterboden der Kiefern von denen der Buchen unterschied. So gab es im Unterboden der Kiefern mehr Bakterien des Stamms Chloroflexi, die nur ein geringes Potenzial für die heterotrophe CO<sub>2</sub>-Fixierung besitzen, während unter Buchen mehr Proteobakterien, Acidobakterien und Actinobakterien nachgewiesen wurden, die ein hohes Potenzial zur heterotrophen CO<sub>2</sub>-Fixierung haben.

Unsere Studie zeigt, dass bei der Vorhersage der CO<sub>2</sub>-Fixierungsraten in Waldböden neben standortspezifischen Bedingungen auch Baumarten berücksichtigt werden sollten.

## Boden- & Stoffkreisläufe



### Autor\*innen

Akinyede R., Taubert M., **Schrumpf M.**, Trumbore S., Küsel K.

### Erschienen als

Dark CO<sub>2</sub> fixation in temperate beech and pine forest soils.  
Soil Biology and Biochemistry 165: 108526 (2022)

doi: 10.1016/j.soilbio.2021.108526

### Foto

Akinyede R.  
Versuchsaufbau der inkubierten Bodenproben in einer mit dem stabilen Isotop <sup>13</sup>C angereicherten CO<sub>2</sub>-Atmosphäre.

## Einfluss von Bewirtschaftungsintensität auf das Risiko der Nährstoffauswaschung im Grünland

Die Intensität der Bewirtschaftung beeinflusst den Nährstoffkreislauf im Grünland sowohl direkt über Düngung und Ernte als auch indirekt über den Nährstoffgehalt und die Zusammensetzung der Pflanzen- und Mikrobengemeinschaften. Die relative Bedeutung dieser direkten und indirekten Prozesse für die Auswaschung von Nährstoffen ist jedoch nur unzureichend untersucht.

Wir haben die jährliche Auswaschung von Nitrat, Ammonium, Phosphat und Sulfat in einer Tiefe von 10cm in 150 bewirtschafteten Grünlandflächen der Biodiversitäts-Exploratorien mit Hilfe von Austauschharzen, die dem Sickerwasser diese Nährstoffe entziehen, gemessen. Bei der Datenauswertung nutzten wir Strukturgleichungsmodelle, um die Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität (insbesondere Beweidung und Düngung) auf die Nährstoffauswaschung zu untersuchen.

Wir fanden heraus, dass die Bewirtschaftungsintensität das Auswaschungsrisiko für Nitrat, Ammonium und Phosphat erhöht. Dies geschieht über höhere Nährstoffeinträge mit der Düngung, die auch das Verhältnis von Kohlenstoff zu Nährstoffen (Stöchiometrie) im Boden verändern. Das Risiko der Sulfatauswaschung war dagegen negativ mit der Bewirtschaftungsintensität assoziiert, was vermutlich auf den erhöhten Nährstoffentzug durch Mahd und Beweidung ohne entsprechende Einträge über die Düngung zurückzuführen ist. Darüber hinaus führte die Intensivierung der Bewirtschaftung zu einer Verschiebung der Pflanzengemeinschaften in Richtung einer funktionalen Zusammensetzung mit höherem Biomasseumsatz, was das Risiko der Auswaschung von anorganischem Stickstoff weiter erhöhte. In artenreichem Grünland war das Risiko der Auswaschung von anorganischem Stickstoff (Ammonium und Nitrat) geringer.

## Boden- & Stoffkreisläufe

### Autor\*innen

Apostolakis A., Schöning I., Klaus V.H., Michalzik B., Bischoff W.-A., Boeddinghaus R. S., Bolliger R., Fischer M., Hölzel N., Kandeler E., Kleinebecker T., Manning P., Marhan S., Neyret M., Oelmann Y., Prati D., van Kleunen M., Schwarz A., Schurig E., **Schrumpf M.**

### Erschienen als

Direct and plant community mediated effects of management intensity on annual nutrient leaching risk in temperate grasslands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 123: 83–104 (2022)

doi: 10.1007/s10705-022-10209-1

### Foto

Schöning I.  
Der Einbau der Austauscherharzboxen erfolgt von der Seite aus einem Bodenprofil, um die Prozesse oberhalb der Boxen und die Fließwege des Wassers nicht zu stören. Ein Sandbett sorgt für den nötigen Kontakt zwischen den Boxen und dem umgebenden Boden.

Unsere Ergebnisse verdeutlichen, dass die Auswaschung der Nährstoffe neben den direkten Einträgen über Düngung auch stark durch die Stöchiometrie und die funktionalen Merkmale der Pflanzengemeinschaften gesteuert wurden. Der Erhalt und die Wiederherstellung vielfältiger Pflanzengemeinschaften kann das erhöhte Auswaschungsrisiko, das sich aus der Bewirtschaftungsintensität von Grünland ergibt, verringern.



## Ober- und unterirdische Artenvielfalt verbessern gemeinsam den P-Kreislauf im landwirtschaftlichen Grünland

In einer Grünlandmischung mit vielen Pflanzenarten wachsen die Pflanzen besser und nutzen die Nährstoffe effizienter als in einer Mischung mit wenigen Arten. Die Belege für solche Effekte der Artenvielfalt stammen aus Experimenten, bei denen gezielt die Artenzahl der Pflanzen variiert wird, während alle anderen Umgebungsbedingungen möglichst konstant gehalten werden. Gerade diese Umgebungsbedingungen werden aber bei der landwirtschaftlichen Nutzung des Grünlandes in Mitteleuropa, wie beispielsweise durch die Düngung, die Mahd oder die Beweidung, verändert. Eine offene Frage war, ob mögliche positive Auswirkungen der Artenvielfalt auf den Phosphorkreislauf über den Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung hinaus Bestand haben.

Wir untersuchten die Phosphorvorräte in den Pflanzen, den Bodenmikroorganismen und im Boden eines Biodiversitätsexperiments sowie von landwirtschaftlich genutztem Grünland. Außerdem wurde die Artenzahl von Pflanzen und Pilzen bestimmt, die über eine Symbiose (als wurzelverlängernde Mykorrhiza) die Phosphorversorgung der Pflanzen verbessern.

Die Ergebnisse des Biodiversitätsexperiments zeigen, dass die diversen Pflanzengemeinschaften den Phosphor im Boden effizienter nutzen als weniger diverse Grünlandmischungen. In den untersuchten landwirtschaftlichen Grünlandflächen wurde die im Biodiversitätsexperiment beobachtete treibende Rolle der Pflanzenartenvielfalt durch Bewirtschaftungseffekte verändert. Dennoch konnten wir belegen, dass eine größere oberirdische (Pflanzen) und unterirdische (Mykorrhizapilze) Artenvielfalt dazu beiträgt, den Phosphorkreislauf im landwirtschaftlichen Grünland zu schließen, da eine geringere Bewirtschaftungsintensität und die damit verbundene größere Artenvielfalt die Nutzung des Phosphors im Boden begünstigen.

## Boden- & Stoffkreisläufe

Einerseits birgt die Förderung einer hohen ober- und unterirdischen Artenvielfalt ökologische Vorteile wie den Schutz der Artenvielfalt selbst. Andererseits könnten diese Erkenntnisse Anreize für die Landwirtschaft schaffen, die Artenvielfalt zu fördern. Denn Phosphor wird häufig als kostenintensiver Dünger ins Grünland eingebracht, dessen Einsatz sich durch die Förderung der ober- und unterirdischen Artenvielfalt reduzieren ließe.



### Autor\*innen

**Oelmann Y.**, Lange M., Leimer S., Roscher C., Aburto F., Alt F., Bange N., Berner D., Boch S., Boeddinghaus R. S., Buscot F., Dassen S., De Deyn G., Eisenhauer N., Gleixner G., Goldmann G., Hölzel N., Jochum M., Kandeler E., Klaus V. H., Kleinebecker T., Le Provost G., Manning P., Marhan S., Prati D., Schäfer D., Schöning I., Schrupf M., Schurig E., Wagg C., Wubet T., Wilcke W.

### Erschienen als

Above- and belowground biodiversity jointly tighten the P cycle in agricultural grasslands. *Nature Communications* 12: 4431 (2021)

doi: 10.1038/s41467-021-24714-4

### Fotos

Oben: Hailer J., unten: Das Jena Experiment  
Die Artenvielfalt von Pflanzen und Bodenmikroorganismen trägt sowohl im Experiment (unten) als auch in landwirtschaftlich genutztem Grünland (oben) zur effizienten Nutzung von Phosphor bei.

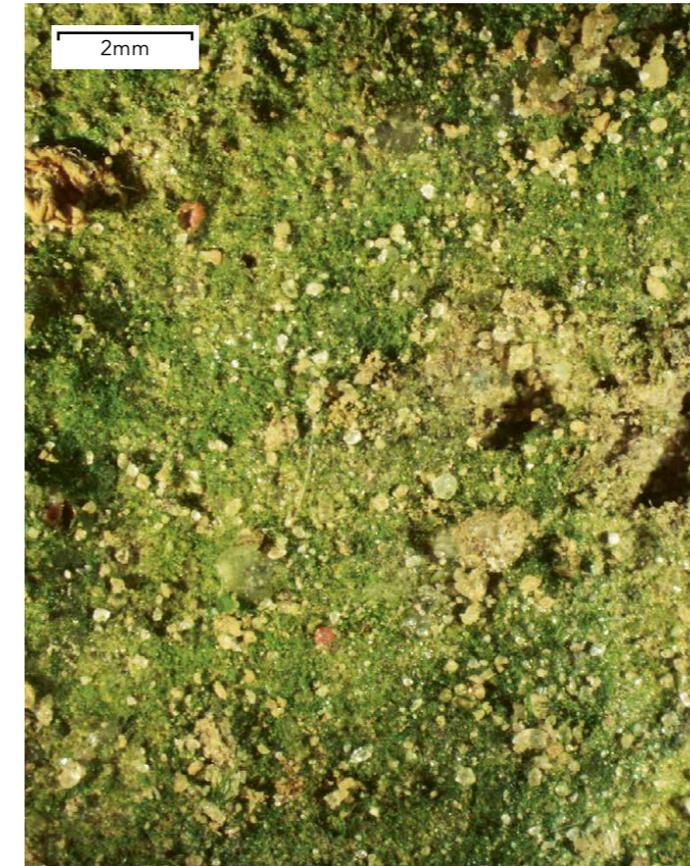
## Beitrag der biologischen Bodenkrusten zur Zusammensetzung und Stabilität der organischen Substanz in Wäldern der gemäßigten Zonen

Biologische Bodenkrusten sind eine komplexe Gemeinschaft aus photosynthetisch aktiven und heterotrophen Mikroorganismen, die in den obersten Millimetern des Bodens leben und diesen durch ihre Ausscheidungsprodukte verfestigen. Die Organismen tragen durch Kohlenstofffixierung, ihren Stoffwechselprodukten sowie durch Ab- und Umbau der im Boden vorliegenden organischen Substanz (OS) zur Ausprägung der OS in Wäldern bei. Jedoch ist über die Zusammensetzung und Stabilität der OS in den Kompartimenten biologischer Bodenkrusten, angrenzendem Boden und krustenfreiem Boden wenig bekannt.

Diese Studie untersuchte die OS in diesen Kompartimenten unter Kiefern und Buchen auf humosem Oberboden- (A-Horizont) und Ausgangssubstrat (C-Horizont). Die Algenarten der biologischen Bodenkrusten wurden anhand ihrer äußeren Gestalt bestimmt. Die Ergebnisse zeigten, dass die dominierende Baumart, das Boden-substrat und die Waldbewirtschaftung einen Einfluss auf die Zusammensetzung und Stabilität der OS haben. Die Zusammensetzung und Stabilität der OS wurde von biologischen Bodenkrusten beeinflusst, so dass die OS aus biologischen Bodenkrusten potenziell leichter mineralisierbar waren als in Boden ohne biologische Bodenkrusten. Ein hoher Anteil an freien Fettsäuren bei gleichzeitig hohem Kohlenhydratgehalt wurde als Marker für biologische Bodenkrusten identifiziert. Anders als im Ausgangssubstrat war im humosen Oberbodensubstrat unter Buchen die Stabilität der OS trotz einer hohen Anzahl an Algenarten nicht verringert. Im Boden des Ausgangssubstrats fanden sich mehr Abbauprodukte des schwer abbaubaren Lignins als im humosen Oberbodensubstrat. Unter Kiefern war die OS durch die Waldbewirtschaftung beeinflusst, wobei sich die unterschiedliche Licht- und Wasserverfügbarkeit der verschiedenen alten und dichten Bestände auf die Algen-

## Boden- & Stoffkreisläufe

arten der biologischen Bodenkrusten ausgewirkt haben könnte. Die Ergebnisse zeigen, dass biologische Bodenkrusten zur Diversität der OS in Waldökosystemen beitragen.



### Autor\*innen

**Baumann K.**, Eckhardt K.-U., Acksel A., Gros P., Glaser K., Gillespie A. W., Karsten U., Leinweber P.

### Erschienen als

Contribution of biological soil crusts to soil organic matter composition and stability in temperate forests. *Soil Biology and Biochemistry* 160: 108315 (2021)

doi: 10.1016/j.soilbio.2021.108315

### Foto

Glaser K.  
Biologische Bodenkruste in der Schorfheide-Chorin.

## Auswirkungen der Landnutzungsintensität und der biologischen Vielfalt auf die Infiltrationskapazität und die hydraulische Leitfähigkeit von Grünlandböden in Süddeutschland

Pflanzendiversität kann den Wasserkreislauf beeinflussen. Ein Grund könnte eine höhere Infiltrationskapazität (I) und hydraulische Leitfähigkeit (K) der Böden in artenreichem Grünland sein, weil eine hohe Biodiversität die Strukturbildung im Boden z. B. durch verschiedene Wurzelstockwerke oder eine erhöhte mikrobielle Aktivität fördert.

Daher untersuchten wir, wie die Landnutzungsintensität und die damit assoziierte Biodiversität von Pflanzen und Bodentieren die Werte von I und K bei und nahe der Wassersättigung beeinflussen. Auf 50 Grünlandflächen entlang eines Landnutzungsgradienten in dem Biodiversitäts-Exploratorium Schwäbische Alb haben wir I mit einem Haubeninfiltrometer bei verschiedenen Matrixpotentialen gemessen und die gesättigte und ungesättigte K berechnet. Statistisch haben wir den Zusammenhang zwischen I oder K und Landnutzungsinformationen (z. B. Düngeintensität), abiotischen (z. B. Textur) und biotischen Daten (z. B. Pflanzenartenzahl, Regenwurm-Abundanz) ausgewertet.

Unsere Ergebnisse zeigten, dass eine zunehmende Landnutzungsintensität die I und K senkte, während eine zunehmende Pflanzenartenzahl sie erhöhte. Der Einfluss von Bodentieren auf I und K war uneinheitlich. Der Effekt der Landnutzungsintensität auf I und K konnte hauptsächlich auf ihren negativen Einfluss auf die Pflanzenartenzahl zurückgeführt werden. Unsere Ergebnisse zeigten außerdem, dass sich in den etablierten Grünlandsystemen der Schwäbischen Alb I und K nahe der Wassersättigung über die Pflanzenartenzahl besser vorhersagen lassen als über die Landnutzungsintensität oder bodenphysikalische Eigenschaften.

## Boden- & Stoffkreisläufe



### Autor\*innen

Leimer S., Berner D., Birkhofer K., Boeddinghaus R. S., Fischer M., Kandeler E., Kuka K., Marhan S., Prati D., Schäfer D., Schöning I., Solly E. F., Wolters V., **Wilcke W.**

### Erschienen als

Land-use intensity and biodiversity effects on infiltration capacity and hydraulic conductivity of grassland soils in southern Germany. *Ecohydrology*: e2301 (2021)

doi: 10.1002/eco.2301

### Fotos

Leimer S.

Beide Bilder zeigen den Haubeninfiltrometer im Feld.

## Biologische Bodenkrusten: Eine Wohngemeinschaft im Buchenwald für Phosphor und Stickstoff umsetzende Bakterien

Die Form und Verfügbarkeit von Phosphor und Stickstoff im Boden wird unter anderem durch mikrobielle Aktivitäten bestimmt. Aus trockenen Gebieten ist bekannt, dass Biokrusten einen Bereich hoher mikrobieller Aktivität darstellen und damit für die Umwandlung von Nährstoffen von Bedeutung sind. Biokrusten überziehen die Bodenoberfläche als zusammenhängende Schicht aus Bakterien, Pilzen und Algen.

Wir haben untersucht, wie sich die Menge von Stickstoff und Phosphor und die an der Stoffumwandlung beteiligten Bakterien in Biokrusten im Vergleich zu krustenfreiem Boden in Buchenwäldern der Schwäbischen Alb, im Hainich-Dün und der Schorfheide-Chorin unterscheiden. Neben dem pflanzenverfügbaren Phosphor und Stickstoff und deren Gesamtgehalt haben wir die Häufigkeit von Bakterien, die an der Umwandlung von Phosphor und Stickstoff beteiligt sind, mittels quantitativer PCR (qPCR) untersucht. Die Standorte unterscheiden sich vor allem in ihrer Bodenstruktur, dem Nährstoffgehalt und dem pH-Wert.

Die Häufigkeit der Bakterien, die am Phosphorumsatz beteiligt sind, stieg in den Biokrusten an. Allerdings unterschied sich die Strategie der Phosphoraufnahme zwischen den Regionen. Bakterien, die im Erbgut Gene tragen, welche in Mangelsituationen helfen, den Phosphorbedarf zu decken, waren vor allem im Hainich-Dün zu finden. Dort war der pflanzenverfügbare Phosphor am geringsten. Im Gegensatz dazu wies das Untersuchungsgebiet Schorfheide-Chorin, die Region mit dem geringsten Gesamtgehalt an Phosphor, die größte Häufigkeit von Bakterien auf, welche schwer abbaubare Salze von Phosphorverbindungen, sogenannte Phosphonate, nutzen können. Unsere Daten zeigten, dass bei hoher Konzentration von pflanzenverfügbaren Verbindungen auch der Anteil an Bakterien

## Boden- & Stoffkreisläufe

zunahm, die Stickstoff und Phosphor umsetzen können. Ebenso nahm der Anteil an Stickstoff zu, der aus der Luft direkt durch Mikroorganismen gebunden wird, wenn der Gesamtgehalt von Phosphor im Boden zunahm.

Die Ergebnisse zeigen, dass die mikrobielle Aktivität in Biokrusten bei der Umwandlung von Nährstoffen und der Stoffwechselprozesse im Lebensraum Wald nicht nur in trockenen Regionen, sondern auch in gemäßigten Breiten eine tragende Rolle spielen. Da Biokrusten sich jedes Jahr neu bilden und standortabhängig sind, bedarf es wiederkehrender Untersuchungen, um Muster in ihrer Entstehung und Effekte auf den Lebensraum zu verstehen.



### Autor\*innen

**Kurth J. K.**, Albrecht M., Karsten U., Glaser K., Schloter M., Schulz S.

### Erschienen als

Correlation of the abundance of bacteria catalyzing phosphorus and nitrogen turnover in biological soil crusts of temperate forests of Germany.

Biology and Fertility of Soils 57: 179–192 (2021)

doi: 10.1007/s00374-020-01515-3

### Foto

Kurth J. K.

Biokruste auf Boden im Buchenwald des Untersuchungsgebiets Schorfheide-Chorin.

## Biokrusten: Bisher unbeachtete Hotspots auf bewirtschafteten Böden gemäßigter Regionen

Biokrusten sind biogeochemische Hotspots an der Oberfläche des Bodens. Sie bestehen aus phototrophen Organismen wie Algen, Cyanobakterien, Flechten und Moosen, die Kohlenstoff und andere Nährstoffe mit heterotrophen Organismen wie Bakterien, Archaeen, Pilzen und Protisten austauschen. In ariden klimatischen Regionen (Gebiete, in denen über mehrere Jahre weniger Niederschlag fällt als verdunstet), sind Biokrusten aufgrund ihrer weiten Verbreitung und ihrer positiven Einflüsse auf Ökosystemprozesse sowie ihrer Fähigkeit, Bodenerosionsprozesse zu reduzieren, sehr gut untersucht. Im Vergleich zu biokrustenfreiem Boden zeigen Biokrusten in solchen Regionen erhöhte mikrobielle Biomasse, Nährstoffumsetzungsraten und biotische Interaktionen.

Aber auch in gemäßigten Breiten können Biokrusten große Flächen bedecken. Solche potentiellen Flächen für Biokrustenbesiedelungen ergeben sich durch eine intensive Bewirtschaftung und den damit verbundenen vom Menschen verursachten Störungen. Allerdings gibt es kaum Untersuchungen über die Bedeutung von Biokrustenbildung auf solchen Standorten in gemäßigten Breiten. Erste Studien zeigten aber bereits, dass Biokrusten auch in gemäßigten Breiten Nährstoffkreisläufe, die Bodenstabilisierung und den Wasserhaushalt erheblich beeinflussen. Aufgrund der häufigen Ökosystemstörungen ist ihre Entwicklung aber deutlich dynamischer.

Mit unserer Arbeit haben wir uns zum Ziel gesetzt, die interdisziplinäre Forschung mit dem Schwerpunkt Biokrusten in gemäßigten Breiten zu verstärken. Dabei geht es uns insbesondere darum, durch eine intensivere Forschung das Verständnis über das Zusammenspiel von physikalischen, biologischen, mikrobiologischen, chemischen und bodenkundlichen Prozessen zu verbessern. Es ist

nötig, die Auswirkungen von Biokrusten auf die Gesundheit und Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen insgesamt besser zu verstehen, insbesondere im Hinblick auf ihr Potential, die Folgen des Klimawandels abzumildern.



## Boden- & Stoffkreisläufe

### Autor\*innen

Gall C., Ohan J., Glaser K., Karsten U., Schloter M., Scholten T., **Schulz S.**, Seitz S., **Kurth J. K.**

### Erschienen als

Biocrusts: Overlooked hotspots in managed mesic soils.  
Journal of Plant Nutrition and Soil Science  
185: 745–751 (2022)

doi: 10.1002/jpln.202200252

### Foto

Kurth J. K.  
Biokruste im Buchenwald, Schorfheide-Chorin.

## Was hält uns zusammen? Eine Analyse zur Zusammen- setzung und Funktion ökologischer Bodenkrusten in gemäßigten Wäldern

Biologische Bodenkrusten (Biokrusten) beherbergen eine vielfältige Gemeinschaft von Mikroalgen und Moosen als Primärproduzenten und Bakterien, die teilweise in enger Gemeinschaft mit Mikroalgen leben. Auf trockenen (Wüsten-)Böden haben Biokrusten zahlreiche wichtige ökologische Funktionen. Sie stabilisieren unter anderem den Boden, unterstützen den Nährstoffkreislauf, dienen als Wasserspeicher oder sind Lebensraum für Kleinstlebewesen. Ihre Entstehung, Zusammensetzung und ökologische Rolle in gemäßigten Regionen, wie z. B. auf gestörten Waldböden nach Kahlschlag oder Windwurf, ist hingegen wenig erforscht.

Um mehr über die Zusammensetzung der Artgemeinschaften in Biokrusten zu verstehen, untersuchten wir mit molekularen Methoden (i. e. S. Hochdurchsatz-Sequenzanalyse) Standorte gemäßigter Wälder der Biodiversitäts-Exploratorien im Hainich-Dün, der Schorfheide-Chorin und der Schwäbischen Alb. Wir konnten zeigen, dass sich die Bakterien in der Biokruste hauptsächlich aus einer Untergruppe der Bakteriengemeinschaft des darunterliegenden Bodens zusammensetzen. Bakterienfamilien, die am Abbau großer Kohlenstoffmoleküle wie Cellulose und Chitin beteiligt sind, sowie der Bakterienfresser *Bdellovibrio* (selbst ein Bakterium) waren in der Biokruste häufiger anzutreffen als im biokrusten-freiem Boden. Beide Befunde deuten auf eine enge Wechselwirkung und einen intensiven Nährstoffkreislauf in Böden mit Biokrusten hin. Außerdem geht die Vielfalt der Bakterien positiv mit dem Gehalt an schleimbildenden Algen einher. Die Bakterien profitieren wahrscheinlich von den Schleimhüllen der Algen, entweder als Kohlenstoffquelle oder als Fraßschutz. Beide Organismengruppen zusammen bewirken einen Schutz vor Austrocknung.

## Boden- & Stoffkreisläufe

Zwar gibt es lokal spezifische Zusammensetzungen der Gemeinschaften in Abhängigkeit von der Untersuchungsregion, aber grundsätzlich zeigen die Ergebnisse ein Muster, nämlich dass auch in Wäldern gemäßigter Regionen wie Deutschland die Biokrusten einen wichtigen ökologischen Beitrag leisten. Dies kann gerade in Zeiten von zunehmenden extremen Wettersituationen (Windwurf) und Klimawandel bedeutend für das Bodensystem in Wäldern sein.



### Autor\*innen

**Glaser K.**, Albrecht M., Baumann K., Overmann J., Sikorski J.

### Erschienen als

Biological Soil Crust From Mesic Forests Promote a Specific Bacteria Community. *Frontiers for Microbiology* 13: 769767 (2022)

doi: 10.3389/fmicb.2022.769767

### Fotovorlage für digitale Illustration

Albrecht M.

Eine von Moos dominierte Biokruste hat sich auf laubstreu-freiem Waldboden im Exploratoriengebiet Hainich-Dün gebildet.

*Bild in Adobe Illustrator bearbeitet.*

## Einfluss von Bewirtschaftungsintensität und Umweltbedingungen auf die Mikrobiota in biologischen Bodenkrusten und krustenfreien Bodenhabitaten gemäßiger Wälder

Biologische Bodenkrusten (BSC) sind komplexe Lebensräume für vielfältige Bodenorganismen (u. a. Cyanobakterien, Algen, Bakterien, Pilze und Mikrofauna). Sie treten in Lebensräumen mit offener, nicht vollständig mit Vegetation bedeckter Bodenoberfläche auf. Hier spielen sie eine bedeutende Rolle für die Oberflächenstabilisierung und das Wasserrückhaltevermögen des Bodens. Zudem fördern sie den Aufbau organischer Substanz, was dem gesamten Bodensystem zugutekommt. In ariden Ökosystemen, aber auch in Waldstandorten, strukturieren die BSC die Gemeinschaften der Gefäßpflanzen und schaffen Biodiversitäts-Hotspots. Die positiven Eigenschaften hängen dabei stark von der Artenzusammensetzung ab. Über den Einfluss der Bewirtschaftungsintensität in Wäldern auf diesen wichtigen Lebensraum ist jedoch noch kaum etwas bekannt.

Untersucht wurden die Waldstandorte im Exploratorium Schorfheide-Chorin mit Fokus auf drei Habitate: BSC, Boden direkt unter den BSC sowie BSC-freier Boden. Es zeigte sich, dass die BSC einen charakteristischen und ressourcenreichen Lebensraum bilden. Die Intensität der Waldbewirtschaftung hatte dabei den stärksten Einfluss auf die Lebensgemeinschaft, gefolgt von den Mikronährstoffen (Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor). Neben Mikroorganismen wurden auch höhere trophische Ebenen wie Nematoden (Fadenwürmer) beeinflusst. Insgesamt hatten BSC einen positiven Effekt auf den Nährstoffeintrag und die Nährstoffversorgung der Bodenorganismen.

BSC haben eine wichtige Rolle für den Kohlenstoffeintrag in das Mikrobiom und die Nahrungsnetze des Bodens in wirtschaftlich genutzten Wäldern. Eine Störung dieser Mikroökosysteme verringert deren Biodiversität und minimiert die positive Wirkung auf den angrenzenden Boden. Zum Schutz der BSC sollten Bodenbearbeitung und Verdichtung möglichst geringgehalten werden.

## Boden- & Stoffkreisläufe

Insbesondere in sandigen Böden wie in der Schorfheide-Chorin kann damit der Bodenerosion entgegengewirkt und der Wasserhaushalt verbessert werden.



### Autor\*innen

Ngosong C., Buse T., Ewald M., Richter A., Glaser K., Schöning I., **Ruess L.**

### Erschienen als

Influence of management intensity and environmental conditions on microbiota in biological soil crust and crust-free soil habitats of temperate forests.

Soil Biology and Biochemistry 144: 107761 (2020)

doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107761

### Foto

Ewald M.

Eine biologische Bodenkruste aus dem Exploratorium Schorfheide-Chorin.

## Mineralzusammensetzung und Grünlandbewirtschaftung beeinflussen die molekulare Zusammensetzung und damit die Stabilität der organischen Substanz im Boden

Die Dynamik des Bodenkohlenstoffs im Grünland wird teilweise durch die Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz (SOM – *Soil Organic Matter*) bestimmt. Es ist jedoch unklar, welchen Einfluss die Grünlandbewirtschaftung auf die molekulare Zusammensetzung der SOM hat und welche Rolle dabei die Tonfraktion (Anteil, mineralogische Zusammensetzung) spielt, die SOM binden und vor Abbau schützen zu können. Bei der Grünlandbewirtschaftung könnte z. B. ein hoher Anteil an leicht abbaubaren organischen Verbindungen von frischem Pflanzenmaterial in Wiesen zu finden sein, während auf Weiden und Mähweiden frisches Pflanzenmaterial stärker abgefressen wird. Dadurch verbleibt dort ein höherer Anteil an schwer abbaubaren, stabileren Verbindungen, die von älterem Pflanzenmaterial, Tierexkrementen und organischem Dünger stammen.

Mit Hilfe der Pyrolyse-Feldionisations-Massenspektrometrie (Py-FIMS) untersuchten wir den Einfluss von Wiese, Mähweide und Weide auf die molekulare SOM-Zusammensetzung in Oberböden von Grünlandflächen in den drei Regionen der Biodiversitäts-Exploratorien.

In den sandigen Böden der Region Schorfheide-Chorin war die SOM-Zusammensetzung und -Stabilität stark durch die Tongehalte und Konzentrationen kristalliner Fe-Oxide beeinflusst. Hier wirkte sich die Art der Grünlandbewirtschaftung auf den Lipidanteil aus. In der Region Hainich-Dün hingegen war die SOM-Zusammensetzung weniger von Mineralen beeinflusst als vielmehr von der Bewirtschaftungsform. Wie angenommen, konnten hier hohe Anteile leicht abbaubarer Verbindungsklassen wie Kohlenhydrate auf der Wiese gefunden werden. Potentiell schwerer abzubauenen Verbindungsklassen wie Lignindimere und Lipide waren auf der Weide am höchsten. Auf der Schwäbischen Alb war die Abbaubarkeit freier

## Boden- & Stoffkreisläufe

Fettsäuren durch die Bewirtschaftungsform beeinflusst. Mögliche Konsequenzen für den Wasserhaushalt (Hydrophobie) und Elementtransport könnten somit durch angepasste Bewirtschaftung verhindert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Grünlandbewirtschaftung die SOM-Zusammensetzung und -Stabilität und damit die SOM-Dynamik im Grünland beeinflusst. Sie spielt jedoch im Vergleich zum Anteil und der mineralogischen Zusammensetzung der Tonfraktion, und damit regional unterschiedlicher Standortseigenschaften, eine eher untergeordnete Rolle.



### Autor\*innen

**Baumann K.**, Eckhardt K.-U., Schöning I., Schrumpf M., Leinweber P.

### Erschienen als

Clay fraction properties and grassland management imprint on soil organic matter composition and stability at molecular level. *Soil Use and Management* 38: 1578–1596 (2022)

doi: 10.1111/sum.12815

### Foto

Baumann K.  
Bodenprobenahme in der Schorfheide-Chorin.

# Pflanzen

## Artikel

- Wiederherstellung der Pflanzenvielfalt in Dauergrünland durch Ansaat: hohe Produktivität bei intensiver Landnutzung begrenzt den Etablierungserfolg [S.050](#)
- Auswirkungen von Störung auf den Trockenheitsstress in der Vegetation und die Stickstoff-Ausnutzung der Pflanzen [S.052](#)
- Beeinflusst die Intensität der Landnutzung die evolutionäre Anpassung von Wiesenpflanzen im Nachwachsen nach der Mahd? [S.054](#)
- Gewächshauskultur versus gängige Praxis – Phänotypische Veränderungen bei *Trifolium pratense* als Reaktion auf wiederholtes Mähen [S.056](#)
- Transkriptomanalyse zeigt wesentliche Transkriptionsveränderungen während des Nachwachsens von Rotklee (*Trifolium pratense*) nach der Mahd [S.058](#)
- Zusammensetzung der Wurzelabscheidungen von Gräsern und Kräutern im natürlichen Grünland [S.060](#)
- Wie Landnutzung und Bodeneigenschaften das Wurzelverhalten in unserem Grünland beeinflussen [S.062](#)
- Wie Wurzeln und Pflanzenmerkmale erklären, warum bestimmte Grünlandpflanzen überall vorkommen [S.064](#)
- Ist mehr weniger? Ein umfassender experimenteller Test des Einflusses von Bodentiefe auf Diversität im Grünland [S.066](#)

Enzymkinetik gibt Aufschluss über mechanistische Veränderungen bei der Zersetzung von Teestreu über Gradienten der Landnutzungsintensität in mitteldeutschem Grünland [S.068](#)

Frühlingskräuter im Unterholz blühen in intensiv bewirtschafteten Wäldern später [S.070](#)

Intraindividuelle Merkmalsvariation im Waldmeister (*Galium odoratum*) wird durch experimentelle Trockenheit und Beschattung beeinflusst [S.072](#)

Mit der Erwärmung Europas blühen Wald-Wildblumen früher: Erkenntnisse aus Herbarien und räumlicher Modellierung [S.074](#)

Vergleichende Analyse der Trockenheitsresistenz von Pflanzenarten des gemäßigten Grünlands [S.076](#)

Das Überleben bei Trockenheit steht in positivem Zusammenhang mit hohem Turgorverlustpunkten bei mehrjährigen Grünlandarten der gemäßigten Zonen [S.078](#)

## Wiederherstellung der Pflanzenvielfalt in Dauergrünland durch Ansaat: hohe Produktivität bei intensiver Landnutzung begrenzt den Etablierungserfolg

Die Intensivierung der Landnutzung hat zu einem dramatischen Rückgang der biologischen Vielfalt im Grünland geführt. Eine große Herausforderung besteht darin, die Pflanzenvielfalt im bewirtschafteten Dauergrünland effektiv wiederherzustellen. Artenreiche, lokal angepasste Saatgutmischungen sind zwar ein geeignetes Mittel zur Wiederherstellung artenreicher Grünlandbestände, der Erfolg dieser Maßnahme schwankt jedoch. Die Berücksichtigung der Landnutzung und der funktionellen Merkmale der Pflanzen in der Saatgutmischung könnte diese Unterschiede im Erfolg der Wiederherstellungsmaßnahmen erklären und somit für die Zukunft verbessern.

Um diesen Zusammenhang genauer zu untersuchen, führten wir ein Experiment durch, bei dem (1) die Ansaat mit einer artenreichen Saatmischung (Regio-Saatgut) und (2) die Störung des Oberbodens auf 73 Grünlandflächen entlang von Landnutzungsintensitäts- und Produktivitätsgradienten einzeln getestet und kombiniert wurden. Den Wiederherstellungserfolg von Ansaat, Störung und dessen Kombination haben wir über 5 Jahre beobachtet.

Die Pflanzenvielfalt nahm deutlich zu, aber nur, wenn Ansaat und Störung kombiniert wurden. Ansaat allein konnte den Artenreichtum nur geringfügig erhöhen. In intensiv genutztem Grünland schränkte Düngung und die damit einhergehende erhöhte Produktivität die Anzahl der neu etablierten Arten allerdings deutlich ein. Funktionelle Merkmale der angesäten Arten beeinflussten zusätzlich den Etablierungserfolg. Eher langsam wachsende Arten mit geringem Samengewicht hatten einen größeren Etablierungserfolg bei geringer Produktivität, während sich bei hoher Produktivität eher Arten mit hoher Samenmasse und damit konkurrenzfähigeren Keimlingen etablierten.

## Pflanzen

Unsere Ergebnisse unterstreichen das Potenzial artenreicher Saatgutmischungen für die Wiederherstellung von artenreichem Grünland, insbesondere bei vorheriger Störung des Oberbodens. Eine hohe Produktivität begrenzte jedoch den Erfolg der Wiederherstellung. Da ein geeignetes Produktivitätsniveau eine wichtige Voraussetzung ist, empfehlen wir dringend, zunächst die Düngung einzustellen und die Nährstoffbelastung des Bodens in hoch produktivem Grünland zu reduzieren (Aushagerung). Zusätzlich müssen die lokalen Umweltbedingungen bei der Zusammenstellung standortspezifischer Saatgutmischungen berücksichtigt werden, um den Wiederherstellungserfolg zu maximieren.



### Autor\*innen

**Freitag M., Klaus V. H.,** Bolliger R., Hamer U., Kleinebecker T., Prati D., Schäfer D., Hölzel N.

### Erschienen als

Restoration of plant diversity in permanent grassland by seeding: Assessing the limiting factors along land-use gradients. *Journal of Applied Ecology* 58: 1681–1692 (2021)

doi: 10.1111/1365-2664.13883

### Foto

Freitag M.

In extensiv genutztem Grünland mit geringer Produktivität konnten sich viele Arten etablieren, vorrangig solche mit einem eher langsamen Wachstum wie die Skabiosen-Flockenblume (*Centaurea scabiosa*).

## Auswirkungen von Störung auf den Trockenheitsstress in der Vegetation und die Stickstoff-Ausnutzung der Pflanzen

Die vorliegende Arbeit möchte die Bedeutung einer kritischen Betrachtung der aktuell voranschreitenden Landnutzungsintensivierung sowie des Klimawandels und der daraus resultierenden zunehmenden Dürreperioden darstellen. In diesem Zusammenhang ist die Stabilität eines Ökosystems und seine Resilienz von besonderer Bedeutung.

Die Untersuchungen zeigten, dass die Störung des Oberbodens einen signifikanten Einfluss sowohl auf die  $d^{13}C$  (Delta-C-13;  $\delta^{13}C$ )-Signale als auch auf die  $d^{15}N$  (Delta-N-15;  $\delta^{15}N$ )-Signale haben. Die Kohlenstoff-Signale ( $d^{13}C$ ) sind als Merkmal für Trockenheitsstress zu interpretieren und die Stickstoff-Signale ( $d^{15}N$ ) weisen auf eine Ausnutzung des Stickstoffs hin. Dabei ist es wichtig, möglichst viele Einflussfaktoren in die Auswertungen miteinzubeziehen. In diesem Fall wurden die Variablen Artenzahl (Diversität), Landnutzungsintensität und der topographische Feuchteindex berücksichtigt, die alle drei keinen signifikanten Einfluss auf die abhängigen Variablen der schweren Kohlenstoff- sowie der Stickstoff-Isotope ausüben. Grundlage der Untersuchungen sind die Daten aus dem Langzeitforschungsprojekt Biodiversitäts-Exploratorien. Die drei Exploratorien Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin und die Schwäbische Alb unterscheiden sich bezüglich der  $d^{13}C$ - und  $d^{15}N$ -Signale signifikant voneinander. Dies ist unter anderem durch den Nord-Süd-Gradienten der Exploratorien zu erklären, den diese durch Deutschland darstellen und somit verschiedenste standörtliche Bedingungen aufweisen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass noch weitere Untersuchungen in diesem Bereich erforderlich sind, um die Natur bestmöglich vor den bevorstehenden Veränderungen schützen zu können. Es könnte beispielsweise interessant sein, in weiteren

## Pflanzen

Forschungsarbeiten erneut Isotopendaten im Rahmen der Biodiversitäts-Exploratorien zu erheben und auszuwerten, um zu prüfen, ob die Ergebnisse mit der vorgestellten Literatur übereinstimmen oder sich von den Ergebnissen dieser Studie unterscheiden. Eine weitere Möglichkeit wäre es, die Diversitätseffekte innerhalb eines Grünlands zu untersuchen, indem artenreiches und artenarmes Grünland unter ähnlich feuchten Bedingungen verglichen werden.



### Autor\*in

Schröder S. K.

### Erschienen als

Auswirkungen von Störung auf den Trockenheitsstress in der Vegetation und die Stickstoff-Ausnutzung der Pflanzen.

Technical report, University Münster. (2021)

### Foto

Both S.

Grünlandfläche im Exploratorium Hainich-Dün.

## Beeinflusst die Intensität der Landnutzung die evolutionäre Anpassung von Wiesenpflanzen im Nachwachsen nach der Mahd?

Pflanzenpopulationen in bewirtschaftetem Grünland sind unterschiedlicher Intensität von Beweidung, Mahd und Düngung ausgesetzt. Frühere Studien zeigten, dass dies zu evolutionären Anpassungen an die Landnutzungspraktiken führen kann und damit zu erhöhter innerartlicher Diversität. Im Gegensatz dazu steht die Fähigkeit einer Pflanze, sich unmittelbar an veränderte Umweltbedingungen anzupassen, was als phänotypische Plastizität bezeichnet wird. Die phänotypische Plastizität kann sich aber ebenfalls evolutionär verändern. Jedoch ist über die Evolution von phänotypischer Plastizität als Reaktion auf Landnutzungspraktiken bisher wenig bekannt.

In einem Freilandexperiment testeten wir, ob Pflanzen nach der Mahd oder Beweidung eine erhöhte Fähigkeit zum Nachwachsen aufweisen. Wir verglichen Pflanzen von intensiv bewirtschafteten Standorten mit Exemplaren von extensiv genutzten Flächen. Wir sammelten Samenmaterial von drei häufigen Pflanzenarten – Spitzwegerich, Gemeine Schafgarbe, Weiche Trespe – von 58 bis 68 Grünlandflächen entlang eines Gradienten der Landnutzungsintensität: von extensiver (temporäre Beweidung) bis zu sehr intensiver Bewirtschaftung (bis zu vier Schnitte pro Jahr). Wir kultivierten die Pflanzen in Töpfen, entfernten nach einem Monat die oberirdische Biomasse der Hälfte der Pflanzen und bestimmten nach vier weiteren Monaten die oberirdische Biomasse aller Pflanzen.

Wir fanden heraus, dass die Populationen des Spitzwegerichs sowie der Gemeinen Schafgarbe, jedoch nicht von der Weichen Trespe, sich in ihrer Fähigkeit zum Nachwachsen nach dem Schnitt unterschieden. Diese Variation in der Nachwachsbarkeit hing aber nicht mit der durchschnittlichen Landnutzungsintensität zusammen. Beim

## Pflanzen

Spitzwegerich fanden wir jedoch einen Zusammenhang mit der zeitlichen Variation: Pflanzen von Flächen, die im letzten Jahrzehnt weniger variablen jahresübergreifenden Landnutzungspraktiken ausgesetzt waren – die also vorhersagbarer waren –, wiesen nach dem Schnitt ein stärkeres Wachstum der reproduktiven Biomasse auf.

Daraus folgern wir, dass die Vorhersagbarkeit der Landnutzung eine Rolle in der Evolution phänotypischer Plastizität spielen kann. Unsere Studie unterstreicht damit die Relevanz der Heterogenität landwirtschaftlicher Praktiken für den Erhalt innerartlicher Diversität.



### Autor\*innen

Kirschbaum A., Bossdorf O., **Scheepens J. F.**

### Erschienen als

Variation in regrowth ability in relation to land-use intensity in three common grassland herbs.

Journal of Plant Ecology 14: 438–450 (2021)

doi: 10.1093/jpe/rtab001

### Foto

Scheepens J. F.  
Aufbau des Freilandexperiments.

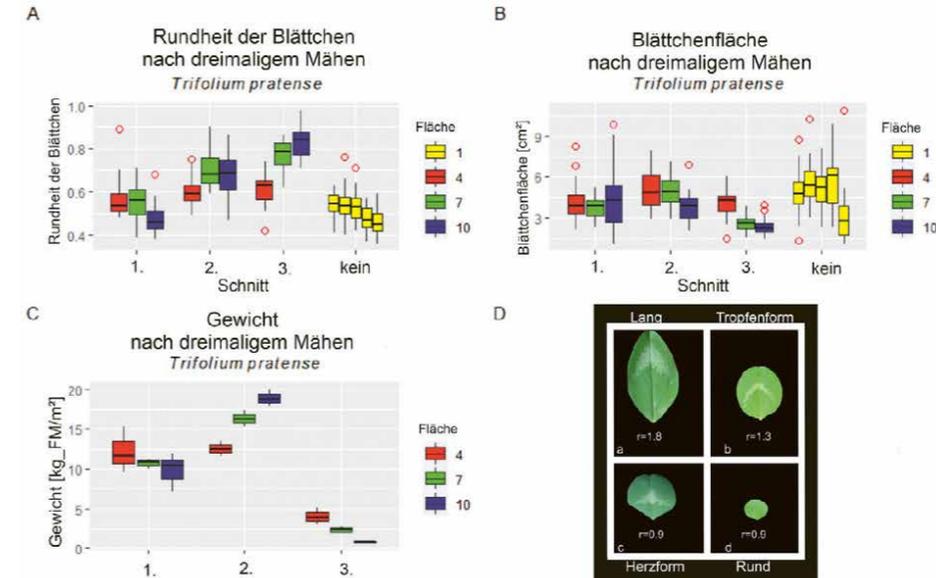
## Gewächshauskultur versus gängige Praxis – Phänotypische Veränderungen bei *Trifolium pratense* als Reaktion auf wiederholtes Mähen

Pflanzen sind verschiedenen biotischen und abiotischen Faktoren ausgesetzt, denen sie sich aufgrund ihrer nicht mobilen Lebensweise nicht entziehen können. Daher passen sie ihr Wachstumsverhalten an lokale Umweltbedingungen an, was zu phänotypischen Variationen führt. *Trifolium pratense* (Rotklee) ist eine Pflanze, an der dies gut beobachtet werden kann. Sie ist eine weltweit häufig durch Mahd genutzte Futterpflanze. Vorhergegangene Gewächshausversuche zeigten, dass nach der Mahd mehr Blätter nachwachsen, d. h. Mähen regt das Wachstum der Pflanzen an und häufigeres Mähen könnte zu einer Ertragssteigerung führen.

In unserer Studie testeten wir daher im Freilandanbau, ob (1) die Reaktion aus dem Gewächshausversuch auch im Freiland stattfindet, (2) ob unterschiedliche Mahdhäufigkeiten und -zeiten die Menge der geernteten Biomasse von Rotklee beeinflussen, und (3) ob sich der Stickstoffgehalt als Indikator für Proteingehalt und Futterqualität in den Blättern nach der Mahd eignet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse des Gewächshausversuchs im Feld bestätigt werden konnten. Rotklee kompensiert die Verluste nach dem Schnitt durch den Beginn einer neuen Wachstumsphase. Dabei entstehen zwar kleinere und rundlichere Blätter, jedoch sind diese zahlreicher als vor der Mahd, insbesondere wenn der Schnitt Mitte Juni erfolgte, was zu einer Zunahme der Biomasse führt. Unterschiedliche Mahdhäufigkeiten und -zeiten beeinflussen die geerntete Biomasse: Eine Mahd zu einem späteren Zeitpunkt im Jahr und mit zwei Schnitten erzeugt die höchste Biomasse auf dem Feld, eine frühe Mahd zu Beginn der Saison erhöht diese jedoch nicht. Eine sehr späte Mahd (Ende Juli) ist ebenfalls ertragreicher als eine dreimalige Mahd zu Beginn der Saison. Der Stickstoff-

gehalt änderte sich aufgrund der Mahd nicht, unterlag jedoch jahreszeitlichen Schwankungen und eignet sich daher nicht als Indikator.



## Pflanzen

Autor\*innen

Gross T., Müller C. M., Becker A., Gemeinholzer B., Wissemann V.

Erschienen als

Common garden versus common practice – Phenotypic changes in *Trifolium pratense* L. in response to repeated mowing. Journal of Applied Botany and Food Quality 94: 1–6 (2021)

doi: 10.5073/JABFQ.2021.094.001

Abbildung

Müller C. M.

Entwicklung von (A) Rundheit der Fiederblättchen nach dreimaligem Mähen (bis zu 1 für rund), (B) Fiederblättchenfläche [cm<sup>2</sup>] nach dreimaligem Mähen, (C) Gewicht [kg<sub>FM</sub>/m<sup>2</sup>] der geernteten Parzellen nach dreimaligem Mähen im Jahr unabhängig von der Jahreszeit und (D) repräsentative Fiederformen, länglich (a), tropfenförmig (b), herzförmig (c) und rund (d) mit entsprechendem Längen/Breiten-Verhältnis als Maß für die Rundheit der Fiederblätter (D: geändert nach Herbert et al. 2018). Rote Punkte = Ausreißer; Fläche: 1 = nicht gemäht, 4 = früh, 7 = mittel, 10 = spät.

## Transkriptomanalyse zeigt wesentliche Transkriptionsveränderungen während des Nachwachsens von Rotklee (*Trifolium pratense*) nach der Mahd

Rotklee (*Trifolium pratense*) wird aufgrund seines hohen Nährwerts und seiner bodenverbessernden Eigenschaften weltweit als Futterpflanze verwendet. Als Reaktion auf das Mähen wächst Rotklee bodennah und die Blattform verändert sich, um den Verlust an Biomasse auszugleichen. Mit welchen Veränderungen des Wachstums Rotklee auf Mahd reagiert ist gut beschrieben, aber die zugrundeliegenden molekularen Mechanismen und ihre Rolle für die Pflanzen sind noch unklar.

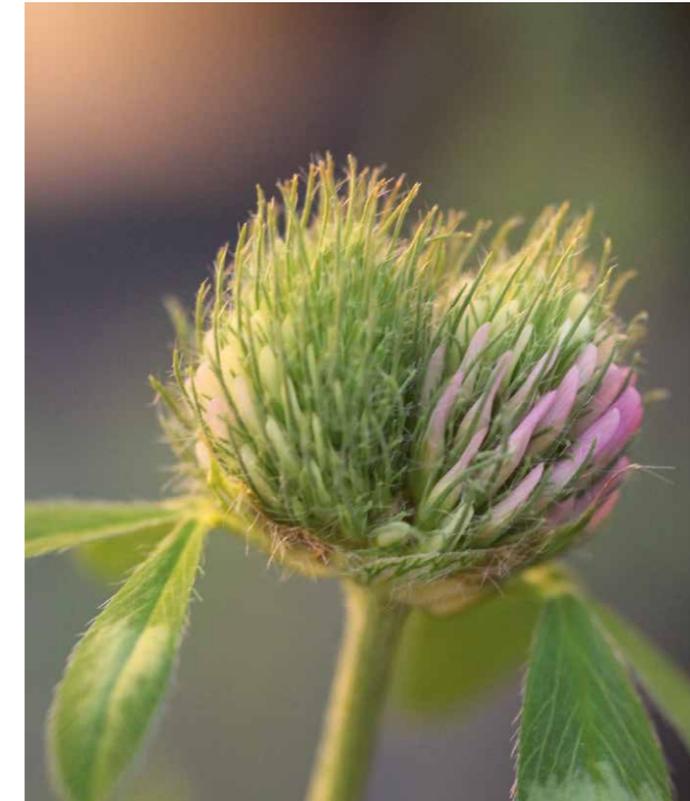
In dieser Arbeit haben wir die Reaktion der Genaktivität von Rotklee auf das Mähen charakterisiert. Dafür verglichen wir Pflanzen, die unter kontrollierten Gewächshausbedingungen wuchsen, mit solchen aus landwirtschaftlich genutzten Feldern. Wir erwarteten, dass Gene, die das Wachstum regulieren, besonders stark in ihrer Genaktivität verändert sein würden. Interessanterweise stellen wir aber fest, dass biotischer und abiotischer Stress Veränderungen der Genaktivität viel stärker beeinflussen als der Verlust von Biomasse durch Mahd. Darüber hinaus konnten wir zeigen, dass Gibberelline neben anderen Phytohormonen ebenfalls zu den Entwicklungsprozessen beitragen, die für das Nachwachsen nach einem Biomasseverlust relevant sind.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass ein massiver Biomasseverlust bei Pflanzen im Feldanbau weniger Veränderungen der Genaktivität auslöst als die damit verbundenen biotischen und abiotischen Stressfaktoren. Diese Erkenntnisse liefern erste Einblicke in die physiologischen und entwicklungsbedingten Prozesse beim Mähen von Rotklee und können als Grundlage für dessen Ertragsverbesserung dienen.

Die Untersuchungen verdeutlichen, dass biotische und abiotische

## Pflanzen

Stressfaktoren das Nachwachsen von Biomasse nach der Mahd erheblich beeinflussen. Dies deutet darauf hin, dass die Mahd idealerweise bei guter Bodenfeuchte und geringem Pathogendruck durchgeführt werden sollte, um ein schnelles Nachwachsen der Biomasse zu ermöglichen.



### Autor\*innen

Herbert D., Gross T., Rupp O., **Becker A.**

### Erschienen als

Transcriptome analysis reveals major transcriptional changes during regrowth after mowing of red clover (*Trifolium pratense*). BMC Plant Biology 21: 95 (2021)

doi: 10.1186/s12870-021-02867-0

### Foto

AG Becker, JLU Gießen  
Blüte von Rotklee (*Trifolium pratense*).

## Zusammensetzung der Wurzelausscheidungen von Gräsern und Kräutern im natürlichen Grünland

Pflanzen geben als Reaktion auf externe Faktoren wie Klima, Bodenbeschaffenheit, benachbarte Pflanzen oder menschliche Landnutzung sowie interne Faktoren wie Artzugehörigkeit oder Wachstumsform eine vielfältige Mischung von Metaboliten in den Boden ab. Bislang wurden Wurzelexsudate aufgrund methodischer Herausforderungen hauptsächlich unter künstlichen Bedingungen untersucht.

In einem groß angelegten Feldversuch pflanzten wir fünf Gras- und fünf Kräuterarten in mehr als 50 verschiedene Grünlandgemeinschaften an den drei Standorten der deutschen Biodiversitäts-Exploratorien (Schorfheide-Chorin, Hainich-Dün und Schwäbische Alb) ein. Nach mehr als einem Jahr in der Umgebung wurden die Transplantate auf polare und semipolare Metaboliten in den Wurzelexsudaten analysiert. Da die Identifizierung semipolarer Metaboliten aufgrund ihrer großen chemischen Vielfalt in Pflanzen eine Herausforderung darstellt, wurde ein neuartiger Ansatz zur Klassifizierung von Metaboliten in chemische Klassen angewandt. Die Sammlung von Metaboliten und die ungezielte Profilerstellung in Kombination mit der Klassifizierungsmethode ermöglichte die Bestimmung von 182 Metaboliten.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Zusammensetzung der ausgeschiedenen polaren Metaboliten hauptsächlich von der lokalen Umgebung abhängt, insbesondere von den Bodenbedingungen. Das Muster der semipolaren Metaboliten hingegen wurde in erster Linie durch die Art der Pflanze beeinflusst. Die Profile sowohl der polaren als auch der semipolaren Metaboliten variierten je nach Wachstumsform, wobei die Grasarten einander im Allgemeinen ähnlichere Profile aufwiesen und stärker auf abiotische Umweltfaktoren reagierten als die Kräuterarten.

## Pflanzen

Diese Studie hat somit gezeigt, dass es möglich ist, Wurzelexsudate unter realen Feldbedingungen zu untersuchen und die zugrunde liegenden Faktoren für die Zusammensetzung dieser Exsudate zu identifizieren.



### Autor\*innen

Dietz S., Herz K., Gorzolka K., Jandt U., Bruelheide H., Scheel D., (Abstract bearbeitet von **Grießmeier V.**)

### Erschienen als

Root exudate composition of grass and forb species in natural grasslands.  
Scientific reports 10: 10691 (2020)

doi: 10.1038/s41598-019-54309-5

### Foto

Pommer U.  
Liesch- und Federgras im Exploratorium Schorfheide-Chorin.

## Wie Landnutzung und Bodeneigenschaften das Wurzelverhalten in unserem Grünland beeinflussen

Bodeneigenschaften im Grünland beeinflussen das Pflanzenwachstum erheblich. Während viele Untersuchungen sich auf die oberirdischen Pflanzenmerkmale konzentrieren, bleibt die Rolle der unterirdischen Merkmale und ihre Beziehung zu den Bodenbedingungen oft unberücksichtigt.

In unserer Studie untersuchten wir, wie Landnutzung und spezifische Bodeneigenschaften die unterirdischen Pflanzenmerkmale im Grünland beeinflussen. Durch die Messung verschiedener Pflanzenmerkmale und ihre Korrelationen mit den Bodenbedingungen konnten wir Zusammenhänge aufzeigen.

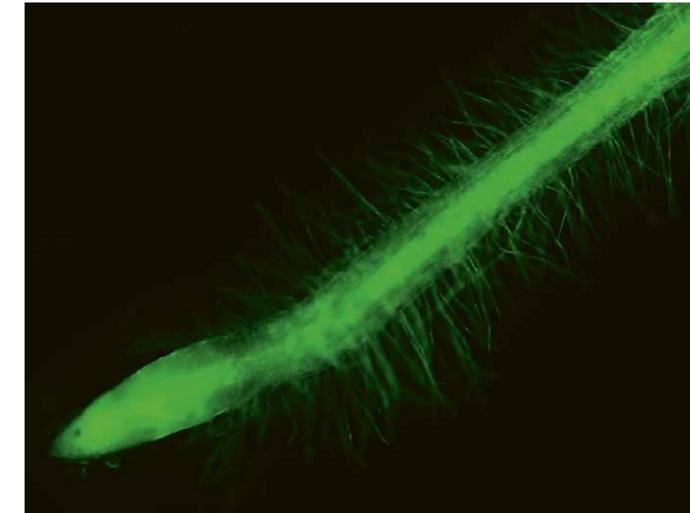
Unsere Untersuchungen zeigten, dass die unterirdischen Pflanzenmerkmale entlang zweier Hauptgradienten variierten: dem „Kollaborations“-Gradient und dem „Konservations“-Gradient. Der „Kollaborations“-Gradient beschreibt, ob Pflanzen Ressourcen selbst aufnehmen („Do-it-yourself“) oder diese Aufgabe an pilzliche Mykorrhiza-Partner auslagern („Outsourcing“). Die „Do-it-yourself“-Strategie spiegelt sich in einer höheren spezifischen Wurzellänge und Verzweigungsintensität wider, während die „Outsourcing“-Strategie zu höheren Wurzeldurchmessern und einer höheren Mykorrhiza-Besiedlung führt. Der „Konservations“-Gradient bezieht sich darauf, ob Pflanzen Kohlenstoff konservieren („Slow“) oder investieren („Fast“). Die „Slow“-Strategie spiegelte sich in einer höheren Wurzelgewebedichte und Anzahl unterirdischer Knospen wider, während die „Fast“-Strategie mit einer größeren spezifischen Blattfläche einhergeht.

Wir fanden heraus, dass die beiden Gradienten „Kollaboration“ und „Konservation“ den Großteil der Variationen der unterirdischen Merkmale erklären. Die Wurzeltiefe ist mit den „Outsourcing“- und

## Pflanzen

„Fast“-Strategien verbunden. Überraschenderweise korrelierte der Stickstoffgehalt der feinen Wurzeln mit der „Outsourcing“-Strategie. Beide Gradienten reagierten auf Umweltvariablen, die mit den Bodenbedingungen zusammenhängen. Fruchtbare Böden und intensive Landnutzung waren im Allgemeinen mit den „Fast“- und „Do-it-yourself“-Strategien verbunden.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Landnutzung und Bodeneigenschaften Pflanzen mit bestimmten Wurzelmerkmalen selektieren. Pflanzen mit tieferen Wurzeln und dünnerer Wurzelgewebedichte waren in fruchtbaren Böden häufiger anzutreffen. Dies deutet darauf hin, dass die Anpassung von landwirtschaftlichen Praktiken, die die Bodenqualität ändern, auch die durchschnittlichen Werte und die Diversität von unterirdischen Merkmalen beeinflussen kann.



### Autor\*innen

**Lachaise T.**, Bergmann J., Hölzel N., Klaus V., Kleinebecker T., Rillig M. C., **van Kleunen M.**

### Erschienen als

Soil conditions drive belowground trait space in temperate agricultural grasslands.  
Journal of Ecology 110: 1189–1200 (2022)

doi: 10.1111/1365-2745.13862

### Foto

Bergmann J.  
Wurzel mit vielen Wurzelhaaren typisch für die „Do-it-yourself“-Strategie.

## Wie Wurzeln und Pflanzenmerkmale erklären, warum bestimmte Grünlandpflanzen überall vorkommen

Pflanzen unterscheiden sich stark in ihrer Häufigkeit. Die Frage, ob funktionelle Merkmale der Pflanzen die Häufigkeit der Arten beeinflussen, bleibt bislang unbeantwortet. Dies könnte daran liegen, dass die Häufigkeit in verschiedenen räumlichen Maßstäben gemessen wird und viele Studien sich ausschließlich auf oberirdische Merkmale konzentrieren.

In unserer umfangreichen Untersuchung haben wir fünf Wurzelmerkmale und die Samenmasse von 241 mitteleuropäischen Grünlandarten gemessen. Diese Auswahl ermöglichte es uns, eine breite Palette von Arten zu betrachten und tiefere Einblicke in ihre Merkmale und Verteilung zu gewinnen. Wir testeten dann, ob Merkmalswerte mit der Häufigkeit in sieben räumlichen Maßstäben zusammenhängen, angefangen von der Häufigkeit in 16 m<sup>2</sup> Grünlandparzellen der Biodiversitäts-Exploratorien bis hin zum weltweiten neophytischen Vorkommen.

Für jeden unserer sieben Häufigkeitsmaßstäbe waren mindestens drei Merkmale wichtig. Eine niedrige Wurzelgewebedichte kennzeichnete häufige Arten in jedem Maßstab. Zudem zeigte sich, dass eine positive Assoziation mit Mykorrhizapilzen mit vier Maßstäben der Häufigkeit in Grünlandparzellen verbunden war. Bei einem weiteren zentralen Experiment bestimmten wir die maximale Wurzeltiefe der Arten. Dabei setzten wir Keimlinge in 1,2 m hohe mit Sand gefüllte Plastikröhren. Tiefere Wurzeltiefen korrelierten nur mit häufigen Arten auf globaler Ebene, nicht jedoch in Grünlandflächen. Andere Merkmale änderten sich je nach Maßstab.

Unsere Studie zeigte, dass unterirdische Merkmale im Grünland für die Häufigkeit von Arten genauso wichtig sind wie oberirdische. Der Zusammenhang zwischen Häufigkeit, Merkmalen und Ökosystem-

funktionen muss in weiteren Experimenten besser quantifiziert werden, um handlungsrelevante Erkenntnisse für Ökosystemleistungen zu gewinnen. Diese Erkenntnisse könnten in der Zukunft bedeutend sein, um nachhaltige Landwirtschaftspraktiken zu entwickeln und die Biodiversität zu schützen.



### Autor\*innen

**Lachaise T.**, Bergmann J., Rillig M. C., van Kleunen M.

### Erschienen als

Below- and aboveground traits explain local abundance, and regional, continental and global occurrence frequencies of grassland plants.

Oikos 130: 110–120 (2021)

doi: 10.1111/oik.07874

### Foto

Lachaise T.

Bodenprobe zur Messung von Wurzelmerkmalen und Samenmasse.

## Pflanzen

## Ist mehr weniger? Ein umfassender experimenteller Test des Einflusses von Bodentiefe auf Diversität im Grünland

Wie tief der Boden in einem Grünland ist, kann die Vielfalt der dort vorkommenden Pflanzenarten auf scheinbar gegensätzliche Weise beeinflussen. Tiefere Böden bieten einerseits mehr Platz im Wurzelraum für die unterschiedlichen Bedürfnisse verschiedener Arten (Nischenaufteilung). Andererseits kann höhere Produktivität tieferer Böden zu stärkerer Konkurrenz zwischen den Arten führen, was wiederum den Ausschluss konkurrenzschwächerer Arten zur Folge hat und somit die Pflanzenvielfalt negativ beeinflusst.

Experimentelle Studien, die die Bodentiefe manipulieren, sind rar und so ist bisher nicht geklärt, unter welchen Bedingungen welche Mechanismen vorherrschen – mehr Platz für Nischenaufteilung oder erhöhter Konkurrenzdruck. In dieser Studie untersuchten wir deshalb den interaktiven Effekt von Bodentiefe und häufigen Landnutzungsformen – Nährstoffzufuhr, Viehtritt und Mahd – auf die Pflanzenvielfalt im Grünland. Zu diesem Zwecke haben wir die vier Faktoren in Grünland-Mesokosmen (siehe Foto) in jeder erdenklichen Weise kombiniert.

Es zeigte sich, dass die Bodentiefe einen stark positiven Effekt auf die Artenvielfalt gemähter Flächen hat, was auf den positiven Einfluss von mehr Wurzelraum auf die Nischenaufteilung verschiedener Arten in tieferen Böden hindeutet. Auf ungemähten Flächen hingegen war die Pflanzenvielfalt auf tieferen Böden ähnlich hoch wie auf flachen Böden. Unsere Ergebnisse deuten auf den Einfluss erhöhter Biomasseproduktion und reduzierter Lichtverfügbarkeit hin. Düngung und Viehtritt hatten keinen nennenswerten Einfluss auf die Diversität in unserem Experiment.

Zusammenfassend zeigt unsere Studie, dass der Einfluss der Bodentiefe auf Pflanzengemeinschaften im Grünland stark mit

häufigen Landnutzungsformen interagiert. Daher empfehlen wir, den Effekt von Bodentiefe in manipulativen Experimenten und Managementplänen stets zu berücksichtigen.



## Pflanzen

### Autor\*innen

**Braun L.**, Kadmon R., Tomiolo S., Májeková M., Tielbörger K.

### Erschienen als

Is more less? A comprehensive experimental test of soil depth effects on grassland diversity. OIKOS 2022: e08535 (2022)

doi: 10.1111/oik.08535

### Foto

Braun L.  
Mesokosmen auf dem Versuchsfeld der Universität Tübingen.

*Foto mit Adobe Photoshop-KI erweitert.*

## Enzymkinetik gibt Aufschluss über mechanistische Veränderungen bei der Zersetzung von Teestreu über Gradienten der Landnutzungsintensität in mitteldeutschem Grünland

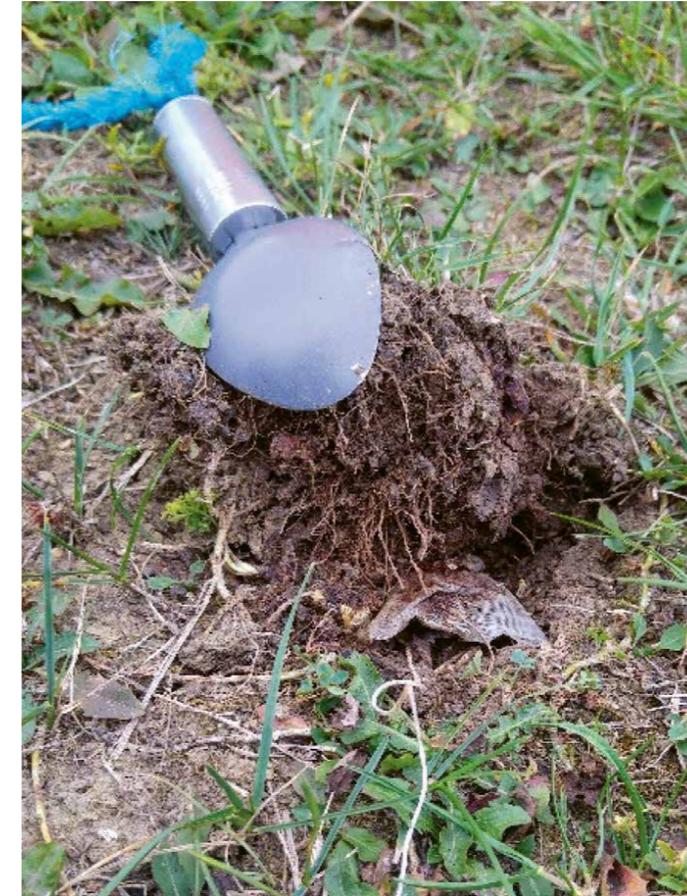
Die Intensität der Landnutzung beeinflusst Grünlandökosysteme und damit deren Ökosystemleistungen. Um die Auswirkungen dieser Landnutzungsintensität auf den Zustand des Ökosystems und seiner Prozesse beurteilen zu können, sind zuverlässige Indikatoren erforderlich. Diese sollten Auskunft geben über die Zersetzung von Pflanzen- oder Streumaterial und somit über die Rückführung von Nährstoffen in den Kreislauf oder die Anreicherung von organischer Substanz im Boden.

Im Rahmen unserer Studie haben wir die Eignung von Teebeuteln, gefüllt entweder mit grünem oder Rooibostee, als Indikatoren für Streuumsatzprozesse in unterschiedlich intensiv genutzten Grünlandböden getestet. Zusätzlich haben wir Streuumsatzprozesse mit Hilfe der Messung von Enzymkinetiken untersucht, die am Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorkreislauf beteiligt sind. Die Landnutzungsintensität wurde über die Bewirtschaftungsformen, wie Art der Düngung, Mahdhäufigkeit und Beweidungsdichte charakterisiert.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen zeigten, dass die Zersetzung des Teestreus, insbesondere innerhalb der ersten drei Monate, ein sensibler Indikator für die Landnutzungsintensität ist, wobei die Mahdhäufigkeit eine besondere Bedeutung hat. Nach 12 Monaten hatte die Beweidungsdichte den größten Einfluss auf die Zersetzung der Teestreu. In der zweiten Zersetzungsphase nahm die Bedeutung von Enzymen, die komplexere organische Verbindungen zerlegen, zu.

Insgesamt konnten wir zeigen, dass der Einsatz von Teebeuteln als Indikator eine geeignete Methode ist, um Einflüsse von Landnutzungsintensität auf Zersetzungsprozesse in Grünlandökosystemen

zu erfassen. In Kombination mit der Messung von Enzymkinetiken können auch Mechanismen der Streuzersetzung erkannt werden.



## Pflanzen

### Autor\*innen

Meyer U.-N., Tischer A., Freitag M., Klaus V. H., Kleinebecker T., Oelmann Y., Kandeler E., Hölzel N., **Hamer U.**

### Erschienen als

Enzyme kinetics inform about mechanistic changes in tea litter decomposition across gradients in land-use intensity in Central German grasslands.  
Science of The Total Environment 836: 155748 (2022)

doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155748

### Foto

Klaus V. H.  
Im Grünlandboden vergrabener Teebeutel.

## Frühlingskräuter im Unterholz blühen in intensiv bewirtschafteten Wäldern später

Durch menschengemachte Umweltveränderungen verschiebt sich die Phänologie (jahreszeitliche Entwicklung) vieler Arten. Der Blühzeitpunkt von Pflanzen beispielsweise hängt stark mit der Temperatur zusammen. Die Klimaerwärmung führt daher dazu, dass Pflanzen früher blühen. Lokal werden klimatische Bedingungen jedoch auch von anderen Faktoren beeinflusst, zum Beispiel durch die Struktur des Lebensraums.

Wir untersuchten, wie die Waldbewirtschaftung die Waldstruktur und damit die mikroklimatischen Bedingungen und als Folge davon die Blühphänologie verändert. Dazu haben wir die Phänologie von 16 frühblühenden Wildblumen auf 100 unterschiedlich genutzten Waldflächen untersucht. Diese reichten von unbewirtschafteten Wäldern und extensiv bewirtschafteten Plenterwäldern über bewirtschaftete Laubwälder verschiedener Altersklassen bis hin zu intensiv bewirtschafteten Fichtenplantagen.

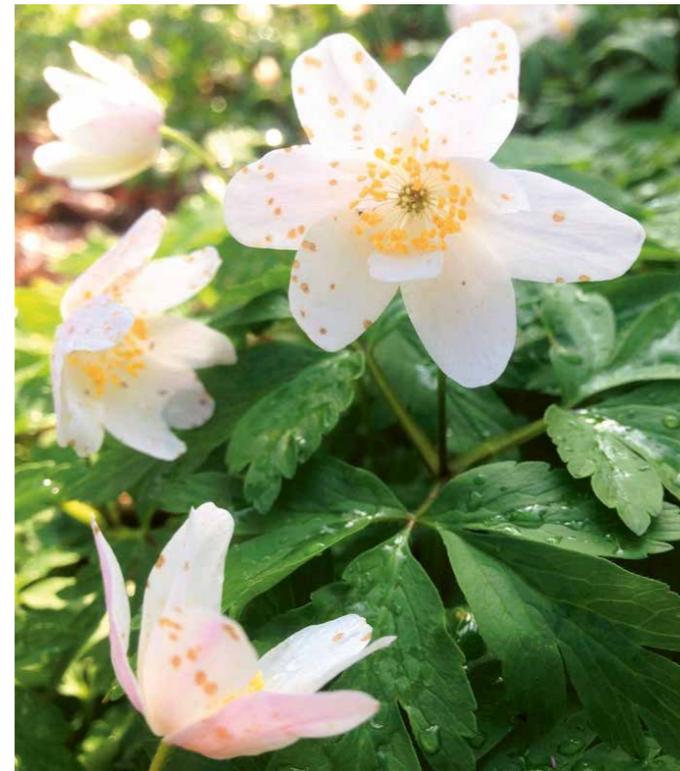
Wir fanden heraus, dass in Waldbeständen mit der höchsten Bewirtschaftungsintensität die Pflanzen etwa zwei Wochen später blühten als in unbewirtschafteten Wäldern. Dies ließ sich hauptsächlich dadurch erklären, dass es besonders in bewirtschafteten Nadelwäldern im Schnitt kälter und feuchter war. Bei einem Temperaturunterschied von  $-1^{\circ}\text{C}$  haben die Pflanzen fast fünf Tage später geblüht. Von den Waldmerkmalen hatte der Nadelbaumanteil den größten Einfluss auf das Mikroklima, aber auch das Alter, die Gesamtfläche des Kronendachs, die strukturelle Komplexität und die räumliche Verteilung der Bäume waren mit Veränderungen verbunden.

Dass die Waldbewirtschaftung die Phänologie der Pflanzen im Unterwuchs verändert, kann wichtige Auswirkungen auf Lebens-

## Pflanzen

gemeinschaften haben – zum Beispiel, wenn sich die Phänologie von interagierenden Pflanzen und Tieren unterschiedlich verschiebt.

Unsere Studie zeigt, dass nicht nur der Klimawandel, sondern auch andere Umweltveränderungen wie die Landnutzung diese jahreszeitliche Entwicklung von Organismen beeinflussen.



### Autor\*innen

**Willems F. M.**, Scheepens J. F., Ammer C., Block S., Bucharova A., Schall P., Sehrt M., Bossdorf O.

### Erschienen als

Spring understory herbs flower later in intensively managed forests.  
Ecological Applications 31: e02332 (2021)

doi: 10.1002/eap.2332

### Foto

Willems F. M.  
Buschwindröschen (*Anemone nemorosa* L.).

## Intraindividuelle Merkmalsvariation im Waldmeister (*Galium odoratum*) wird durch experimentelle Trockenheit und Beschattung beeinflusst

Der Klimawandel bedingt wärmere Frühjahrstemperaturen, was zu einem früheren Austrieb der Bäume und einer früheren Beschattung des Waldbodens führt. Darüber hinaus führt der Klimawandel auch zu häufigeren Dürreperioden. Der Waldunterwuchs kann auf diese Umweltveränderungen mit plastischen und evolutiven Merkmalsveränderungen reagieren. Während Pflanzenmerkmale wie die Blattlänge oft als Durchschnitt mehrerer Messungen innerhalb einer einzelnen Pflanze bestimmt werden, kann intraindividuelle Variation ebenfalls ökologisch relevant sein. Es ist jedoch wenig darüber bekannt, wie intraindividuelle Variation strukturiert ist und auf Umweltveränderungen reagiert.

Wir haben Individuen des Waldunterwuchskrauts Waldmeister (*Galium odoratum*) aus 21 mikroklimatisch unterschiedlichen Flächen der drei Biodiversitäts-Exploratorien entnommen. Wir trennten die Individuen in mehrere Stecklinge und verpflanzten sie in einen Folientunnel, wo wir sie Schatten und Trockenheit aussetzten. Wir maßen die Höhe der Sprossen sowie die Blattlänge und -breite und berechneten den Variationskoeffizienten (CV) auf verschiedenen hierarchischen Ebenen: innerhalb der Flächen, der Individuen, der Stecklinge und der einzelnen Triebe.

Wir entdeckten, dass der CV innerhalb der Triebe den größten Teil der Gesamtvariation ausmachte, gefolgt vom CV innerhalb der Individuen. Wir fanden signifikante Unterschiede im CV der Pflanzenhöhe und Blattbreite zwischen den Herkunftsflächen, was darauf hindeutet, dass der CV zumindest teilweise genetisch bedingt ist. Dabei korrelierte die Bodentemperatur in den Herkunftsflächen negativ mit dem CV der Pflanzenhöhe, was auf eine Anpassung an lokale Bedingungen hinweist. Darüber hinaus beobachteten wir plastische Reaktionen auf Beschattung und Trockenheit: frühere

## Pflanzen

Beschattung führte zu einem erhöhten CV der Blattlänge innerhalb von Trieben, während Trockenheit den CV der Blattbreite innerhalb der Triebe reduzierte.

Unsere Versuchsergebnisse zeigen, dass intraindividuelle Variation elvolvieren kann und möglicherweise adaptiv ist. Zudem reagierte die intraindividuelle Variation plastisch – und möglicherweise funktional – auf Beschattung und Trockenheit. Wir schlussfolgern, dass intraindividuelle Variation eine Schlüsselrolle bei der Anpassung von Pflanzen an klimatische Veränderungen spielen könnte.



### Autor\*innen

Møller C., March-Salas M., Kuppler J., De Frenne P., **Scheepens J. F.**

### Erschienen als

Intra-individual variation in *Galium odoratum* is affected by experimental drought and shading.

Annals of Botany 131: 411–422 (2022)

doi: 10.1093/aob/mcac148

### Foto

Møller C.

Unsere Versuchspflanze, der Waldmeister, in voller Blüte.

## Mit der Erwärmung Europas blühen Wald-Wildblumen früher: Erkenntnisse aus Herbarien und räumlicher Modellierung

Eine der auffälligsten Auswirkungen des anthropogenen globalen Wandels ist, dass sich weltweit die Lebensrhythmen von Pflanzen und Tieren verändern. Damit sich Pflanzen erfolgreich vermehren können, muss ihr Blühzeitpunkt gut auf günstige Umweltbedingungen abgestimmt sein. Historische, gepresste Pflanzenbelege aus Herbarien (die blühend gesammelt und deren Funddatum und -ort dokumentiert wurden) sind ein „Fenster in die Vergangenheit“, mit dem sich rekonstruieren lässt, wie sich der Blühzeitpunkt seit der Industriellen Revolution verändert hat.

Unsere Analyse von über 6.000 Herbarbelegen von 20 frühblühenden Waldkräutern hat gezeigt, dass die Pflanzen heute etwa eine Woche früher blühen als zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Diese Verschiebungen hängen mit der Klimaerwärmung in Europa zusammen. Pro 1°C Erwärmung blühen die Pflanzen im Mittel fast 4 Tage früher. Unsere Analysen zeigen jedoch, dass diese phänologischen Verschiebungen innerhalb Europas geographisch unterschiedlich stark sind. In Mitteleuropa, einschließlich Deutschland, blühten die Pflanzen im Durchschnitt früher als in Nord-, Süd-, West- und Osteuropa – auch nachdem der Einfluss von Temperatur, Niederschlag und Höhe über dem Meeresspiegel berücksichtigt wurde. Dies könnte daran liegen, dass sich die phänologischen Reaktionen auf Umweltvariablen (wie z. B. Temperatur) geographisch unterscheiden, z. B. aufgrund lokaler oder regionaler Anpassung und genetischer Unterschiede zwischen den Populationen.

Unsere Ergebnisse unterstreichen, dass sowohl die Phänologie als auch die phänologischen Reaktionen auf den Klimawandel geographisch stark variieren können. Dies zu berücksichtigen ist wichtig, um ein unverzerrtes Bild der Auswirkungen des Klima-

wandels auf Pflanzen und die mit ihnen verbundenen Lebensgemeinschaften und Ökosysteme zu entwickeln.



## Pflanzen

### Autor\*innen

**Willems F. M.**, Scheepens J. F., Bossdorf O.

### Erschienen als

Forest wildflowers bloom earlier as Europe warms: lessons from herbaria and spatial modelling.

New Phytologist 235: 52–65 (2022)

doi: 10.1111/nph.18124

### Foto

Jäger J.  
Herbarbeleg.

## Vergleichende Analyse der Trockenheitsresistenz von Pflanzenarten des gemäßigten Grünlands

Um die Vorhersagen über die Auswirkungen der zunehmenden Intensität und Häufigkeit von Dürreereignissen auf Grünland zu verbessern, ist ein umfassendes Verständnis der Leistungsreaktionen der Arten auf Trockenheit, der Kompromisse in ihrer Leistungsfähigkeit (*performance trade-off*) sowie der Dürreeristenz in Bezug auf die Artenverteilung erforderlich.

Jedoch fehlen für Grünlandarten der gemäßigten Breiten vergleichende und quantitative Bewertungen der Dürreeristenz ganzer Pflanzen, die eine genaue Untersuchung dieser Aspekte ermöglichen.

Wir führten ein *Common Garden*-Experiment (deutsch: „Gemeinschaftsgarten“) mit 42 weit verbreiteten Grünlandarten der gemäßigten Zonen durch, um das Überleben und Wachstum der Arten unter intensiver Trockenheit und gut bewässerten Bedingungen zu vergleichen. Dieser Ansatz erlaubte es uns, die Bedeutung der Auswirkungen von Trockenheit auf die Leistung der Arten unabhängig von den Auswirkungen anderer abiotischer (z. B. Licht und Nährstoffe) und biotischer Faktoren (z. B. Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Pflanze, Herbivoren oder Krankheitserreger) zu bewerten.

Insgesamt war das Überleben und das Wachstum bei Trockenheit bei allen Arten deutlich beeinträchtigt. Welkeerscheinungen und Blattnekrosen nahmen mit der Dauer der Trockenheit zu. Das Ausmaß und der Verlauf zwischen den Arten variierten jedoch stark. Während einige Arten eine ausgeprägte Welke und umfangreiche Gewebsnekrosen mit vollständiger oberirdischer Mortalität bei vielen Individuen zeigten, wiesen andere nur eine geringe Welke und leichte Nekrosen auf. Die Rangfolge der Arten in Bezug auf Dürreschäden und Überleben blieb bei fortschreitender Trockenheit konsistent. Die hohe Überlebensrate und das positive Wachstum der

## Pflanzen

meisten Arten unter der Trockenheit deuten jedoch darauf hin, dass viele Arten im Grünland der gemäßigten Zonen selbst unter intensiven Trockenheitsbedingungen gut angepasst sind. Diese Ergebnisse stimmen mit früheren Studien überein. Dennoch reagierten einzelne Arten in Bezug auf Überleben und Wachstum unterschiedlich auf Trockenheit. Es wird angenommen, dass diese unterschiedlichen Reaktionen von Arten auf Trockenheit die Artenverteilung sowie die Zusammensetzung und Vielfalt von Grünlandgemeinschaften verändern können.

Insgesamt deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass Kompromisse und Unterschiede in der grundlegenden Dürreeristenz der Arten nicht die Hauptfaktoren für die Differenzierung der hydrologischen Nischen, die Koexistenz der Arten und ihre Verteilung über Feuchtigkeitsgradienten sind. Die von uns vorgestellte vergleichende experimentelle Bewertung der Trockenheitsreaktionen von ganzen Pflanzen bietet eine Grundlage für ein besseres Verständnis der derzeitigen Reaktionen von Grünland auf unterschiedliche Feuchtigkeitsregime und für die Prognose der Folgen künftiger Veränderungen.



### Autor\*innen

Jung E., Gaviria J., Sun S., Engelbrecht B.,  
(Abstract bearbeitet von **Grießmeier V.**)

### Erschienen als

Comparative drought resistance of temperate grassland species: testing performance trade-offs and the relation to distribution.  
*Oecologia* 192: 1023-1036 (2020)

doi: 10.1007/s00442-020-04625-9

### Foto

Kiene C.

In einem Mesokosmen untersuchen wir die Auswirkung von Trockenheit und Nährstoffverfügbarkeit auf Graslandarten.

## Das Überleben bei Trockenheit steht in positivem Zusammenhang mit hohen Turgorverlustpunkten bei mehrjährigen Grünlandarten der gemäßigten Zonen

Der Turgorverlustpunkt ( $\pi$ tlp) gilt als Schlüsselmerkmal für die Dürre-resistenz von Gehölzarten. Bei krautigen Grünlandarten wurde die Bedeutung von  $\pi$ tlp für das Überleben der Arten bei Trockenheit bisher nicht untersucht, obwohl Grünland im Zuge des Klimawandels voraussichtlich vermehrt und intensiveren Dürreperioden ausgesetzt sein wird.

Um Einblicke in die Rolle von  $\pi$ tlp für die Dürre-resistenz von mehrjährigen Grünlandarten der gemäßigten Zonen zu gewinnen, haben wir  $\pi$ tlp von 41 in Deutschland verbreiteten Arten (20 Kräuter, 21 Gräser) untersucht. Wir setzten sie in direkten Zusammenhang mit der vergleichenden Trockenheitsüberlebensrate der ganzen Pflanze und dem mittäglichen Blattwasserpotenzial unter Trockenheit ( $\Psi$ MD), das in einem Trockenheitsexperiment im Garten ermittelt wurde sowie mit der Feuchtigkeitsassoziation der Arten.

Die Überlebensrate der Arten bei Trockenheit stieg mit zunehmendem  $\pi$ tlp über alle Arten hinweg sowie bei den einzelnen Gräsern und Kräutern.  $\Psi$ MD stand in einem positiven Zusammenhang mit  $\pi$ tlp und dem Überleben bei Trockenheit. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein hoher  $\pi$ tlp-Wert das Überleben von mehrjährigen europäischen Arten in gemäßigten Grünlandschaften bei Trockenheit fördert, indem er es ihnen ermöglicht, bei Trockenheit ein hohes Blattwasserpotenzial aufrechtzuerhalten – eine Strategie zur Vermeidung des Austrocknens. Allerdings stand  $\pi$ tlp nicht im Zusammenhang mit der Feuchtigkeitsassoziation der Arten.

Die positive Beziehung zwischen  $\pi$ tlp und dem Überleben bei Trockenheit bei krautigen Grünlandarten steht im Gegensatz zu der negativen Beziehung, die zuvor bei holzigen Pflanzen festgestellt wurde. Dies deutet darauf hin, dass sich die Mechanismen der

## Pflanzen

Trockenheitsresistenz zwischen holzigen und krautigen Arten unterscheiden. Unsere Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, die Beziehung zwischen funktionellen Merkmalen und dem Überleben der gesamten Pflanze bei Trockenheit in verschiedenen Pflanzenarten direkt zu testen, bevor die Bewertung von Merkmalen zur Vorhersage der Reaktion von Pflanzen auf Trockenheit verwendet wird.



### Autor\*innen

Sun S., Jung E., Gaviria J., Engelbrecht B. M. J.,  
(Abstract bearbeitet von **Grießmeier V.**)

### Erschienen als

Drought survival is positively associated with high turgor loss points in temperate perennial grassland species.

New Phytologist 34: 88-798 (2020)

doi: 10.1111/1365-2435.13522

### Abbildung

Uhl H.

Beispiel für eine trockenheitsresistente, krautige Pflanze: Die gemeine Wegwarte (*Cichorium intybus*).

# Tiere

## Artikel

- Verständnis des Insektenrückgangs: Können räumliche Daten zeitliche Daten ersetzen? [S.084](#)
- Die Anlockung des Mistkäfers *Anoplotrupes stercorosus* (Coleoptera: Geotrupidae) durch flüchtige Duftstoffe aus Wirbeltierkadavern [S.086](#)
- Waldhabitat-Parameter beeinflussen die Häufigkeit und die Diversität von Kadaver besuchenden Mistkäfern in Mitteleuropa [S.088](#)
- Zeitliche Variabilität der Gemeinschaft von Kurzflüglern auf Aas von kleinen Wirbeltieren und ihre mögliche Verwendung für die forensische Entomologie [S.090](#)
- Verbindung zwischen Bakterien, flüchtigen Stoffen und Insekten auf Aas: die Rolle zeitlicher und räumlicher Faktoren, die die Kommunikation zwischen den Organismen über flüchtige Stoffe steuern [S.094](#)
- Wasserlebende Tiere in Baumhöhlen und der Einfluss der Waldbewirtschaftung auf ihre Gemeinschaften [S.094](#)
- Nutzung von wassergefüllten Baumhöhlen durch Wirbeltiere in gemäßigten Wäldern [S.096](#)
- Die Bedeutung von wurzelbasierten Nährstoffen im Boden für wirbellose Waldbodenbewohner – eine Frage der Körpergröße [S.098](#)
- Zersetzer-Mikroarthropoden im Boden ernähren sich hauptsächlich von saprotrophen Pilzen: Eine Analyse mithilfe stabiler Isotope von Aminosäuren [S.100](#)

- Bodentiere und ihre Nahrungsnetze sind widerstandsfähig gegenüber Veränderungen durch Waldnutzung [S.102](#)
- Der Einfluss wurzelbasierter Energieversorgung und vertikaler Ressourcenheterogenität auf die Nahrungsbeziehungen von Springschwanz-Gemeinschaften [S.104](#)
- Der Einfluss von Landnutzung auf sexuelle und parthenogenetische Hornmilben-Gemeinschaften in Wäldern und Grünland [S.106](#)
- Insektenherbivorie begünstigt die Etablierung eines invasiven Pflanzenpathogens [S.108](#)
- Stabilere Insektengemeinschaften in Wiesen und Wäldern mit hoher Pflanzenvielfalt [S.110](#)
- Landschnecken mit engen Umweltansprüchen sind anfälliger für intensive Landnutzung [S.112](#)
- Intensive Düngung reduziert langfristig die Biodiversität und kurzfristig die Aktivität der Bodentiere im Wirtschaftsgrünland [S.114](#)
- Durch Tiere vermittelte Ökosystemprozesse in Wäldern und Grünland werden durch klimatische Bedingungen und Landnutzungsintensität beeinflusst [S.116](#)
- Ausbreitungsfähigkeit, trophische Position und Körpergröße vermitteln Prozesse des Artenwechsels: Einblicke aus einem Multi-Taxa- und Multi-Skalen-Ansatz [S.118](#)
- Dungabbau ist in Lichtungen geringer als in geschlossenen Beständen [S.120](#)
- Waldbewirtschaftung beeinflusst Totholzkäfer durch die Zusammensetzung der Baumarten und den Kronenschluss [S.122](#)
- Die funktionelle Struktur der europäischen Waldkäfergemeinschaften wird durch seltene Arten verbessert [S.124](#)
- Landnutzungsintensität sorgt für Veränderungen des chemischen Duftprofils und der Größe bei der Steinhummel *Bombus lapidarius* [S.126](#)
- Wechselwirkungen zwischen Ernährung und Bakterien in wilden Solitärbiene [S.128](#)
- Eine Frage der Ernährung: Veränderungen der Wildbienen Gemeinschaften aufgrund der Intensivierung der Landnutzung. Überleben nur noch flexible Nahrungsgeneralisten? [S.130](#)
- Wann ist eine Biene gesund? Konzepte, die Biodiversität und Bienengesundheit verbinden [S.132](#)

# Tiere

Klimatische Bedingungen und funktionelle Merkmale beeinflussen die Ernährung von Spinnen in landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Lebensräumen weltweit [S.134](#)

Auswirkungen der Waldstruktur auf die Interaktion zwischen Vögeln, Krankheitsüberträgern und Parasiten [S.136](#)

Landnutzungsintensität und Landschaftsstruktur bestimmen die akustische Zusammensetzung im Grünland [S.138](#)

Überwachung der SARS-CoV-2-Infektion bei wildlebenden Nagetieren in Europa [S.140](#)

Einfluss der Landnutzung auf aasassoziierte Gemeinschaften von Kurzflüglern in deutschen Wäldern [S.142](#)

Hierarchische Filter auf verschiedenen räumlichen Ebenen bestimmen die Zusammensetzung von Käfergemeinschaften in Totholz [S.144](#)

## Verständnis des Insektenrückgangs: Können räumliche Daten zeitliche Daten ersetzen?

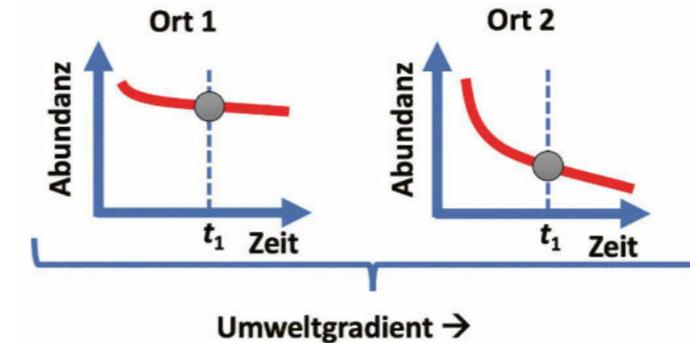
Eine Vielzahl von Studien hat mittlerweile einen deutlichen Rückgang bei Insektenpopulationen aufgezeigt. Die Trends der Insekten variieren jedoch je nach Studie und Lebensraum und die genauen Ursachen für den Rückgang sind kaum bekannt. Geeignete langfristige Zeitreihendaten sind rar und die Interpretation der Trends bleibt umstritten.

Im Gegensatz dazu gibt es umfangreiche quantitative Belege für die Ursachen der räumlichen Schwankungen in Insektenpopulationen. Zahlreiche Studien haben untersucht, wie Umweltbedingungen, Ressourcenangebot oder menschengemachte Einflüsse die Insekten beeinflussen.

Wir schlagen in der hier vorliegenden Studie daher vor, die räumlichen Gegebenheiten stärker zu berücksichtigen, wenn die Ursachen des Insektenrückgangs untersucht werden. Der Grund dafür ist, dass bei den meisten heute verfügbaren Zeitreihen die Anzahl der untersuchten Standorte die Anzahl der untersuchten Jahre deutlich übersteigt, wodurch die statistische Aussagekraft der räumlichen Daten höher ist. Standortübergreifende Vergleiche ermöglichen ein besseres Verständnis der Risiken für Insektenpopulationen, der Auswirkungen von Landnutzung und Lebensraumzerstörung sowie von Stressfaktoren wie Pestizide, Lichtverschmutzung, Mahd, klimatische Extreme oder Neobiota. Die Intensität der Einflussfaktoren muss sich nicht unbedingt ändern, um langfristige Auswirkungen auf die Populationen zu haben, z. B. in Form von jährlich wiederkehrenden Störungen oder Mortalitätsrisiken, wie sie sich auch aus landwirtschaftlichen Praktiken ergeben.

Die Vor- und Nachteile der Substitution von zeitlichen durch räumliche Daten wurde bereits in der Vergangenheit mehrfach kontrovers

diskutiert. Nichtsdestotrotz können die Erkenntnisse aus gut reproduzierten räumlichen Daten Aufschluss über dringende Maßnahmen geben, die erforderlich sind, um den Rückgang von Insekten aufzuhalten oder umzukehren. Denn solche Maßnahmen müssen immer auch im Raum umgesetzt werden.



## Tiere

Autor\*innen

**Blüthgen N.**, Staab M., Achury R., Weisser W. W.

Erschienen als

Unravelling insect declines: can space replace time?

Biology Letters 18: 20210666 (2022)

doi: 10.1098/rsbl.2021.0666

Abbildung

Blüthgen N.

Schematische Darstellung von zwei Trends der Abundanz von Insekten an zwei unterschiedlichen Standorten. Prinzipiell können räumliche Umweltvariationen (über Standorte hinweg) dabei helfen, die Ursachen für den zeitlichen Rückgang zu verstehen. Räumliche Vergleiche während eines einzigen Jahres ( $t_1$ ) liefern bereits wertvolle Informationen über die Ursachen des Rückgangs. Die Hypothese ist, dass die Populationen im Laufe der Zeit (vor  $t_1$ ) kontinuierlich von dem Umweltgradienten beeinflusst wurden und somit entsprechend darauf reagiert haben.

## Die Anlockung des Mistkäfers *Anoplotrupes stercorosus* (Coleoptera: Geotrupidae) durch flüchtige Duftstoffe aus Wirbeltierkadavern

Bei der Zersetzung von Wirbeltierkadavern werden flüchtige organische Verbindungen freigesetzt, die Insekten und andere Aasfresser anlocken. Der Mistkäfer *Anoplotrupes stercorosus* ist die häufigste Mistkäferart, die auf Wirbeltierkadavern gefunden wurde. Das Ziel unserer Studie war es, flüchtige Schlüsselverbindungen zu identifizieren, die vom Aas abgegeben und von *A. stercorosus* verwendet werden, um diese wichtige Nahrungsquelle zu finden. Wir sammelten flüchtige Verbindungen von Kadavern und analysierten mit Hilfe von elektroantennographischen Untersuchungen, welche der Verbindungen *A. stercorosus* in der Phase nach der Verwesung mit seinen Antennen wahrnimmt.

Die Geruchsrezeptoren in den Fühlern von *A. stercorosus* reagierten auf 24 flüchtige Verbindungen, die von verwesenden Wirbeltierkadavern abgegeben wurden. In Verhaltensexperimenten mit synthetischen Mischungen von sechs dieser Verbindungen, die von den Käfern wahrgenommen werden, konnten wir die Käfer mit einer Mischung aus DMTS, 3-Octanon und Benzaldehyd anlocken. Das generalistische Fressverhalten von *A. stercorosus* könnte dazu führen, dass diese Art in den Wäldern der gemäßigten Zone Europas überdurchschnittlich häufig vorkommt. Dies hat möglicherweise große Auswirkungen auf die Ausbeutung und den schnellen Abbau zeitlich begrenzter Ressourcen wie Wirbeltierkadaver.



## Tiere

### Autor\*innen

Weithmann S., von Hoermann C., Schmitt T., Steiger S., **Ayasse M.**

### Erschienen als

The attraction of the dung beetle *Anoplotrupes stercorosus* (Coleoptera: Geotrupidae) to volatiles from vertebrate cadavers. *Insects* 11: 476 (2020)

doi: 10.3390/insects11080476

### Foto

Weithmann S.

*Anoplotrupes stercorosus* auf Wirbeltierkadaver.

## Waldhabitat-Parameter beeinflussen die Häufigkeit und die Diversität von Kadaver besuchenden Mistkäfern in Mitteleuropa

Dungkäfer haben eine wichtige Funktion als Zersetzer von Kot und Aas. In vielen Untersuchungen dienen sie als Modellorganismen für verhaltens-, evolutionsbiologische und ökologische Studien. Als Konsumenten großer Wirbeltierkadaver fanden Dungkäfer jedoch bisher wenig Beachtung. Im Rahmen der vorliegenden Studie fingen wir kot- und kadaverfressende Dungkäfer an Ferkelkadavern auf 61 Waldplots, die sich auf die drei Gebiete der Biodiversitäts-Exploratorien verteilten. Wir untersuchten die Auswirkung der Waldbewirtschaftung, des Bodens, der Gefäßpflanzendiversität und klimatischer Bedingungen auf das Vorkommen kadaverbesuchender Dungkäfer.

In allen drei Exploratorien wurden verschiedene Dungkäferarten zahlreich von den Kadavern angelockt. Die Häufigkeit und die Zusammensetzung der Arten wurde dabei von Umgebungstemperaturen und auch dem Feinsandgehalt der Böden positiv beeinflusst. Zusätzlich wirkten sich ein höherer prozentualer Anteil an Forstunterwuchs und eine höhere Gefäßpflanzendiversität positiv auf den Artenreichtum und die Diversität der Dungkäfer aus. Daher fanden wir im Falle einer artenreichen Unterwuchsvegetation sogar in warmen und trockenen Monokulturen für Schnitt- und Bauholz eine florierende Dungkäferpopulation vor.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass durch eine Forstnutzung, die den Erhalt eines vielfältigen Unterwuchses berücksichtigt, stabile Populationen von Dungkäfern und damit ihre wertvollen Beiträge zum Stoffkreislauf im Forstökosystem gewährleistet werden können.

## Tiere



### Autor\*innen

von Hoermann C., Weithmann S., Deißler M., Ayasse M., Steiger S.

### Erschienen als

Forest habitat parameters influence abundance and diversity of cadaver-visiting dung beetles in Central Europe.

Royal Society Open Science 7: 191722 (2020)

doi: 10.1098/rsos.191722

### Foto

Hoermann C.

*Anoplotrupes stercorosus* am Ferkelkadaver, 6 Tage nach der Auslegung.

## Zeitliche Variabilität der Gemeinschaft von Kurzflüglern auf Aas von kleinen Wirbeltieren und ihre mögliche Verwendung für die forensische Entomologie

Kurzflügler (Staphylinidae), eine Käferfamilie, sind wichtige Besiedler von Wirbeltierkadavern. In einer vorherigen Studie haben wir Aas-assoziierte Kurzflüglergemeinschaften in verschiedenen Wäldern untersucht und gezeigt, dass die Untersuchungsregionen die Haupttreiber des lokalen Artenpools sind und einen Einfluss darauf haben, welche Art einen Kadaver besiedeln kann. Es ist jedoch wenig bekannt über die zeitliche Variation in der Zusammensetzung der Käfergemeinschaften während des Zersetzungsprozesses.

Ziel unserer Studie war es, die zeitlichen Veränderungen der Zusammensetzung der Kurzflüglernerarten zu analysieren und neue potenziell nützliche Indikatorarten für forensisch-entomologische Untersuchungen zu identifizieren.

Wir identifizierten 80 Arten, die von 60 Ferkelkadavern in verschiedenen Waldbeständen in Deutschland angelockt wurden. Sowohl die Abundanz als auch die Zusammensetzung der Gemeinschaften veränderten sich im Verlauf des Zersetzungsprozesses, unabhängig von der artspezifischen geografischen Variation zwischen den Untersuchungsregionen. In der Region Schorfheide-Chorin erwiesen sich Arten der Gattung *Philonthus* als geeignete Gruppe für zukünftige forensisch-entomologische Untersuchungen. Sie traten bei Ferkelkadavern im aufgeblähten bis zum fortgeschrittenen Verwesungsstadium in auffallend hoher Zahl auf. Für das Untersuchungsgebiet Schwäbische Alb beschreiben wir die Art *Omalium septentrionis* als neuen Vertreter der Aas-assoziierten Kurzflüglerfauna.

Basierend auf der geografischen Variation in der Zusammensetzung der Kurzflüglergemeinschaft haben wir mehrere Arten herausgefiltert, die zu Fortschritten bei der Schätzung von postmortalen Intervallen in der forensischen Entomologie beitragen könnten.

## Tiere



### Autor\*innen

**Weithmann S.**, von Hoermann C., Degasperi G., Brandt K., Steiger S., **Ayasse M.**

### Erschienen als

Temporal variability of the rove beetle (*Colleoptera: Staphylinidae*) community on small vertebrate carrion and its potential use for forensic entomology.

Forensic Science International 323: 110792 (2021)

doi: 10.1016/j.forsciint.2021.110792

### Foto

Weithmann S.  
Ferkelkadaver mit Kurzflüglern.

## Verbindung zwischen Bakterien, flüchtigen Stoffen und Insekten auf Aas: die Rolle zeitlicher und räumlicher Faktoren, die die Kommunikation zwischen den Organismen über flüchtige Stoffe steuern

Die komplexen biotischen Gemeinschaften auf Wirbeltieraas und die chemisch vermittelte Kommunikation zwischen zersetzenden Bakterien und besiedelnden Insekten haben in letzter Zeit in der Kadaverforschung zunehmende Aufmerksamkeit erfahren. Die Stärke dieser Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Organismen und die zeitlichen und räumlichen Faktoren, die sie regulieren, sind jedoch kaum untersucht. Anhand von 75 Ferkelkadavern haben wir in drei Waldregionen der Biodiversitäts-Exploratorien die Beziehung zwischen Bakterien, flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) und Aas fressenden Fliegen in den ersten vier Tagen der Zersetzung untersucht. Uns interessierte wie die zeitlichen und räumlichen Faktoren diese wechselseitige Beziehung zwischen den Organismengruppen regulieren.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Bakteriengemeinschaften während des Zersetzungsprozesses veränderten. Diese Veränderung wurde sowohl von der Zeit als auch von der Art der Waldbewirtschaftung beeinflusst, nicht jedoch von den geografisch getrennten Untersuchungsgebieten. In ähnlicher Weise war die VOC-Emission bei Ferkelkadavern über den Temperatur-Zeit-Index und den Waldbewirtschaftungsgradienten hinweg dynamisch, unterschied sich jedoch auch nicht zwischen den Regionen. Das Vorkommen von Fliegen auf Ferkelkadavern war hingegen sowohl räumlich als auch zeitlich dynamisch. Insgesamt fanden wir eine starke wechselseitige Beziehung zwischen den Bakteriengemeinschaften, den emittierten VOC-Profilen und den angelockten Aas-assozierten Fliegen-gemeinschaften. Diese Beziehung wurde hauptsächlich durch den Temperatur-Zeit-Index und die Untersuchungsregionen reguliert. Darüber hinaus war die Beziehung zwischen den Akteuren stabil, selbst über einen Gradienten der Waldbewirtschaftungsintensität hinweg.

## Tiere

Durch die Kombination von traditionell getrennt untersuchten Akteuren haben wir unser Wissen über die ganzheitlichen Mechanismen, die die Dynamik der beteiligten Artengemeinschaften während der Zersetzung von Wirbeltieren regulieren, erweitert. Diese Mechanismen und Wechselwirkungen haben eine kaskadierende Bedeutung für die Erklärung unterschiedlich schneller Zersetzungsraten, den Dynamiken von Nahrungsnetzen und ganzer Ökosystemfunktionen.



### Autor\*innen

von Hoermann C., Weithmann S., Sikorski J., Nevo O., Szpila K., Grzywacz A., Grunwald J.-E., Reckel F., Overmann J., Steiger S., **Ayasse M.**

### Erschienen als

Linking bacteria, volatiles and insects on carrion: the role of temporal and spatial factors regulating inter-kingdom communication via volatiles.  
The Royal Society Open Science 9: 220555 (2022)

doi: 10.1098/rsos.220555

### Abbildung

Weithmann S.  
Wechselbeziehungen zwischen Bakterien, VOCs und Fliegen.

## Wasserlebende Tiere in Baumhöhlen und der Einfluss der Waldbewirtschaftung auf ihre Gemeinschaften

Auch in trockenen europäischen Wäldern kann man wasserlebende Tiere finden. Sie kommen in speziellen Kleinstlebensräumen vor, zum Beispiel in wassergefüllten Baumhöhlen. Dort finden sie geschützte Bedingungen und können sich entwickeln. Die meisten dieser Arten sind Insektenlarven, die in diesen Wasserlebensräumen nur ihre Jugend verbringen und danach ausfliegen. Es sind jedoch auch Fadenwürmer (Nematoden) und Bakterien zu finden. Bis jetzt ist wenig über diese baumhöhlenbewohnenden Arten bekannt.

Die Fragestellung in unserem Projekt war, ob Waldbewirtschaftung und andere Umweltparameter die wasserlebenden Arten in Baumhöhlen beeinflussen. Dazu haben wir alle wassergefüllten Baumhöhlen in 75 Waldplots mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität in den drei Biodiversitäts-Exploratorien kartiert. Außerdem haben wir Umweltparameter und klimatische Bedingungen in den Baumhöhlen gemessen, Insektengemeinschaften aus 123 wassergefüllten Baumhöhlen analysiert sowie Nematoden und Bakterien aus einer kleineren Anzahl.

Insgesamt fanden wir 1.034 wassergefüllte Baumhöhlen in unserer Studie, also im Durchschnitt 14 pro Hektar, allerdings mit großer Variabilität zwischen den Waldbeständen: Manche Plots wiesen gar keine wassergefüllten Baumhöhlen auf, manche hingegen 45 Stück pro Hektar!

Unsere Ergebnisse bezüglich der Insekten zeigen, dass die Holzernemenge und der Anteil nicht-einheimischer Baumarten die Häufigkeiten der Bewohner von wassergefüllten Baumhöhlen negativ beeinflussen, aber auch positive Effekte auf deren Artenzahl haben können. Ein Strukturgleichungsmodell weist darauf hin, dass negative Auswirkungen häufig indirekt über geänderte Umwelt-

parameter in den Wäldern wirken. Auch die funktionale Diversität der Insekten in Baumhöhlen wurde durch die Waldbewirtschaftung beeinflusst. Im Gegensatz zu den Insekten reagierten Nematoden und Bakterien in den wassergefüllten Baumhöhlen nicht direkt auf die Waldbewirtschaftung, sondern nur auf andere Parameter.

Die vielen indirekten Effekte in unserer Studie zeigen, dass ökologische Gemeinschaften in Wäldern komplex sind und diese Komplexität bei der Waldbewirtschaftung Beachtung finden sollte. Diese Erkenntnis könnte sich zum Beispiel in einer schonenden Bewirtschaftungsweise niederschlagen, die auch spezielle und unbekanntere Lebensräume wie wassergefüllte Baumhöhlen berücksichtigt.



## Tiere

### Autor\*innen

**Petermann J. S.**, Roberts A. L., Hemmerling C., Bajerski F., Pascual J., Overmann J., Weisser W. W., Ruess L., Gossner M. M.

### Erschienen als

Direct and indirect effects of forest management on tree-hole inhabiting aquatic organisms and their functional traits.

Science of The Total Environment 704: 135418 (2020)

doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135418

### Fotos

Petermann J. S.

Links: Wassergefüllte Baumhöhle, rechts: Larve von *Aedes geniculatus*, eine baumhöhlenbewohnende Mückenart.

## Nutzung von wassergefüllten Baumhöhlen durch Wirbeltiere in gemäßigten Wäldern

Wassergefüllte Baumhöhlen (WHs), auch als *Dendrotelmata* bezeichnet, entstehen, wenn sich Wasser in Hohlräumen, die mit der Baumarchitektur verbunden sind, oder in morschen Baumteilen ansammelt. Diese Strukturen können in Waldökosystemen mehr oder weniger häufig vorkommen und stellen wichtige Mikrohabitate im Lebenszyklus verschiedener Tierarten dar. WHs dienen als temporäre Mikrohabitate während feuchter Perioden und können, abhängig von ihrer Exposition und Größe, Wasser sogar während Trockenzeiten halten.

Die Forschung über die Nutzung von WHs durch Organismen konzentriert sich hauptsächlich auf wirbellose Tiere, die sich darin entwickeln, während Wirbeltiere nur selten untersucht wurden. Eine Literaturrecherche über die Nutzung dieser Kleinstgewässer durch Wirbeltiere ergab, dass das Hauptaugenmerk auf Wirbeltiere in tropischen und subtropischen Systemen liegt, und zwar insbesondere auf Gruppen mit aquatischen Lebensstadien wie Amphibien.

Um die Wissenslücke über die Nutzung von WHs durch Wirbeltiere in Wäldern der gemäßigten Breiten zu schließen, führten wir eine Kamerastudie in drei Regionen Deutschlands (den Biodiversitäts-Exploratorien) durch. Wir identifizierten insgesamt 28 Wirbeltierarten, darunter elf Säugetier-, 17 Vogel- und eine Amphibienart, die WHs nutzen. Die aufgezeichneten Videoaufnahmen zeigten, dass Wirbeltiere die WHs hauptsächlich zur Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme nutzen.

Angesichts der zu erwartenden Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Trockenperioden in Mitteleuropa können die WHs zu gesunden Waldökosystemen beitragen, indem sie auch bei harschen Bedingungen Ressourcen für Wildtiere bereitstellen. Verlässliche

## Tiere

und aktuelle Daten über die Bedeutung dieser Wasserreservoirs für Wirbeltiere sind erforderlich, um Waldbewirtschafter\*innen und Interessenvertreter\*innen dazu zu bewegen, den Erhalt dieser Mikrohabitate zu fördern.



### Autor\*innen

Kirsch J.-J., Sermon J., Jonker M., Asbeck T., **Gossner M. M.**, Petermann J. S., Basile M.

### Erschienen als

The use of water-filled tree holes by vertebrates in temperate forests.  
Wildlife Biology 1: wlb.00786 (2021)

doi: 10.2981/wlb.00786

### Fotos

mit Adobe Photoshop-KI erstellt, Uhl H.  
Viele Wirbeltiere besuchen wassergefüllte Baumhöhlen, um dort zu trinken, zu fressen oder ein Bad zu nehmen. Die Sinnbilder zeigen Rotkehlchen, die in einer Baumhöhle baden.

## Die Bedeutung von wurzelbasierten Nährstoffen im Boden für wirbellose Waldbodenbewohner – eine Frage der Körpergröße

Wurzelbasierte Nährstoffe spielen für die Nahrungsnetze des Waldbodens eine große Rolle. Bisher ist jedoch nur wenig darüber bekannt, welche Folgen eine Unterbrechung des Stoffflusses von den Wurzeln in das Nahrungsnetz des Bodens für Bodentiere hat. Wir untersuchten die Bedeutung der wurzelbasierten Stoffe für eine große Zahl von Bodentieren, indem wir den Stofffluss in den Boden verschiedener Waldtypen unterbrachen. Wir erfassten das Vorkommen von Bodentieren unterschiedlicher Körpergröße ein und drei Jahre nach dem Wurzelausschluss. Wir beobachteten Veränderungen der Biomasse, der Artenzusammensetzung und der Nahrungsmuster mit Hilfe von stabilen Isotopen und Analysen von Fettsäuren der Tiere.

Von den untersuchten Bodentieren kleiner Körpergröße (Mikrofauna) nahm nur das Vorkommen der pflanzenfressenden Fadenwürmer um 58% ab. Die wichtigsten Gruppen mittlerer Bodentiere (Mesofauna), darunter Springschwänze und Hornmilben, wurden ähnlich negativ beeinflusst. Durch Wurzelausschluss nahm ihr Vorkommen und ihre Biomasse um 30-40% ab. Größere Bodentiere (Makrofauna) – darunter Doppelfüßler, Asseln, Hundertfüßler, Webspinnen und Käfer – waren nur wenig durch den Wurzelausschluss betroffen. Sie scheinen weniger auf Nährstoffflüsse aus den Wurzeln angewiesen zu sein als die Mikro- und insbesondere die Mesofauna. Die Gemeinschaftsstruktur aller Gruppen wurde durch Wurzelausschluss generell nicht beeinflusst. Außerdem wurden nur bei zwei der zehn untersuchten Arten geringfügige Verschiebungen der Nahrungsnetze beobachtet.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Bodentiergemeinschaften ausgesprochen widerstandsfähig gegenüber dem Entzug von aus Wurzeln stammenden Stoffen sind. Diese Widerstandsfähigkeit

## Tiere

variiert jedoch mit der Körpergröße. Die Mesofauna, zu der sowohl Zersetzer als auch Räuber gehören, reagieren deutlich empfindlicher auf den Entzug von wurzelbasierten Stoffen als die Mikro- und Makrofauna.

Wir schlussfolgern, dass die Energieverteilung in Nahrungsnetzen des Bodens von der Körpergröße abhängt. Dabei fließen wurzelbasierte Stoffe in Wäldern der gemäßigten Breiten vorwiegend über die Mesofauna in das Bodennahrungsnetz.



### Autor\*innen

**Bluhm S. L.**, Eitzinger B., Bluhm C., Ferlian O., Heidemann K., Ciobanu M., Maraun M., Scheu S.

### Erschienen als

The impact of root-derived resources on forest soil invertebrates depends on body size and trophic position.

Frontiers in Forests and Global Change 4: 622370 (2021)

doi: 10.3389/ffgc.2021.622370

### Fotos

Bluhm S. L.

Bodenmeso- und Makrofauna: Springschwanz, Zwergassel, Erdläufer, Regenwurm mit Hornmilbe und Schnurfüßer.

Fotos mit Adobe Photoshop-KI erweitert.

## Zersetzer-Mikroarthropoden im Boden ernähren sich hauptsächlich von saprotrophen Pilzen: Eine Analyse mithilfe stabiler Isotope von Aminosäuren

Im Boden lebende Mikroarthropoden (sehr kleine Gliederfüßer) sind essentiell für Nährstoffkreisläufe in Waldökosystemen, da sie eine zentrale Rolle im Zersetzer-Nahrungsnetz einnehmen. Sie geben Kohlenstoff und Nährstoffe aus Blattstreu und Wurzeln weiter an höhere trophische Ebenen. Allerdings ist die relative Bedeutung verschiedener Kanäle für diese Stoffflüsse und ihre Unterschiede in verschiedenen Waldtypen weitgehend unbekannt. Ektomykorrhiza-Pilze könnten dabei eine wichtige Rolle spielen, allerdings gibt es bisher keine Methoden, die den relativen Beitrag von saprotrophen und Ektomykorrhiza-Pilzen für die Ernährung von Bodentieren trennen können.

Wir nutzten die duale Analyse von stabilen Isotope ( $^{15}\text{N}$  und  $^{13}\text{C}$ ) in Aminosäuren, um die trophische Position und Grundressource von zwei wichtigen Gruppen von Bodenmikroarthropoden, Collembolen (Springschwänze) und Oribatiden (Hornmilben), in Buchen- und Nadelwäldern in Deutschland zu bestimmen. Mit Hilfe eines „ $^{13}\text{C}$ -Fingerabdrucks“ und statistischen Methoden unterschieden wir in einem ersten Schritt den relativen Beitrag von Bakterien, Pilzen und Pflanzen zur Ernährung der Bodenmikroarthropoden. Da Pilze als die hauptsächlichste Nahrungsquelle identifiziert wurden, versuchten wir in einem zweiten Schritt den relativen Beitrag von saprotrophen und Ektomykorrhiza-Pilzen zu trennen.

Unsere Ergebnisse geben zum ersten Mal direkte Hinweise darauf, dass Bodenmikroarthropoden hauptsächlich saprotrophe Pilze fressen, während Ektomykorrhizapilze nur von wenigen Arten konsumiert werden. Die trophischen Nischen von Springschwänzen und Hornmilben unterschieden sich generell wenig zwischen Buchen- und Nadelwäldern, allerdings war Pflanzendetritus als Nahrungsbestandteil etwas wichtiger in Buchenwäldern, während in

## Tiere

Nadelwäldern mikrobielle Ressourcen dominierten. Insgesamt erlaubte die duale Analyse von Kohlenstoff ( $^{13}\text{C}$ ) und Stickstoff ( $^{15}\text{N}$ ) in Aminosäuren detaillierte Einblicke in die Nahrungsnetzstruktur von Bodenmikroarthropoden und ermöglichte erstmals, den relativen Beitrag von saprotrophen und Ektomykorrhiza-Pilzen für die Ernährung von Bodentieren zu trennen, was in der Bodentierökologie ein lange bestehendes Rätsel war. Die Methode eröffnet die Perspektive für ein umfangreiches Verständnis der trophischen Struktur und der Energieflüsse in Nahrungsnetzen von Bodentieren.



### Autor\*innen

**Pollierer M. M.**, Scheu S.

### Erschienen als

Stable isotopes of amino acids indicate that soil decomposer microarthropods predominantly feed on saprotrophic fungi.  
Ecosphere 12: e03425 (2021)

doi: 10.1002/ecs2.3425

### Fotos

Bluhm S. L.

Zwei verbreitete bodenlebende Zersetzer-Mikroarthropoden: die Oribatide (Hornmilbe) *Damaeus* sp. (links) und der Collembola (Springschwanz) *Pogonognathellus* sp. (rechts).  
Foto mit Adobe Photoshop-KI erweitert.

## Bodentiere und ihre Nahrungsnetze sind widerstandsfähig gegenüber Veränderungen durch Waldnutzung

Der Waldboden und seine Streuschicht werden von einer diversen Gemeinschaft aus Bodentieren bewohnt, die alle direkt oder indirekt auf totes organisches Material angewiesen sind, sowohl als Habitat als auch als Nahrungsquelle. Es ist jedoch unklar, wie sich Waldnutzung und die damit einhergehende Änderung des Lebensraumes und der Nahrungsressourcen auf Bodentier-Gemeinschaften auswirken und welche Faktoren dabei eine wichtige Rolle spielen.

Um die Auswirkungen der Waldnutzung auf Bodentiere zu untersuchen, sammelten wir umfangreiche Daten zu deren Artenzusammensetzung und zu Umweltfaktoren in unterschiedlich genutzten Waldtypen in drei Regionen Deutschlands: in Nadelwäldern sowie in jungen, alten und unbewirtschafteten Buchenwäldern. Dabei unterschieden sich insbesondere Nadelwälder durch eine höhere Menge an Blattstreu und eine geringere mikrobielle Biomasse von unbewirtschafteten Buchenwäldern. Die Diversität und funktionelle Zusammensetzung der Bodentier-Gemeinschaften hingegen wiesen nur geringfügige Unterschiede zwischen den Waldtypen auf, was auf Resilienz gegenüber Störungen durch Waldbewirtschaftung hinweist.

Während die Waldnutzung zwar die Verfügbarkeit und Qualität von Ressourcen signifikant beeinflusste, blieb die Biomasse der Bodentiere davon relativ unberührt. Möglicherweise werden Nährstoffe schnell von Mikroorganismen genutzt und somit deren Weitergabe an höhere trophische Ebenen verhindert. Die Biomasse der Bodentiere hing stattdessen stark vom pH-Wert des Bodens ab. Makrofauna-Zersetzer profitierten von hohem pH, während die Biomasse von Mesofauna-Zersetzern bei niedrigem pH, aber auch bei niedriger Biomasse von Makrofauna-Zersetzern höher war. Der negative

## Tiere

Effekt der Makrofauna- auf die Mesofauna-Zersetzer lässt sich wahrscheinlich durch die Änderung der Habitat-Struktur durch die Aktivität der Makrofauna erklären.

Der starke Einfluss des pH-Wertes zeigt, dass Zersetzer-Gemeinschaften vor allem durch regionale, abiotische Faktoren strukturiert werden, während lokale biotische Faktoren, wie zum Beispiel unterschiedliche Waldnutzung, eine geringere Rolle spielen.



### Autor\*innen

**Pollierer M. M.**, Klarner B., Ott D., Digel C., Ehnes R. B., Eitzinger B., Erdmann G., Brose U., Maraun M., Scheu S.

### Erschienen als

Diversity and functional structure of soil animal communities suggest soil animal food webs to be buffered against changes in forest land use.

Oecologia 196: 195–209 (2021)

doi: 10.1007/s00442-021-04910-1

### Foto

Bluhm S. L.

Zusammengerollter Tausendfüßer (Diplopoda, *Ommatoiulus sabulosus*), ein Vertreter der Makrofauna-Zersetzer.

## Der Einfluss wurzelbasierter Energieversorgung und vertikaler Ressourcenheterogenität auf die Nahrungsbeziehungen von Springschwanz-Gemeinschaften

Nahrungsnetze im Boden werden entweder durch totes organisches Material wie Laubstreu oder durch Wurzelausscheidungen lebender Pflanzen gespeist. Es ist jedoch nur unzureichend erforscht, wie sich letztere wurzelbasierte Energiezufuhr und vertikale Heterogenität in Böden gemäßiger Wälder auf Nahrungsbeziehungen im Boden auswirken. Diese Studie analysierte die Ernährung und die damit verbundene ökologische Nische von Springschwänzen. Diese weisen aufgrund ihrer Lebensweise in verschiedenen Bodentiefen Unterschiede in ihrer Körperform auf und können so in verschiedene ökologische Gruppen eingeteilt werden. Mithilfe der Isotopenanalyse von Kohlenstoff und Stickstoff in Aminosäuren wurde die Ernährungsweise dieser ökologischen Gruppen untersucht und wie sich diese ändert, wenn durch den experimentellen Ausschluss von Wurzeln die wurzelbasierte Energieversorgung unterbrochen wird.

Springschwänze aus tieferen Bodenschichten hatten zumeist eine höhere Ebene im Nahrungsnetz inne als die ökologischen Gruppen der oberen Streu- und Bodenschichten, was auf längere Nahrungsketten im Boden im Vergleich zur Streuschicht hindeutet. Wir fanden zudem zum ersten Mal Belege dafür, dass der Entzug der wurzelbasierten Energieversorgung die Position von Springschwänzen im Nahrungsnetz herabsetzen kann. Dies bedeutet, dass die wurzelbasierte Energiezufuhr die Länge der Nahrungsketten im Boden beeinflusst, was mit der Hypothese übereinstimmt, dass die Produktivität eines Ökosystems und die damit verbundene Menge der vorhandenen Nahrungsressourcen über die Länge der Nahrungsketten entscheidet. Allerdings hängt dieser Zusammenhang vermutlich stark von der vertikalen Ressourcenheterogenität, den regionalen Bedingungen und den Ernährungsstrategien der Konsumenten ab.

## Tiere

Schließlich stimmen unsere Ergebnisse mit neueren Studien überein, die darauf hindeuten, dass saprotrophe Mikroorganismen (Organismen, die totes organisches Material zersetzen), insbesondere saprotrophe Pilze, die Hauptnahrungsressource für Springschwänze darstellen, während der Beitrag von Mykorrhiza-Pilzen und Pflanzen eher untergeordnet ist. Insgesamt liefert unsere Studie durch die Verwendung von Aminosäure-Analysen neue Informationen über die Ernährung von Mikroarthropoden in Waldböden und erweitert unser Verständnis der Einflüsse vertikaler Ressourcenheterogenität und wurzelbasierter Energieversorgung auf Nahrungsbeziehungen im Boden.



### Autor\*innen

Li Z., Bluhm S. L., Scheu S., **Pollierer M. M.**

### Erschienen als

Amino acid isotopes in functional assemblages of Collembola reveal the influence of vertical resource heterogeneity and root energy supply on trophic interactions in soil food webs.

Soil Biology and Biochemistry 174: 108815 (2022)

doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108815

### Foto

Bluhm S. L.

Ein Springschwanz aus der Familie der Kugelspringer (Sminthuridae), die hauptsächlich in der Blattstreu leben.

## Der Einfluss von Landnutzung auf sexuelle und parthenogenetische Hornmilben-Gemeinschaften in Wäldern und Grünland

Intensive Landnutzung verändert nachweislich die Zusammensetzung und Funktionsweise von Tiergemeinschaften im Boden, zu denen neben Springschwänzen und Regenwürmern auch Hornmilben gehören. Aufgrund ihrer geringen Ausbreitungsfähigkeit reagieren Hornmilben – auch Moosmilben genannt – besonders empfindlich auf die Intensivierung der Landnutzung. Arten, die sich nicht an bewirtschaftungsbedingte Störungen anpassen können, werden daher zunehmend seltener.

Wir haben untersucht, wie sich verschiedene Landnutzungsparameter in Wäldern und Grünland auf die Vielfalt und Häufigkeit von Hornmilben auswirken, wobei der Schwerpunkt auf zwei Aspekten lag. (1) Welche Arten gewinnen bei höherer Landnutzungsintensität und welche Arten verlieren? (2) Welchen Einfluss spielt der Fortpflanzungsmodus, also reagieren sexuelle und parthenogenetische (= asexuelle Vermehrung) Arten unterschiedlich?

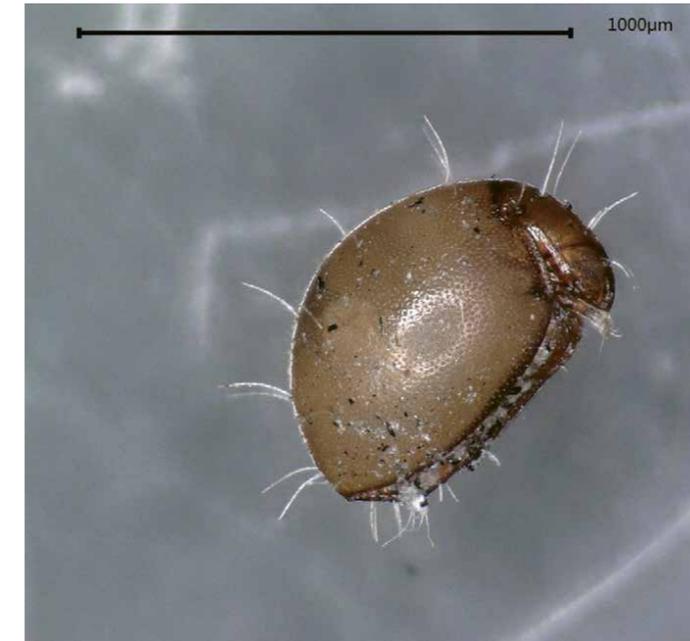
Für die Untersuchung wurden in der Schorfheide-Chorin und der Schwäbischen Alb Bodenproben mit einem Durchmesser von 5 cm und einer Tiefe von 3 cm entnommen. Alle Tiere darin wurden mittels einer Hitzeextraktion herausgeholt und die Hornmilben weiter untersucht. Insgesamt fanden wir 32.542 Hornmilbenindividuen.

Die Vielfalt und die Häufigkeit sowie der Anteil der sexuellen Arten waren in Wäldern im Vergleich zum Grünland höher. Die Artenvielfalt nahm in Wäldern mit zunehmender Nutzungsintensität ab, während sie im Grünland mit zunehmender Mahd und Düngung anstieg. Je nach Landnutzungsparameter und Region nahm die Häufigkeit mit zunehmender Nutzungsintensität entweder ab oder blieb unverändert. Bei sexuellen Arten fanden wir mehr Weibchen mit Eiern als bei parthenogenetischen Arten, und sexuelle Arten

## Tiere

hatten im Schnitt 1,6-mal mehr Eier pro schwangerem Weibchen. Der Anteil der sexuellen Arten und der schwangeren Weibchen nahm mit der Intensität der Landnutzung in Wäldern ab, stieg jedoch mit der Mahd im Grünland.

Auf Artenebene waren 75 % der sexuellen Arten und 87,5 % der parthenogenetischen Arten als „Verlierer“ zu betrachten, insbesondere aufgrund des hohen Anteils an Totholz durch Holzeinschlag. Im Gegensatz dazu waren sexuelle Arten unter den „Gewinnern“ häufiger vertreten.



### Autor\*innen

Wehner K., Schuster R., Simons N. K., Norton R. A., Blüthgen N., Heethoff M., (Abstract bearbeitet von **Staab M.**)

### Erschienen als

How land-use intensity affects sexual and parthenogenetic oribatid mites in temperate forests and grasslands in Germany. *Experimental and Applied Acarology* 83: 343–373 (2021)

doi: 10.1007/s10493-020-00586-z

### Foto

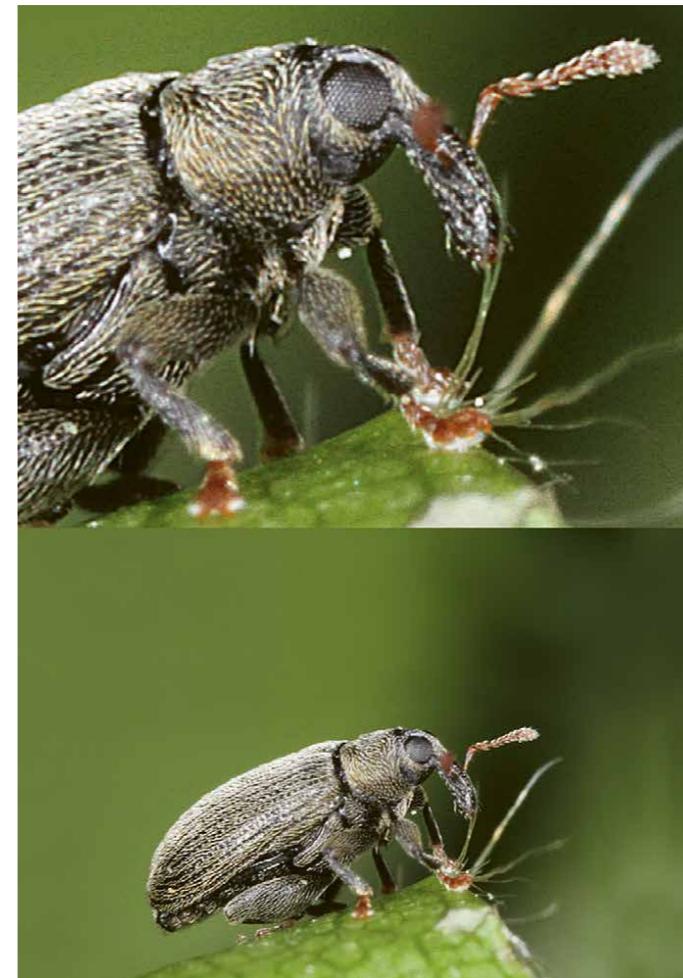
Wehner K.  
Eine Hornmilbe der Gattung Euphthiracarus.

## Insektenherbivorie begünstigt die Etablierung eines invasiven Pflanzen- pathogens

Pflanzen können von Insektenherbivoren und phytopathogenen Pilzen stark geschädigt werden, aber die Wechselwirkungen zwischen diesen Pflanzenantagonisten sind nur wenig bekannt.

Wir analysierten den Einfluss von Fraßschäden durch den häufig vorkommenden Buchenspringrüssler *Orchestes fagi* auf die Infektionsraten von Buchenblättern (*Fagus sylvatica*) mit *Petrakia liobae*, einem invasiven pflanzenpathogenen Pilz. Der Pilz wurde in überwinternden Käfern nicht nachgewiesen, was darauf hindeutet, dass *O. fagi* nicht als Vektor für *P. liobae* dient, zumindest nicht zwischen den Wachstumsperioden. Die Abundanz des Pilzes in Buchenblättern nahm mit dem Fraßschaden des Käfers zu und diese Beziehung war bei sonnenexponierten Blättern stärker als bei beschatteten. Ein Laborexperiment zeigte, dass sonnenexponierte Blätter dickere Zellwände haben und resistenter gegen eine Pathogeninfektion sind als beschattete Blätter. Mechanische Schäden erhöhten die Häufigkeit und Größe von Nekrosen in Sonnenblättern signifikant, aber nicht in Schattenblättern. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Fraßschäden von adulten Käfern durch die Beseitigung physikalischer Barrieren Eintrittspforten für die Pilzbesiedlung schaffen und damit den Infektionserfolg durch pathogene Pilze fördern. Die Fraßaktivität der Larven bietet wahrscheinlich zusätzliche Nährstoffquellen oder erleichtert dem nekrotrophen Pilz den Zugang zu Substraten.

Unsere Studie zeigt beispielhaft, dass invasive Krankheitserreger von der Herbivorenaktivität profitieren können, was angesichts des Klimawandels eine Herausforderung für die Waldgesundheit darstellen könnte.



## Tiere

### Autor\*innen

**Gossner M. M.**, Beenken L., Arend K., Begerow D., Peršoh D.

### Erschienen als

Insect herbivory facilitates the establishment of an invasive plant pathogen.  
ISME Communications 1 (2021)

doi: 10.1038/s43705-021-00004-4

### Foto

Gossner M. M.

Der nur 2 bis 2,5 Millimeter grosse Buchenspringrüssler verursacht beim Reifungsfraß auffällige kleine runde Löcher in frisch entwickelten Buchenblättern im Frühjahr. Danach legen die Weibchen Eier an der Mittelrippe der Buchenblätter ab und die Larven fressen sich in Minen durch das Blattgewebe.

## Stabilere Insekten- gemeinschaften in Wiesen und Wäldern mit hoher Pflanzenvielfalt

Die intensive Landnutzung stellt eine große Bedrohung für die biologische Vielfalt dar, unter anderem für pflanzenfressende Insekten und ihre Wirtspflanzen. Dabei ist das Zusammenspiel zwischen Arten unterschiedlicher Organismengruppen letztlich entscheidend für die Stabilität eines Ökosystems. Hier wurden die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Insekten in den Wiesen und Wäldern der Biodiversitäts-Exploratorien untersucht.

Es zeigte sich, dass Pflanzen-Insekten-Netzwerke in wenig beweidetem Grünland aus mindestens 70 Pflanzenarten und 80 pflanzenfressenden Käfer-, Heuschrecken-, Wanzen- und Zikadenarten bestehen. So bietet beispielsweise die Wilde Möhre, eine typische Pflanze mäßig bewirtschafteter Weiden, zahlreichen spezialisierten Käferarten Nahrung. Auf häufig gemähten oder gedüngten Wiesen und Weiden konnten im Mittel nur 40 Pflanzen- und 60 bis 70 dieser Insektenarten nachgewiesen werden.

In seit kurzem unbewirtschafteten Wäldern mit dichtem Baumbewuchs ist die Biodiversität mit durchschnittlich 25 Pflanzen- und 30 pflanzenfressenden Insektenarten deutlich geringer als in lichten Wäldern. Jenen Insekten, die nur wenige Baum- oder Krautarten als Nahrung nutzen können, fehlt dort die Lebensgrundlage. Dringt hingegen viel Licht auf den Waldboden, so kommen dort bis zu 80 Pflanzen- und 50 Insektenarten der untersuchten Gruppen vor. Licht fördert also die Vielfalt an Pflanzen, welche wiederum mehr Insektenarten als Nahrungsgrundlage dienen. Gleichzeitig sind die Insektenarten weniger gefährdet, lokal auszusterben, das System ist somit stabiler. Ein Beispiel für die stabilisierende Wirkung lichtdurchfluteter Wälder ist die Brennnessel, die dort bevorzugt vorkommt und Nahrungsquelle für viele spezialisierte Schmetterlingsraupen, Rüsselkäfer, Zikaden und Wanzen ist.

## Tiere

Werden lichtere Wälder gefördert, erhöht sich nicht nur die Vielfalt an Bodenpflanzen, Sträuchern und Bäumen, sondern auch die von der Pflanzenvielfalt profitierenden Insektenarten. Förderlich sind auch Mischbestände aus verschiedenen Laub- und Nadelbäumen. Für das Grünland empfiehlt sich eine moderate Beweidung anstelle des intensiven Mähens, um vielfältige und stabile Insektengemeinschaften zu fördern.



### Autor\*innen

**Neff F.**, Brändle M., Ambarlı D., Ammer C., Bauhus J., Boch S., Hölzel N., Klaus V. H., Kleinebecker T., Prati D., Schall P., Schäfer D., Schulze E.-D., Seibold S., Simons N. K., Weisser W. W., Pellissier L., Gossner M. M.

### Erschienen als

Changes in plant-herbivore network structure and robustness along land-use intensity gradients in grasslands and forests. *Science Advances* 7: eabf3985. (2021)

doi: 10.1126/sciadv.abf3985

### Foto

Neff F.

Der Schwarze Stachelkäfer (*Hispa atra*) ist ein Blattkäfer, welcher bevorzugt an Gräsern frisst.

## Landschnecken mit engen Umweltansprüchen sind anfälliger für intensive Landnutzung

Die Art und Weise der Landnutzung hat einen entscheidenden Einfluss auf die biotische und abiotische Umwelt. Dadurch können sich Lebensgemeinschaften ändern, Arten neu hinzukommen oder aus einem Lebensraum verschwinden.

In unserer Studie haben wir untersucht, wie Landschneckengemeinschaften auf verschiedene Landnutzungs- und Bodenbedingungen (z. B. pH-Wert, Bodenfeuchtigkeit) reagieren. Wir haben dafür in drei Regionen – Schwäbische Alb, Hainich-Dün und Schorfheide-Chorin – Streuproben untersucht. In den Untersuchungsflächen wurden je fünfmal 20 cm x 20 cm Streu entnommen und alle Schneckengehäuse daraus gesammelt. Es wurden die Merkmale wie Schalengröße, Anzahl der Nachkommen oder Widerstandsfähigkeit gegen Austrocknung erfasst. Über die Auswertung der vorkommenden Arten, deren Häufigkeit und Merkmale konnten wir Rückschlüsse über die Reaktion der Arten auf die Landnutzung und damit deren Wirkung auf Schneckengemeinschaften gewinnen. Es war uns dadurch möglich, Arten aufgrund ihrer Reaktionen gegenüber Landnutzung in „Gewinner“ (Arten, die auf Flächen mit hoher Landnutzungsintensität häufiger vorkamen als erwartet) oder „Verlierer“ (häufiger auf Flächen mit niedriger Landnutzungsintensität) einzuteilen. Mithilfe der gesammelten Merkmals- und Standortinformationen konnten wir die Breite der Umweltansprüche der Schneckenarten bestimmen und diese mit ihrer Gefährdungseinstufung in der Roten Liste zum Schutzstatus vergleichen.

Unsere Ergebnisse bestätigten, dass die Landnutzung und abiotische Bedingungen Schneckengemeinschaften und Merkmalszusammensetzungen beeinflussen. Wir konnten zeigen, dass dies in den untersuchten Lebensräumen Wald und Grünland verschieden ist. Während nur 4 % der in Wäldern vorkommenden Arten als

## Tiere

„Verlierer“ einer Waldbewirtschaftung betrachtet wurden, war der Anteil der „Verlierer“ im Grünland mit 21 % deutlich höher. Des Weiteren konnten wir in unseren Untersuchungen nachweisen, dass die Anfälligkeit einer Art von ihrer Seltenheit und der Breite ihrer Umweltansprüche abhängt: Bedrohte Arten waren seltener und wiesen eng begrenzte Umweltansprüche auf, was durch Landnutzung und abiotische Faktoren erklärt werden konnte.

Es ist daher wichtig, verschiedene Faktoren zu betrachten, um zu verstehen, wie Schnecken sich an veränderte Umweltbedingungen anpassen können.



### Autor\*innen

Wehner K., Renker C., Simons N. K., Weisser W. W., Blüthgen N., (Abstract bearbeitet von **Staab M.**)

### Erschienen als

Narrow environmental niches predict land-use responses and vulnerability of land snail assemblages.  
BMC Ecology and Evolution 21: 15 (2021)

doi: 10.1186/s12862-020-01741-1

### Foto

Wehner K.  
Zwei Weinbergschnecken (*Helix pomatia*) an einem Baumstamm.

## Intensive Düngung reduziert langfristig die Biodiversität und kurzfristig die Aktivität der Bodentiere im Wirtschaftsgrünland

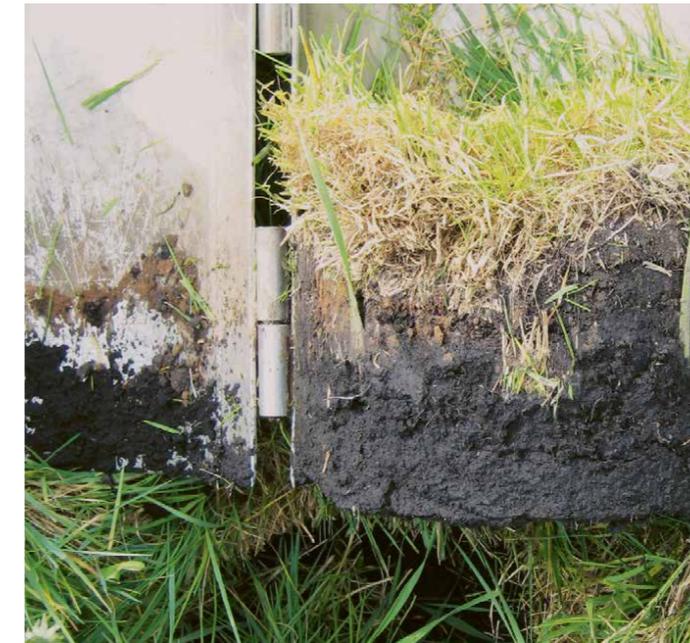
Vor dem Hintergrund des Artenrückgangs in Agrarlandschaften im Allgemeinen und insbesondere im Grünland ist es wichtig, die zugrundeliegenden Treiber zu verstehen. Als einer dieser Treiber ist die Stickstoffdüngung zu vermuten, die sich auch im Dauergrünland auf die Bodenfauna auswirkt, indem sie die Artenvielfalt und -zusammensetzung, die Populationsdynamik oder die Aktivität verändert. Es ist bisher unklar, ob sich Bodentiere an die Düngung anpassen können, sodass die unmittelbare Reaktion auf eine Düngung möglicherweise von zurückliegenden langjährigen Nährstoffmanagementpraktiken abhängt.

Die vorliegende Studie untersucht in einem Feldexperiment die kurzfristigen und direkten Auswirkungen der Nährstoffzufuhr mit einem organischen Pflanzendünger auf Bodenlebewesen entlang eines langjährigen Nährstoffgradienten. Dabei wurden die Jahreszeit der Probenahme, die Bodeneigenschaften, die Vegetationsstruktur und die geographische Lage der Probeflächen berücksichtigt.

Die Artenvielfalt und -zusammensetzung der funktionell wichtigen Milben und Nematoden (Fadenwürmer) sowie die Gesamtabundanz der Milben wurden durch das langjährige Nährstoffmanagement negativ beeinflusst, nicht jedoch durch die experimentelle Düngung. Allerdings reduzierte die experimentelle Düngung die Fraßaktivität der Tiere im Boden innerhalb weniger Tage, unabhängig vom langfristigen Nährstoffmanagement. Ursache hierfür könnte ein schneller Anstieg der mikrobiellen Biomasse in Folge der experimentellen Zugabe organischen Düngers sein, da Bakterien, neben abgestorbenem organischem Material, eine wichtige alternative Nahrungsquelle für viele Bodentiere darstellen. Es ist daher möglich, dass die experimentelle Düngung einen Wechsel von totem organischem Material zu mikrobieller Nahrung induziert hat.

## Tiere

Unsere Studie lässt vermuten, dass das langfristige Nährstoffmanagement zu Veränderungen und damit Anpassung der Bodenlebensgemeinschaften an regelmäßige Düngung im Dauergrünland führt und somit eine kurzfristige Veränderung der Gemeinschaftsstruktur ausbleibt. Im Gegensatz hierzu reagiert die Fraßaktivität der Bodenfauna schnell auf die Gabe von organischem Dünger. Die Ergebnisse zeigen, dass der Schutz von Biodiversität und wichtiger Ökosystemfunktionen im Grünland nur durch eine gemeinsame Betrachtung der kurz- und langfristigen Auswirkungen des Nährstoffmanagements auf die Bodenfauna erreicht werden kann.



### Autor\*innen

**Birkhofer K.**, Baulechner D., Diekötter T., Zaitsev A., Wolters V.

### Erschienen als

Fertilization rapidly alters the feeding activity of grassland soil mesofauna independent of management history.  
Frontier in Ecology and Evolution 10: 864470 (2022)

doi: 10.3389/fevo.2022.864470

### Foto

Birkhofer K.

Bodenkern mit einem Durchmesser von 20 cm zur Extraktion größerer Bodenlebewesen im Labor (bspw. Hundert- und Tausendfüßer).

## Durch Tiere vermittelte Ökosystemprozesse in Wäldern und Grünland werden durch klimatische Bedingungen und Landnutzungsintensität beeinflusst

Ökosysteme funktionieren durch eine Vielzahl von Prozessen, Stoffflüssen und Wechselwirkungen zwischen Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen. Hierzu zählen die Zersetzung organischen Materials, die Ausbreitung von Samen und Räuber-Beute-Interaktionen bzw. Kontrolle von Pflanzenfressern. Die starken Rückgänge und Verluste der Häufigkeit und Vielfalt der Tiere durch Landnutzung können zu einem Rückgang solcher Ökosystemprozesse führen.

In unserer Untersuchung haben wir vier Prozesse stellvertretend in den Wald- und Grünlandflächen quantifiziert und die Auswirkungen der Landnutzung und des Wetters verglichen. Unsere Studie umfasst die Abbaurate von Kuhdung (durch Dungkäfer und andere Organismen), die Erbeutung oder Ausbreitung von Samen durch verschiedene Tiergruppen, den Blattfraß durch Insekten und die experimentell nachgestellte Erbeutung von Insektenmodellen (Knetraupen). Sowohl beim Klima als auch bei der Landnutzung haben wir zwischen kurzfristigen Einflüssen während des Erhebungszeitraums und mittelfristigen Effekten der vorangegangenen Jahre unterschieden.

Wälder hatten meist höhere Prozessraten als Grünland. Im Grünland zeigten sich negative Effekte der Landnutzungsintensität, und die klimatischen Auswirkungen auf drei der Prozesse waren ähnlich deutlich oder stärker als die der Landnutzung. In Wäldern waren die Landnutzungseffekte bei drei Prozessen stärker ausgeprägt als die klimatischen Effekte. Relativ konsistente Trends gab es dabei bei den drei Prozessen Dungabbau, Samenausbreitung und Blattfraß, während die Erbeutung von Insektenmodellen z. T. gegenläufige Muster zeigte.

## Tiere

Die Auswirkungen der klimatischen Bedingungen und der Intensität der Landnutzung auf das Vorkommen und die Aktivität der Tierarten führen daher zu stark veränderten Ökosystemprozessen.



### Autor\*innen

Ambarli D., Simons N. K., Wehner K., Kämper W., Gossner M. M., Naus T., Neff F., Seibold S., Weisser W. W., **Blüthgen N.**

### Erschienen als

Animal-Mediated Ecosystem Process Rates in Forests and Grasslands are Affected by Climatic Conditions and Land-Use Intensity. *Ecosystems* 24: 467–483 (2021)

doi: 10.1007/s10021-020-00530-7

### Foto

Staab M.

Samen (Sonnenblumenkerne), Kuhdung und Knetraupen: Drei Messstationen für Ökosystemprozesse von Tieren, stellvertretend für Samenausbreitung, Dungabbau und Prädation.

## Ausbreitungsfähigkeit, trophische Position und Körpergröße vermitteln Prozesse des Artenwechsels: Einblicke aus einem Multi-Taxa- und Multi-Skalen-Ansatz

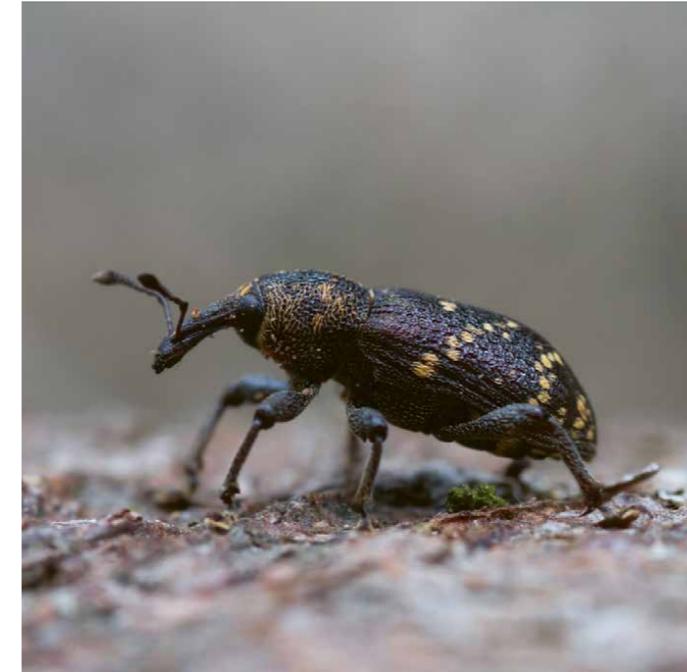
Artengemeinschaften können aufgrund biogeographischer Prozesse, räumlicher Distanz und der Filterwirkung lokaler Umweltbedingungen wie Pflanzenvielfalt und Waldstruktur variieren. Es ist jedoch nicht vollständig geklärt, inwieweit die relative Bedeutung dieser Prozesse, die zu Unterschieden in der Zusammensetzung lokaler Lebensgemeinschaften ( $\beta$ -Diversität) führen, zwischen Artengruppen mit unterschiedlichen ökologischen Eigenschaften variiert. Beispielsweise könnte die Pflanzendiversität besonders für pflanzenfressende Käfer eine wichtige Rolle spielen, während die Waldstruktur einen stärkeren Einfluss auf größere Tiergruppen wie insektenfressende Vögel und Fledermäuse hat.

Insgesamt wurden elf verschiedene Artengruppen auf zwei räumlichen Skalen untersucht. In der interregionalen (zwischen verschiedenen Regionen) Analyse wurde der Einfluss der Region, der Entfernung innerhalb der Region und der Umweltfaktoren auf die Vielfalt der Artengemeinschaften untersucht. Mehr als die Hälfte der Unterschiede in der  $\beta$ -Diversität, die durch die ausgewählten Variablen erklärt wurden, ergaben sich aus dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren, was auf eine räumlich strukturierte Umweltfilterung hinweist. Unter den unabhängigen Effekten waren die Umweltfaktoren im Durchschnitt über elf Gruppen am stärksten, aber die Bedeutung der räumlichen Verteilung nahm für Artengruppen mit geringerer Mobilität zu.

In der intraregionalen (innerhalb einer Region) Analyse konzentrierten wir uns auf die relative Bedeutung der Artenzusammensetzung, der Waldstruktur und der Distanz innerhalb der Region. Hier hatte der Effekt der Pflanzendiversität einen stärkeren Einfluss auf die  $\beta$ -Diversität als die Waldstruktur, aber die relative Bedeutung der Waldstruktur nahm mit zunehmender Größe und Position in der Nahrungskette zu.

## Tiere

Es zeigte sich, dass die ökologischen Eigenschaften der Artengruppen eine Rolle dabei spielen, inwieweit lokale Umweltbedingungen die Unterschiede zwischen den Artengemeinschaften beeinflussen können. Schutzkonzepte, die auf die Biodiversität mehrerer Gruppen abzielen, sollten daher sowohl ökologische als auch biogeographische Gradienten berücksichtigen. Innerhalb von Regionen kann die Waldbewirtschaftung die  $\beta$ -Diversität verbessern, insbesondere durch Diversifizierung der Baumartenzusammensetzung und der Waldstruktur.



### Autor\*innen

Bae S., Heidrich L., Levick S. R., Gossner M. M., Seibold S., Weisser W. W., Magdon P., Serebryanyk A., Bässler C., Schäfer D., Schulze E.-D., Doerfler I., Müller J., Jung K., Heurich M., Fischer M., Roth N., Schall P., Boch S., Wöllauer S., Renner S. C., **Müller J.**

### Erschienen als

Dispersal ability, trophic position and body size mediate species turnover processes: Insights from a multi-taxa and multi-scale approach. *Diversity and Distributions* 27 (3?): 439–453 (2021)

doi: 10.1111/ddi.13204

### Foto

Martin R.

*Hylobius abietis*, ein träger, großer Rüsselkäfer.

## Dungabbau ist in Lichtungen geringer als in geschlossenen Beständen

Ökosystemfunktionen hängen direkt und indirekt (über die Biodiversität) mit Landnutzung zusammen. Dungabbau ist eine wichtige Ökosystemfunktion, die für die Zersetzung von Säugetierkot aber auch für die Samenverbreitung und die Verbesserung der Bodenqualität von Bedeutung ist. In der Regel nimmt die Dungabbaurate mit der Vielfalt und Biomasse der Dungkäfer (Coleoptera: Geotrupidae, Scarabaeidae) zu und hängt in Wäldern mit der Waldstruktur zusammen. Wie Lichtungen und Totholz, zwei wichtige Auswirkungen der Waldbewirtschaftung, den Dungabbau beeinflussen, war wenig bekannt.

Um den generellen Einfluss von Lichtungen und Totholz auf Artengemeinschaften und biologische Prozesse zu untersuchen, wurde an 29 Standorten der Biodiversitäts-Exploratorien das FOX-Waldexperiment angelegt (Durchmesser der Lichtungen ca. 30m; experimentelle Behandlungen: Lichtung, Lichtung + Totholz, Totholz, Kontrolle). In diesem Experiment beprobten wir Dungkäfer und maßen zeitgleich Dungabbau. Die Vielfalt und Biomasse der Dungkäfer waren in den Lichtungen jeweils niedriger als in den Kontrollen. Die Dungabbaurate ging von 61,9% in den Kontrollen auf 48,5% in den Lichtungen zurück, unabhängig davon ob die Lichtungen Totholz enthielten oder nicht. Diese Verringerung des Abbaus hing in erster Linie mit der geringeren Biomasse der Dungkäfer, nicht aber mit der niedrigeren Vielfalt zusammen. In den Lichtungen kamen weniger Individuen des Waldmistkäfers (*Anoplotrupes stercorosus*), einer Schlüsselart mit großer Körpergröße vor, ohne dass es zu einer Kompensation der verringerten Biomasse dieser Art durch Offenlandarten kam.

Während Lichtungen und Totholz zweifelsohne für viele Waldorganismen wichtig sind, reagieren Dungkäfer und Dungabbau negativ

## Tiere

darauf. Die Ergebnisse sind auch ein Beispiel dafür, wie Experimente dazu beitragen können, Fragen zur Wechselwirkung zwischen Landnutzung, biologischer Vielfalt und Ökosystemfunktionen zu beantworten.



### Autor\*innen

Staab M., Achury R., Ammer C., Ehbrecht M., Irmscher V., Mohr H., Schall P., Weisser W. W., **Büthgen N.**

### Erschienen als

Negative effects of forest gaps on dung removal in a full-factorial experiment.

Journal of Animal Ecology 91: 2113-2124 (2022)

doi: 10.1111/1365-2656.13792

### Foto

Staab M.

Frühlingsmistkäfer (*Trypocopris vernalis*). Diese Art bevorzugt sandige Wälder und ist häufig in der Schorfheide-Chorin zu finden.

## Waldbewirtschaftung beeinflusst Totholzkäfer durch die Zusammensetzung der Baumarten und den Kronenschluss

Die Waldbewirtschaftung wirkt sich nachweislich auf die biologische Vielfalt aus, allerdings sind die Auswirkungen je nach Studie unterschiedlich. Insbesondere sind viele xylobionte Käferarten, die auf Totholz angewiesen sind, durch die nicht naturnahe, intensive Waldbewirtschaftung und die Veränderungen der Waldstruktur bedroht.

Die genauen Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf Totholzkäfer im Zusammenhang mit der Bewirtschaftungsintensität und den Struktureigenschaften des Waldes sind noch nicht vollständig verstanden. In unserer Studie haben wir die Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf die Abundanz und den Artenreichtum von Totholzkäfern anhand eines achtjährigen Datensatzes von Totholzkäfern aus 379 Versuchsstämmen von 13 verschiedenen Baumarten analysiert. Diese Stämme wurden entlang eines Intensitätsgradienten der Waldbewirtschaftung in drei Regionen Deutschlands (Biodiversitäts-Exploratorien) ausgelegt.

Als erklärende Variablen wurden sowohl ein Index der Bewirtschaftungsintensität als auch fünf individuelle Struktureigenschaften des Waldes verwendet. Darüber hinaus untersuchten wir, ob sich die Auswirkungen zwischen Käfergruppen aus Nadel- und Laubholz sowie zwischen Generalisten, Nadelholz- und Laubholzspezialisten unterscheiden.

Unsere Untersuchung stellte positive Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität auf die Häufigkeit und den Artenreichtum aller Käfer (486 Arten, 66.270 Individuen), der Generalisten (85 Arten, 2.912 Individuen) und der Nadelholzspezialisten (99 Arten, 7.333 Individuen) fest, jedoch keine Auswirkungen auf die Laubholzspezialisten (302 Arten, 29.815 Individuen).

## Tiere

Besonders deutlich waren die positiven Auswirkungen der Bewirtschaftung auf Artengruppen, die Nadelbaumstämme bevorzugen, im Vergleich zu Laubholzspezialisten. Die positiven Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf Generalisten und Nadelholzspezialisten wurden hauptsächlich durch einen höheren Anteil an Nadelbäumen und einen geringeren Kronenschluss verursacht.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Vielfalt der im Totholz lebenden Käfer durch die Struktureigenschaften des Waldes beeinflusst wird, die wiederum durch die Waldbewirtschaftung bedingt sind. Diese Auswirkungen hängen wiederum von der Spezialisierung der Totholzkäfer auf bestimmte Baumarten ab. Die Erhaltung von Totholzkäfern erfordert daher eine Waldbewirtschaftung, die die Bedürfnisse der Käfer und die Waldzusammensetzung und -struktur berücksichtigt. Insbesondere müssen Baumartenmischungen einschließlich Nadelbäumen und Variationen im Kronendach gefördert werden, um ein breiteres Artenspektrum in Waldlandschaften zu ermöglichen.



### Autor\*innen

Edelmann P., Ambarli D., Gossner M. M., Schall P., Ammer C., Wende B., Schulze E.-D., Weisser W. W., **Seibold S.**

### Erschienen als

Forest management affects saproxylic beetles through tree species composition and canopy cover. *Forest Ecology and Management* 524: 120532 (2022)

doi: 10.1016/j.foreco.2022.120532

### Foto

Seibold S.

Mit Hilfe von Stammeklektoren wurde an 30 Standorten und je 13 Baumarten über einen Zeitraum von acht Jahre untersucht, wie die Waldbewirtschaftung die Vielfalt der Totholzkäfer beeinflusst.

## Die funktionelle Struktur der europäischen Waldkäfergemeinschaften wird durch seltene Arten verbessert

Artenreiche Lebensgemeinschaften tragen zur Aufrechterhaltung zahlreicher Ökosystemfunktionen bei. Ein Verlust von Arten kann daher zu einem Verlust an Funktionen führen, jedoch ist die spezifische Rolle einzelner Arten in den meisten Fällen nur unzureichend bekannt. Dies gilt insbesondere für seltene Arten, die oft vom Aussterben bedroht sind, aber möglicherweise einzigartige Merkmale besitzen und somit zu bestimmten Funktionen beitragen. Andererseits könnten seltene Arten auch funktionell redundant sein, wobei häufigere Arten ihre vermittelten Funktionen übernehmen könnten, wenn sie aussterben.

Wir haben die funktionelle Rolle von seltenen holzbewohnenden (xylobionten) Käferarten mithilfe von Fangdaten aus drei Regionen in Mittel- und Nordeuropa untersucht. Die funktionelle Rolle der einzelnen Arten wurde über Merkmalsdatenbanken ermittelt. Mithilfe eines Seltenheitsindex, der auf lokaler Häufigkeit, Verbreitungsgebiet und Nischenbreite der Arten basiert, haben wir mathematische Simulationen durchgeführt, bei denen Arten experimentell aus der Gemeinschaft entfernt wurden. Es zeigte sich, dass sowohl der funktionelle Reichtum, die funktionale Spezialisierung als auch die funktionale Originalität – drei Maße für den potentiellen Beitrag einer Lebensgemeinschaft zu Ökosystemfunktionen – stark zurückgingen, wenn seltene Arten aus der Gemeinschaft entfernt wurden. Dieses Muster war unabhängig von der betrachteten Region und dem Waldtyp.

Die Ergebnisse zeigen, dass seltene Arten einen einzigartigen funktionalen Beitrag leisten können und ihr Verlust Ökosystemfunktionen stark beeinträchtigen kann. Dies bedeutet, dass Maßnahmen zur Erhaltung seltener und gefährdeter Arten, wie z. B. die Erhaltung intakter Wälder mit Totholz und ausgewachsenen Bäumen,

auch einen breiteren Nutzen für das gesamte Ökosystem haben können.



### Autor\*innen

Burner R. C., Drag L., Stephan J. G., Birkemoe T., Wetherbee R., Müller J., Siitonen J., Snäll T., Skarpaas O., Potterf M., Doerfler I., Gossner M. M., Schall P., **Weisser W. W.**, Sverdrup-Thygeson A.

### Erschienen als

Functional structure of European forest beetle communities is enhanced by rare species. *Biological Conservation* 267: 109491 (2022)

doi: 10.1016/j.biocon.2022.109491

### Foto

Fellendorf M.  
Hirschkäfer (*Lucanus cervus*) sind immer seltener geworden. Er ist der größte unter unseren heimischen Käfern.

## Tiere

## Landnutzungsintensität sorgt für Veränderungen des chemischen Duftprofils und der Größe bei der Steinhummel *Bombus lapidarius*

Bestäuber und andere Insekten sind seit Jahren einem massiven Rückgang ausgesetzt, der von zahlreichen Faktoren verursacht wird. Neben dem Klimawandel, neu auftretenden Krankheiten und Pathogenen sowie dem Verlust von Lebensraum scheinen Stressoren, die eng mit landwirtschaftlicher Nutzung verknüpft sind, eine Schlüsselrolle zu spielen.

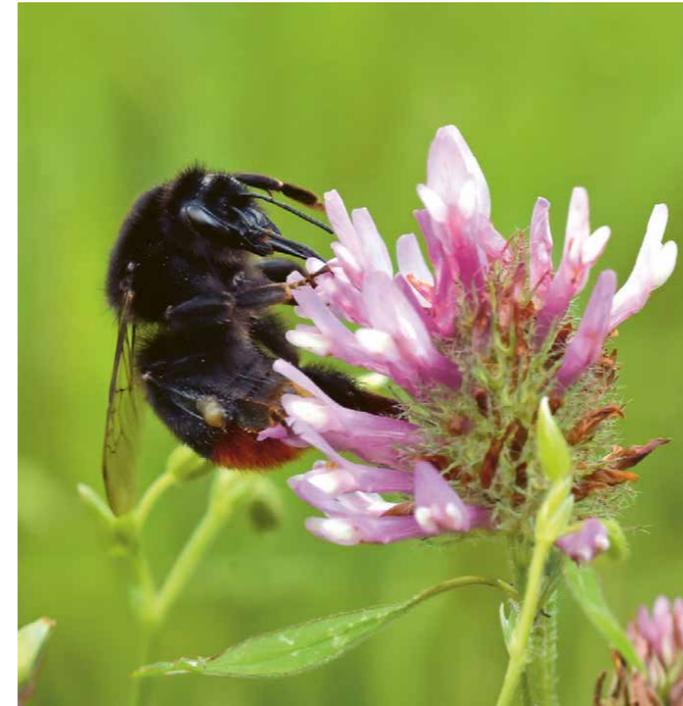
In der vorliegenden Studie untersuchten wir Arbeiterinnen der Steinhummel *Bombus lapidarius* auf Grünlandflächen in den drei Biodiversitäts-Exploratorien. Unser Ziel war es herauszufinden, welchen Einfluss Landnutzung auf (1) die Oberflächenduftstoffe sowie (2) die Größe von Hummeln hat. Erstere spielen eine wichtige Rolle bei der Kommunikation und der Arbeitsteilung in den Nestern dieser sozialen Insektenart.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich das Oberflächenduftprofil der Hummeln in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsintensität und der Temperatur ändert. Zudem nimmt die Gesamtduftstoffmenge mit steigender Landnutzungsintensität zu, allerdings nur in Zusammenhang mit der jeweiligen Untersuchungsregion. Die abnehmende Körpergröße wird durch eine Wechselwirkung zwischen Landnutzungsintensität und Untersuchungsregion erklärt, nicht aber durch die Landnutzungsintensität allein.

Veränderungen des chemischen Duftprofils der Hummeln als Reaktion auf erhöhte Landnutzung und Temperatur können die Kommunikation innerhalb der Kolonie beeinträchtigen. Diese Veränderungen können sich wiederum nachteilig auf die Fortpflanzung und die Kolonieentwicklung auswirken. Eine kleinere Körpergröße als Resultat einer verringerten Pollenqualität und -quantität während der Larvenentwicklung kann sich ebenfalls auf den

Kolonieerfolg und die erneute Bereitstellung von Nahrung auswirken, da größere Tiere mehr Nahrung transportieren können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich Landnutzung und steigende Temperaturen durch z. B. Klimaveränderungen nachteilig auf die Fortpflanzung und Kolonieentwicklung von Hummeln auswirken, wobei der Effekt von Landnutzung allein oft nicht nachweisbar war oder nur in Verbindung mit klimatischen Faktoren eine Rolle spielte.



### Autor\*innen

**Straub F.**, Kuppler J., Fellendorf M., Teuscher M., Vogt J., Ayasse M.

### Erschienen als

Land-use stress alters cuticular chemical surface profile and morphology in the bumble bee *Bombus lapidarius*.

PLOS ONE 17: e0268474 (2022)

doi: 10.1371/journal.pone.0268474

### Foto

Fellendorf M.  
Steinhummel (*Bombus lapidarius*) auf Rotklee.

Foto mit Adobe Photoshop-KI erweitert.

## Tiere

## Wechselwirkungen zwischen Ernährung und Bakterien in wilden Solitärbienen

Die Leistung und das Wohlbefinden von Bienen hängen maßgeblich von ihrem Zugang zu ausreichenden und geeigneten Ressourcen ab, insbesondere zu Blütenpollen und Nektar, die die Hauptgrundlage für ihre Ernährung bilden. Mikrobielle Organismen im Pollen scheinen eine wichtige, jedoch noch wenig erforschte Rolle in der Interaktion zwischen Pflanzenpollen und Bienen zu spielen, beispielsweise indem sie die Menge und das Verhältnis wichtiger Nährstoffe beeinflussen.

Um besser zu verstehen, wie Mikroorganismen im von Bienen gesammelten Pollen die Gesundheit der Larven durch Ernährung beeinflussen können, untersuchten wir Zusammenhänge zwischen der floralen, bakteriellen und ernährungsphysiologischen Zusammensetzung der Nahrung der Larven und den Darmbakteriengemeinschaften der Solitärbienenart *Osmia bicornis*. Unsere Studie zeigt Zusammenhänge zwischen der ernährungsphysiologischen Qualität der Pollennahrung und der gesamten bakteriellen Gemeinschaft sowie einzelnen Mitgliedern, sowohl in der Pollennahrung als auch im Darm der Bienen. Insbesondere scheinen die Amino- und Fettsäureprofile des Pollens mit bestimmten Mitgliedern der Pollenbakteriengemeinschaft zu interagieren, was darauf hinweist, dass pollenbasierte Bakterien eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung dieser Nährstoffe spielen könnten. Es gibt starke Hinweise darauf, dass diese Wechselwirkungen die Gesundheit von Bienen beeinflussen können. Daher sollte zukünftige Forschung weiter untersuchen, wie die beobachteten Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen und der bakteriellen Gemeinschaft die Gesundheit von Bestäubern beeinflussen.

In Bezug auf die Landnutzung unterstreicht unsere Forschung die Relevanz der Bereitstellung von blühenden Pflanzen und hochwer-

tigem Pollen in landwirtschaftlichen Gebieten, auch als Quelle für nützliche Bakterien, um die Gesundheit und das Überleben von Bestäubern wie der Mauerbiene zu fördern. Dies trägt letztendlich zur Sicherung der Bestäubungsdienste und zur Erhaltung der Biodiversität bei.



## Tiere

Autor\*innen

**Leonhardt S. D., Peters B., Keller A.**

Erschienen als

Do amino and fatty acid profiles of pollen provisions correlate with bacterial microbiomes in the mason bee *Osmia bicornis*?

Philosophical Transactions of the Royal Society B 377: 20210171 (2022)

doi: 10.1098/rstb.2021.0171

Fotos

Neumann A.

Nestkammern der Solitärbiene *Osmia bicornis*. In diesen Kammern findet die Entwicklung von Ei zur Larve, zur Puppe und letztendlich zum adulten Tier statt. Die Entschlüsselung der mikroskopischen Wechselprozesse zwischen Pollen (gelb/orange hier gut zu sehen) und Bakterien sind Ziel unserer Arbeit und liefern Rückschlüsse zu der Bedeutung des Nachwuchses. Unteres Foto mit Adobe Photoshop-KI erweitert.

## Eine Frage der Ernährung: Veränderungen der Wild- bienengemeinschaften aufgrund der Intensivierung der Landnutzung. Überleben nur noch flexible Nahrungsgeneralisten?

Es ist häufig in intensiv bewirtschafteten Agrarlandschaften zu beobachten: Der Verlust der biologischen Vielfalt beeinträchtigt Insektenbestäuber und damit die Bestäubung von Pflanzen. Das liegt daran, dass sich die Hauptnahrung der Bestäuber verändert, d. h. die Zusammensetzung und Vielfalt verschiedener Blütenpflanzen.

Wir wollten wissen, wie sich diese Veränderungen in der Vielfalt und Zusammensetzung von Blütenressourcen auf das Vorkommen von Wildbienen auswirken, die ihre Nester in Stängeln bauen (sogenannte Stängelnester). Dazu haben wir Nisthilfen an den Zäunen um die Wetterstationen der Biodiversitäts-Exploratorien aufgehängt. Das sind Plastikröhren mit hohlen Stängeln von Schilf oder Bambus (siehe Bild 1), welche von den Bienen gerne für den Bau ihrer Nester genutzt werden. Dabei wählen die Weibchen ein oder mehrere Stängel aus und füllen sie zunächst mit Pollen und etwas Nektar, ehe sie ein Ei auf den Futterhaufen legen und die Nestzelle mit Erde, Lehm, Harz oder Blättern verschließen. Auf diese Weise können sie in einen Stängel mehrere Nestzellen bauen (siehe Bild 2). Wir nutzen die Anzahl gebauter Brutzellen als Maß für den Reproduktionserfolg der Weibchen und untersuchen, wie dieser sich zwischen Plots mit verschiedenen Landnutzungsintensitäten unterscheidet. Außerdem können wir aus den Zellen kleine Mengen an Pollen entnehmen und analysieren diesen zum einen chemisch (d. h. auf den Protein- und Fettgehalt) als auch genetisch (d. h. die Pflanzenarten identifizieren, von denen der Pollen stammt). So wissen wir am Ende nicht nur, welche Bienen vorkommen und wie erfolgreich sie sich fortpflanzen, sondern auch welche Pflanzen sie auf den verschiedenen Flächen nutzen und wie das die Qualität ihrer Ernährung beeinflusst.

Es stellt sich heraus, dass die Artenvielfalt der Bienen mit zunehmender Landnutzungsintensität abnimmt und auf intensiv

bewirtschafteten Flächen meist nur noch die Gehörnte Mauerbiene (*Osmia bicornis*) vorkommt. Die Landnutzung wirkt sich auch stark auf die Vielfalt und Zusammensetzung des von den Bienen gesammelten Pollens aus. Das Fehlen geeigneter Pollenquellen erklärt wahrscheinlich das Fehlen mehrerer Bienenarten an Standorten mit hoher Landnutzungsintensität.

Die einzige konstant vorkommende Gehörnte Mauerbiene zeigte jedoch eine erstaunliche Flexibilität. An den verschiedenen Standorten ernährte sie sich von sehr unterschiedlichen Pollenquellen. Dabei schaffte sie es erstaunlicherweise, die Nährqualität des Pollens (d. h. das Verhältnis von Proteinen zu Fett) relativ stabil zu halten, obwohl der Proteingehalt mit zunehmender Landnutzungsintensität abnahm. Diese Abnahme in der Nahrungsqualität erklärt voraussichtlich, warum sogar die Gehörnte Mauerbiene auf Flächen mit hoher Landnutzungsintensität weniger Nachwuchs großziehen konnte als auf Flächen mit geringerer Landnutzungsintensität und einem vielfältigeren Angebot an Blütenpflanzen.



## Tiere

### Autor\*innen

Peters B., Keller A., **Leonhardt S. D.**

### Erschienen als

Diets maintained in a changing world: Does land-use intensification alter wild bee communities by selecting for flexible generalists? *Ecology & Evolution* 12 (5), e8919 (2022)

doi: 10.1002/ece3.8919

### Fotos

Werle S.

Links: Wetterstation mit Nisthilfen für Wildbienen auf einer Fläche auf der Schwäbischen Alb, rechts: Aufgebrochener Stängel mit einzelnen Nest-/Brutzellen der Bienenart.

## Wann ist eine Biene gesund? Konzepte, die Biodiversität und Bienengesundheit verbinden

Die Vielfalt, Häufigkeit und Gesundheit von Wildbienen sind durch eine Vielzahl von Umweltfaktoren beeinflusst. Die intensive Landnutzung durch den Menschen spielt dabei eine große Rolle und wirkt sich negativ auf die Populationen von Wildbienen aus. Da sie wichtige Bestäuber sind, beeinflusst der Rückgang der Bestände die Lebensgemeinschaften der Blütenpflanzen. In der Folge können sich die Zusammensetzung und Vielfalt von Pflanzengemeinschaften verändern.

Für Bienen sind Blütenpflanzen oft die einzigen Nahrungsquellen, da sie Nektar als Energiequelle und Pollen als Quelle sämtlich wichtiger Nährstoffe bieten. Die Nährstoffzusammensetzung von Pollen und Nektar unterscheidet sich dabei massiv zwischen verschiedenen Pflanzenarten. Eine ausgewogene Ernährung (d.h. die richtige Zusammensetzung von Nährstoffen v. a. im Pollen), spielt eine wichtige Rolle für die Gesundheit, Widerstandsfähigkeit und Fitness der Bienen. Der Begriff „Gesundheit“ ist für Bestäuber jedoch nicht definiert, sprich: Wir wissen nicht wirklich, was eine gesunde von einer kranken Biene unterscheidet. Zu den Wechselwirkungen zwischen dem Speiseplan und der Wildbienengesundheit ist so gut wie nichts bekannt.

In der vorliegenden Arbeit definieren wir Wildbienengesundheit als ein mehrdimensionales Konzept. Hierfür schlagen wir vor, gleichzeitig mehrere Faktoren zu erfassen, z.B. zur Physiologie, Auftreten von Krankheiten. Außerdem ist es wichtig, Zusammenhänge zwischen Blüten- bzw. Pflanzenvielfalt und dem Nährstoffangebot zu untersuchen, um die Bienenernährung und damit Bienengesundheit besser zu verstehen. Die gesammelten Informationen werden dazu beitragen, die Gesundheit von Bienen und deren Bestandsentwicklung besser zu verstehen sowie Konsequenzen für den Naturschutz abzuleiten.



## Tiere

### Autor\*innen

**Parreno M. A.**, Alaux C., Brunet J.-L., Buydens L., Filipiak M., Henry M., **Keller A.**, Klein A.-M., Kuhlmann M., Leroy C., Meeus I., Palmer-Young E., Piot N., Requier F., Ruedenauer F., Smagghe G., Stevenson P. C., Leonhardt S. D.

### Erschienen als

(2022): Critical links between biodiversity and health in wild bee conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 37 (4): 309-321 (2022)

doi: 10.1016/j.tree.2021.11.013.

### Foto

Weiner C.  
Biene auf der Blüte der Roten Lichtnelke.

## Klimatische Bedingungen und funktionelle Merkmale beeinflussen die Ernährung von Spinnen in landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Lebensräumen weltweit

Tierische Schädlinge verursachen weltweit Unterernährung und Armut durch Ertragsverluste in der Landwirtschaft. Biologische Schädlingsbekämpfungs-Strategien, die sich auf die Erhaltung der natürlichen Feinde der Schädlinge konzentrieren, sind wichtige naturbasierte Lösungen, die dazu beitragen, die Auswirkungen des globalen Wandels auf Ernteverluste zu mildern. Spinnen sind hierbei im Fokus, da sie als zahlenmäßig dominante Räuber einen wichtigen Beitrag zur biologischen Schädlingsbekämpfung leisten. Sie ernähren sich aber auch von anderen Beutetieren, die keine Schädlinge sind.

Wir nutzten einen Datensatz aus 78 Publikationen mit 149 weltweiten Beobachtungen zur Zusammensetzung der Nahrung von Spinnenarten in landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Lebensräumen. Anhand dieser Daten wurde der Einfluss von lokalen klimatischen Bedingungen, Landnutzungstypen, Körpergröße und Jagdstrategie jeder Spinnenart auf die relative Bedeutung von Blattläusen („Schädlinge“) als Beute bzw. von Springschwänzen und Spinnen als alternative Beute untersucht.

Spinnenarten in landwirtschaftlichen Habitaten, die im Durchschnitt kleiner waren als in nichtlandwirtschaftlichen Habitaten, ernährten sich zu einem höheren Anteil von Blattlausbeute. Der durchschnittliche Anteil der Blattlausbeute in den verschiedenen Hauptkulturen nahm von Fasergetreide und Futterpflanzen zu Obstbaumkulturen ab. Aktiv jagende Spinnenarten in nichtlandwirtschaftlichen Lebensräumen fressen einen höheren Anteil an Spinnenbeute. Dabei ist bei geringerer Körpergröße der aktiv jagenden Spinnenarten der Anteil an Springschwanzbeute am höchsten. Dies ist vor allem in Getreidefeldern in Regionen mit geringerer Saisonalität von Niederschlag und Temperatur und höherer Jahresdurchschnittstemperatur zu beobachten.

## Tiere

Zukünftige Landnutzungs- und Klimaänderungen werden sich auf die biologische Schädlingskontrolle durch Spinnen auswirken. Der Klimawandel wird auf globaler Ebene die Bedeutung alternativer Beutetiere in den Nahrungsnetzen der Spinnen beeinflussen, aber auch in einigen Klimazonen die relative Bedeutung von Schädlingsbeute erheblich beeinflussen. Landnutzungsänderungen werden die Bedeutung aller Arten von Beutetieren direkt und indirekt durch Auswirkungen auf die Größenverteilung und die Zusammensetzung der Jagdstrategien in lokalen Spinnengemeinschaften verändern.



### Autor\*innen

**Birkhofer K.**, Djoudi E. A., Schnerch B., Michalko R.

### Erschienen als

Climatic conditions and functional traits affect spider diets in agricultural and non-agricultural habitats worldwide. *Ecography* 3: 1-12 (2022)

doi:10.1111/ecog.06090

### Foto

Birkhofer K.

Die Spinnenart *Trichonephila senegalensis* in Namibia beim Fang eines Tagfalters.

## Auswirkungen der Waldstruktur auf die Interaktion zwischen Vögeln, Krankheitsüberträgern und Parasiten

Waldlebensräume sind wichtige Zufluchtsorte für eine große Vielfalt von Vogelarten. Parasitismus jedoch kann das Vorkommen und die Häufigkeit von Wirtsarten beeinflussen. Die Auswirkungen von Parasiten können je nach Waldbewirtschaftungspraktiken verschieden sein, jedoch sind solche Prozesse bisher noch nicht gut untersucht.

In unserer Studie untersuchten wir die Auswirkungen der Waldnutzungsintensität auf die Interaktionen zwischen Vögeln, Dipteren (Zweiflügler) als Krankheitsüberträger und Blutparasiten sowohl in bewirtschafteten als auch unbewirtschafteten Wäldern. Wir gingen davon aus, dass die Waldstruktur den Parasitismus in den Vogelwirten beeinflusst, sowohl durch ihre Auswirkungen auf den Zustand des Vogelwirts als auch durch die unterschiedlichen Häufigkeiten der Krankheitsüberträger (Vektoren).

Das Vorkommen der Parasiten war hoch und sehr ähnlich in den verschiedenen Waldkategorien. Allerdings variierte die Intensität der Infektion zwischen den Vogelarten, aber nicht zwischen den Waldkategorien.

In unserer Studie fanden wir heraus, dass die Häufigkeit der Krankheitsüberträger nicht der Hauptfaktor für die Parasitendynamik war. Stattdessen stellten wir fest, dass die Waldstruktur die Infektionswahrscheinlichkeit der Parasiten beeinflusste und möglicherweise auch den Zustand der Wirte. Dies erfolgt vermutlich über die verfügbaren Ressourcen, die entweder zur Bekämpfung von Infektionen oder zur Aufrechterhaltung eines guten Körperzustands eingesetzt werden müssen.

Die Auswirkungen der einzelnen Prädiktoren waren je nach Vogelart spezifisch und wir stellten fest, dass Diptera-Vektoren in unserem

## Tiere

Wirts-Vektor-Parasiten-System nicht den bedeutendsten Einflussfaktor darstellten. Die Auswirkungen der Waldhabitatvariablen deuteten darauf hin, dass der Habitattyp bei den meisten Vogelarten in dieser Studie die Infektionswahrscheinlichkeit beeinflusste.

Unsere Ergebnisse betonen die Notwendigkeit artspezifischer Analysen unter Verwendung kontinuierlicher Waldstrukturparameter, um die Auswirkungen von Landnutzung auf die Wirts-Vektor-Parasiten-Dynamik besser zu verstehen.



### Autor\*innen

van Hoesel W., Santiago-Alarcon D., Marzal A., **Renner S. C.**

### Erschienen als

Effects of forest structure on the interaction between avian hosts, dipteran vectors and haemosporidian parasites.

BMC Ecology 20: 47 (2020)

doi: 10.1186/s12898-020-00315-5

### Foto

van Hoesel W.

Stechmücke auf einem abgestorbenen Baum (Schorfheide-Chorin).

## Landnutzungsintensität und Landschaftsstruktur bestimmen die akustische Zusammensetzung im Grünland

Die Soundscape-Ökologie widmet sich der Erforschung akustischer Landschaften. Die akustische Vielfalt eines Ökosystems steht dabei in Relation zur örtlichen Artenvielfalt, kann aber auch als eigener Aspekt der biologischen Vielfalt betrachtet werden. Naturnahe Klanglandschaften – auch Soundscapes genannt – sind wichtig für das Funktionieren eines Ökosystems. Störungen der Soundscape, etwa durch menschlichen Lärm und der Fragmentierung von Habitaten, können Auswirkungen auf die Fortpflanzung, die Gesundheit von Tieren und Menschen, Räuber-Beute-Beziehungen und sogar Bestäuber-Aktivitäten haben.

Mit Hilfe von autonomen Audiorekordern erfassten wir die Soundscape von Grünlandflächen entlang eines Nutzungsgradienten. Aufgenommen wurde von Mai bis Juli, 24 Stunden am Tag. Dabei sind wir von folgender Hypothese ausgegangen: wenn eine Intensivierung der Landnutzung den Verlust der Artenvielfalt zur Folge hat, sollte sich dies – sofern es vokalisierende Arten wie Vögel und Heuschrecken betrifft – auch in einem Verlust der akustischen Vielfalt widerspiegeln.

Im untersuchten Grünland wurde die Komposition der Soundscape zu einem Großteil durch die Landschaftsstruktur bestimmt, etwa durch die Distanz zur nächstgelegenen Straße oder die Vielfältigkeit des Landschaftsmosaiks. Diese beeinflusste die Vielfalt der Heuschreckenarten und die Zusammensetzung der Vogelartengemeinschaft und veränderte die Anteile von Straßenlärm oder Windgeräuschen. Die Intensität des Mahd- und Beweidungsmanagements wirkte sich ebenfalls auf die Zusammensetzung der Vogel- und Heuschreckengemeinschaften aus, und hatte dadurch einen signifikanten Einfluss auf die Soundscape.

## Tiere

### Autor\*innen

**Müller S.**, Gossner M. M., Penone C., Jung K., Renner S. C., Farina A., Anhäuser L., Ayasse M., Boch S., Haensel F., Heitzmann J., Kleinn C., Magdon P., Perovic D., Pieretti N., Shaw T., Steckel J., Tschapka M., Vogt J., Westphal C., Scherer-Lorenzen M.

### Erschienen als

Land-use intensity and landscape structure drive the acoustic composition of grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 328: 107845 (2022)

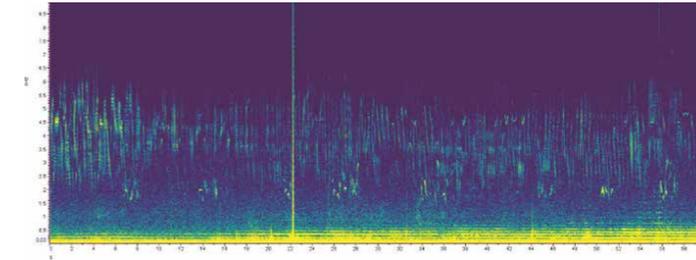
doi: 10.1016/j.agee.2021.107845

### Foto und Abbildung

Mai I., Müller S.

Spektrogramm einer Audio-Aufnahme vom 12.05.2016 um 17:00 Uhr eines Grünland-Plots der Schorfheide-Chorin (SEG31, siehe Foto). Gezeigt ist der Frequenzbereich bis 12 kHz (y-Achse). Die x-Achse gibt die Zeit (0-60 Sekunden). Zu hören ist der durchgehende Gesang der Feldlerche, einzelne Amselgesänge u. a. Im unteren Frequenzbereich (0-1 kHz) findet sich die Tonspur eines Sportflugzeuges.

Veränderungen im Ökosystem spiegelten sich also in der Komposition der Soundscape wider. Somit kann ein passives akustisches Monitoring ein interessanter Baustein für ein flächendeckendes Langzeit-Biodiversitätsmonitoring sein. Akustische Indikatoren sind effizient einsetzbar, um Veränderungen in der Landschaft und deren Artengemeinschaften anzuzeigen. Nachteilig ist, dass akustische Indikatoren über alle Komponenten der Klanglandschaft hinweg berechnet werden. Dadurch erschwert sich die Interpretation von beobachteten Veränderungen.



## Überwachung der SARS-CoV-2-Infektion bei wildlebenden Nagetieren in Europa

Trotz der Verbesserung des Gesundheitswesens im letzten Jahrhundert wurde in den letzten Jahrzehnten weltweit eine starke Ausbreitung von Infektionskrankheiten beobachtet. Viele Faktoren werden für dieses Phänomen verantwortlich gemacht (u. a. die Globalisierung des Reiseverkehrs und des Handels). Der wichtigste scheint jedoch die Verschlechterung der Lebensräume und der damit verbundene Verlust der Artenvielfalt zu sein.

Es hat sich gezeigt, dass in diesen gestörten Naturlandschaften Wirbeltiergemeinschaften hauptsächlich von Arten mit hohem Reproduktionspotenzial, flexiblen Sozialsystemen und hoher Ausbreitungsfähigkeit dominiert werden. Solche Arten gehören meist zur Ordnung der Nagetiere. In dieser Ordnung tragen die Arten, die am widerstandsfähigsten gegenüber menschlichen Störungen sind, oft auch einen höheren Anteil an Krankheitserregern. Aufgrund ihrer Nähe zu Menschen und Nutztieren ist diese Artengruppe daher besonders für die Übertragung von Krankheiten verantwortlich.

Während der COVID-19 Pandemie hat die *World Organisation for Animal Health* (WOAH) die Übertragung von SARS-CoV-2 Viren von Menschen zurück auf Wildtiere als potentielle Quelle für eine weitere Virusevolution erkannt. Ein breites Zirkulieren der SARS-CoV-2 Viren in Wildnagern könnte daher einen möglichen Infektionsweg für zukünftige Virusvarianten darstellen.

Um dies zu erforschen, haben wir Kleinsäuger aus Grünland und Waldflächen in Mitteldeutschland (Hainich-Dün-Region) zwischen 2020 und 2021 gefangen und analysiert. Zusammen mit Nagern aus vier weiteren Ländern (Polen, Belgien, Frankreich und Irland) haben wir in dieser Studie insgesamt 1.237 Proben auf SARS-CoV-2 untersucht.

## Tiere

In keiner der Proben konnte SARS-CoV-2 nachgewiesen werden. In weiteren Studien mit Nagern aus dem urbanen Raum konnte dieses Ergebnis bestätigt werden, mit bisher nur wenigen Funden des Virus in unterschiedlichen Nagerarten. Dies deutet darauf hin, dass Wildnager kein Reservoir für SARS-CoV-2 darstellen und somit auch keine Gefahr einer Wiederansteckung des Menschen von ihnen ausgeht.



### Autor\*innen

Bourret V., Dutra L., Alburkat H., Mäki S., Lintunen E., Wasniewski M., Kant R., Gryzbek M., Venkat V., Asad H., Pradel J., Bouilloud M., Leirs H., Colombo V. C., Sluydts V., Stuart P., McManus A., Eccard, J. A., Firozpoor J., **Imholt C.**, Nowicka J., Goll A., Ranc N., Castel J., Charbonnel N., Sironen T.

### Erschienen als

Serologic Surveillance for SARS-CoV-2 Infection among Wild Rodents, Europe. *Emerging Infectious Diseases* 28: 2577-2580 (2022)

doi: 10.3201/eid2812.221235

### Foto

Imholt C.  
Feldmaus (*Microtus arvalis*).

## Einfluss der Landnutzung auf aasassoziierte Gemeinschaften von Kurzflüglern in deutschen Wäldern

Die Intensivierung der anthropogenen Landnutzung ist eine große Bedrohung für die biologische Vielfalt und damit für wichtige Ökosystemleistungen von Insekten. Eine Insektengruppe, die besonders empfindlich auf Lebensraumveränderungen reagiert, sind die Kurzflügler. Sie tragen maßgeblich zur Aufrechterhaltung einer ungestörten Insektensukzession während der Zersetzung von Wirbeltierkadavern bei, indem sie hauptsächlich Fliegenmaden jagen. Aufgrund unzureichender taxonomischer Kenntnisse ist jedoch nur wenig über aasassoziierte Kurzflügler bekannt.

In unserer Studie haben wir die vom Menschen verursachten und umweltbedingten Faktoren untersucht, die die Gemeinschaften von Kurzflüglern auf Wirbeltierkadavern beeinflussen. Die Untersuchungsstandorte wurden entlang eines Gradienten der Bewirtschaftungsintensität ausgewählt. Insgesamt fanden wir 80 Kurzflüglerarten auf verwesenden Ferkelkadavern an Waldstandorten in den drei Biodiversitäts-Exploratorien in Deutschland.

Ein wesentliches Ergebnis unserer Untersuchung ist, dass mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität Generalisten gefördert werden, die mit geringer struktureller Heterogenität zurechtkommen, während spezialisierte Arten verloren gehen. Unsere Ergebnisse sind nicht nur für die Aaskäferökologie von Bedeutung, sondern auch für forensisch-entomologische Untersuchungen an Tatorten.

## Tiere



### Autor\*innen

Weithmann S., Kuppler J., Degasperi G., Steiger S., **Ayasse M.**, von Hoermann C.

### Erschienen als

Local and landscape effects on carrion-associated rove beetle (Coleoptera: Staphylinidae) communities in German forests. *Insects* 11: 828 (2020)

doi: 10.3390/insects11120828

### Foto

Weithmann S.  
Schwarzer Moderkäfer, *Ocypus* sp.

## Hierarchische Filter auf verschiedenen räumlichen Ebenen bestimmen die Zusammensetzung von Käfergemeinschaften in Totholz

Umweltbedingungen – einschließlich solcher, die sich aus biotischen Wechselwirkungen ergeben – bestimmen maßgeblich, wie sich lokale Artengemeinschaften zusammensetzen. Dabei wird oft von sogenannten Umweltfiltern gesprochen, die bestimmte Arten aus dem regionalen Artenpool herausfiltern und somit bestimmen, welche Arten lokal vorkommen (z. B. in Bezug auf Baumartenzusammensetzung und Totholzvolumen).

Solche Umweltfilter können auf verschiedenen räumlichen Ebenen auftreten und wirken oft nacheinander, bilden also eine Hierarchie von unterschiedlichen Umweltfiltern. Welche Umweltfilter dabei besonders stark wirken, wurde bisher kaum quantitativ untersucht.

Totholzkäfer sind sehr gut geeignet, um solche hierarchischen Umweltfilter zu untersuchen. Wir schlagen drei räumliche Ebenen vor, auf denen Umweltfilter die Zusammensetzung von Totholzkäfergemeinschaften beeinflussen. Erstens müssen die Arten, ausgehend von einem Pool regional verfügbarer Arten, geeignete Waldstandorte erreichen. Zweitens müssen die Arten innerhalb eines Standorts ein Habitat mit bevorzugten mikroklimatischen Bedingungen finden. Drittens bestimmen die Charakteristika eines einzelnen Totholzobjekts (d.h. Baumart, Zersetzungsstadium) innerhalb des Habitats, welche Arten sich ansiedeln und etablieren.

Wir nutzten Langzeitdatensätze zu Totholzkäfer-Gemeinschaften aus Fensterfallen-Fängen an 29 Standorten der Biodiversitäts-Exploratorien und aus Emergenzfallen-Fängen an 694 experimentell ausgebrachten Totholzstämmen an denselben Standorten. Emergenzfallen sind Fallen, die direkt am Stamm angebracht werden und daraus hervorgehende Käfer einsammeln. Um die verschiedenen Umweltfilter mit den Käfergemeinschaften in Beziehung zu

## Tiere

setzen, verwendeten wir 13 Käfermerkmale, von denen erwartet wurde, dass sie mit verschiedenen Umweltfiltern auf verschiedenen Ebenen in Verbindung stehen (z. B. Größe, Flügellänge).

Wir zeigen, dass Umweltfilter auf allen drei räumlichen Ebenen zu einer Verringerung der Merkmalsvielfalt und gleichzeitig zu Verschiebungen in der Zusammensetzung der Käfergemeinschaften führten. Die Zusammensetzung änderte sich am stärksten auf der letzten räumlichen Ebene, d.h. sie war stark abhängig von der Baumart und dem Zersetzungsstadium eines Totholzstamms.

Somit konnten wir zeigen, dass Umweltfilter auf verschiedenen räumlichen Ebenen die Totholzkäfergemeinschaften prägen. Um vielfältige Käfergemeinschaften zu erhalten, ist ein Forstmanagement erforderlich, das auf verschiedenen räumlichen Ebenen abgestimmt ist.



### Autor\*innen

**Neff F.**, Hagge J., Achury R., Ambarlı D., Ammer C., Schall P., Seibold S., Staab M., Weisser W. W., Gossner M. M.

### Erschienen als

Hierarchical trait filtering at different spatial scales determines beetle assemblages in deadwood.

Functional Ecology 36 (12): 2929-2942 (2022)

doi: 10.1111/1365-2435.14186

### Foto

Neff F.

Der Schwarzrote Rindenkäfer (*Bitoma crenata*) ist ein kleiner Käfer, der sich auf die Jagd nach anderen Totholzinsekten spezialisiert hat.

# Mikroorganismen & Pilze

## Artikel

Infiziertes Weidelgras (*Lolium perenne*) – wie hoch ist das Vergiftungsrisiko für Tiere? Nachweismethoden von Alkaloidkonzentrationen, die mit *Epichloë festucae* var. *lolii* infiziert sind

Vergleich der Pilzgemeinschaften in der Rhizosphäre ortsansässiger und eingebrachter Pflanzen in bewirtschaftetem Grünland

Räumliche und zeitliche Verteilung von arbuskulären Mykorrhizapilzen im Boden einer gemäßigten Grünlandfläche

Hohe Dynamik der wurzellosoziierten Pilzgemeinschaften junger Buchen

Boden- und Wurzelnährelemente beeinflussen die Zusammensetzung von wurzellosoziierten

ten Pilzgesellschaften in temperaten Wäldern

Wurzellosoziierte Pilzgruppen in gemäßigten Wäldern zeigen Unterschiede in der Besiedlung von organischer Auflage und Mineralboden

Die Wechselwirkung zwischen Wachstums- umgebung und Wirtsnachkommen formt endophytische Pilzgemeinschaften bei transplantierten Rotbuchen

Nutzung der Genominformation von holzabbauenden Pilzen in der Bioindustrie am Beispiel von Peroxygenasen

Mikroben auf Blüten und Blättern: Wie Landnutzung und Geographie die Gemeinschaften auf Pflanzen beeinflussen

Die bakterielle Besiedlung von Mineralien in Grünlandböden ist selektiv und sehr dynamisch

Mineralosphäre – Interaktive Zone der Besiedlung durch Mikroorganismen und der Kohlenstoffnutzung in Grünlandböden

Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung aktiver bakterieller Gemeinschaften in der Rhizosphäre gemäßigter Graslandschaften

*Capillimicrobium parvum* ist eine neu entdeckte Bakterienart und Vertreter einer bisher unbekanntten Familie von Bodenbakterien

Hohe ökologische Vielfalt von Bodenmikroorganismen am Beispiel der Acidobakterien

Biodiversität Nitrat-/Nitrit-reduzierender Mikroorganismen in Grünlandböden

Erstmalige Verknüpfung der saisonalen Aktivitäten von Methan-verarbeitenden Mikroorganismen und Methanflüssen in Grünlandböden

Die räumliche und zeitliche Verteilung von Bodenbakterien in einem extensiv genutzten Grünland folgt eher dem Zufall als natürlicher Selektion

Entdeckung der *Terricaulis silvestris*: Eine neue Art und Gattung aus der Familie Caulobacteraceae im Waldboden

Die Entdeckung von zwei neuen Bakterienarten im Boden (*Usitatibacter rugosus* und *Usitatibacter palustris*) stellt eine neue Familie dar

Biologische Stickstofffixierung im Totholz

Die im Boden stark verbreitete bakterielle Gruppe *Candidatus Udaeobacter* zeigt Präferenzen für saure pH-Werte

Entdeckung von neuen Antibiotikaresistenzgenen in Wald- und Grünlandböden

Verteilung medizinisch relevanter Antibiotikaresistenzgene und mobiler genetischer Elemente in Böden gemäßigter Wälder und Grünländer mit unterschiedlicher Landnutzung

Die weltweit vorkommende Bakteriengruppe *Candidatus Udaeobacter* profitiert von der Freisetzung von Antibiotika im Boden und kann potenziell Spurengase effizient nutzen

Unterschiedliche Faktoren beeinflussen die mikrobielle Aufnahme von Methan in Wald- und Grünlandböden

# Mikroorganismen & Pilze

Taxonomische und funktionelle Vielfalt von heterotrophen Protisten (Cercozoa und Endomyxa) aus biologischen Bodenkrusten [S.200](#)

Nematoden (Fadenwürmer): Wie sich die Intensität der Bewirtschaftung, die Bodeneigenschaften sowie die Region in gemäßigten Wäldern in Deutschland auf sie auswirken [S.202](#)

Identifizierung der wichtigsten Bakterien in verschiedenen Wurzelkompartimenten von *Dactylis glomerata* in Böden unterschiedlicher Landnutzungsintensität [S.204](#)

Unterschiedliche Reaktionen von Pflanzenparasiten und phagotrophen Protisten auf Bewirtschaftung und Bodeneigenschaften in Ökosystemen [S.206](#)

## Infiziertes Weidelgras (*Lolium perenne*) – wie hoch ist das Vergiftungsrisiko für Tiere?

### Nachweismethoden von Alkaloidkonzentrationen, die mit *Epichloë festucae* var. *lolii* infiziert sind

Mykotoxine sind giftige Stoffwechselprodukte, die von Schimmelpilzen gebildet werden und in landwirtschaftlich genutzten Pflanzen bei Tieren Vergiftungen hervorrufen und somit zu erheblichen finanziellen Verlusten für Landwirte führen können. Der innerhalb von Gräsern (endophytisch) lebende Pilz *Epichloë festucae* var. *lolii* lebt symbiotisch mit dem Deutschen Weidelgras (*Lolium perenne*) zusammen. Das Gras profitiert von dieser Symbiose, da der Pilz für Wirbeltiere und Wirbellose giftige Substanzen (Alkaloide) produziert, mit denen er das Gras vor Fressfeinden wie Weidetieren schützt. Der Pilz erhält im Gegenzug Nahrung und Unterkunft in der Pflanze. Eine genaue Quantifizierung der Alkaloidkonzentrationen ist daher unerlässlich, um das Vergiftungsrisiko für Tiere bestimmen zu können. In vielen Studien werden jedoch unterschiedliche Methoden zum Nachweis von Alkaloidkonzentrationen verwendet, was eine Vergleichbarkeit erschwert.

In dieser Studie konnten wir zeigen, dass die Alkaloidkonzentrationen einzelner Pflanzen auf Grünlandflächen in Deutschland zwar die Toxizitätsschwellen überschreiten, nicht jedoch auf Populations-ebene. Obwohl die Alkaloidkonzentrationen auf fünf deutschen Grünlandflächen mit hohen Konzentrationen im Sommer ihren Höchststand erreichten, blieben sie auf Populationsebene unter den Toxizitätsschwellenwerten. Darüber hinaus zeigten wir, dass die Alkaloidkonzentrationen auf den Grünlandflächen und in einer Frühbeet-Studie demselben saisonalen Trend folgen, unabhängig davon, ob das Frischgewicht oder das Trockengewicht der Pflanzen verwendet wurde. Allerdings waren die Alkaloidkonzentrationen etwa dreimal so hoch, wenn das Trockengewicht herangezogen wurde. Schließlich haben wir gezeigt, dass die Alkaloidkonzentrationen zusätzlich durch unterschiedliche Alkaloidnachweisverfahren beeinflusst werden können.

Wir betonen, dass Toxizitätsrisiken bzw. Alkaloidkonzentrationen anhand des Trockengewichts der Pflanzen analysiert werden sollten, dass aber Konzentrationstrends (z. B. im Jahresverlauf) anhand des Frischgewichts zuverlässig sind.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

**Vikuk V.**, Fuchs B., Krischke M., Müller J. M., Rueb S., **Krauss J.**

### Erschienen als

Alkaloid Concentrations of *Lolium perenne* Infected with *Epichloë festucae* var. *lolii* with Different Detection Methods – A Re-Evaluation of Intoxication Risk in Germany? *Journal of Fungi* 6: 177 (2020)

doi: 10.3390/jof6030177

### Foto

Krauss J.

Gewöhnliches Knäuelgras *Dactylis glomerata* infiziert mit dem endophytischen Pilz *Epichloë typhina*. Bei dieser sexuellen Form des Pilzes wird die Blütenstandbildung unterdrückt.

## Vergleich der Pilzgemeinschaften in der Rhizosphäre ortsansässiger und eingebrachter Pflanzen in bewirtschaftetem Grünland

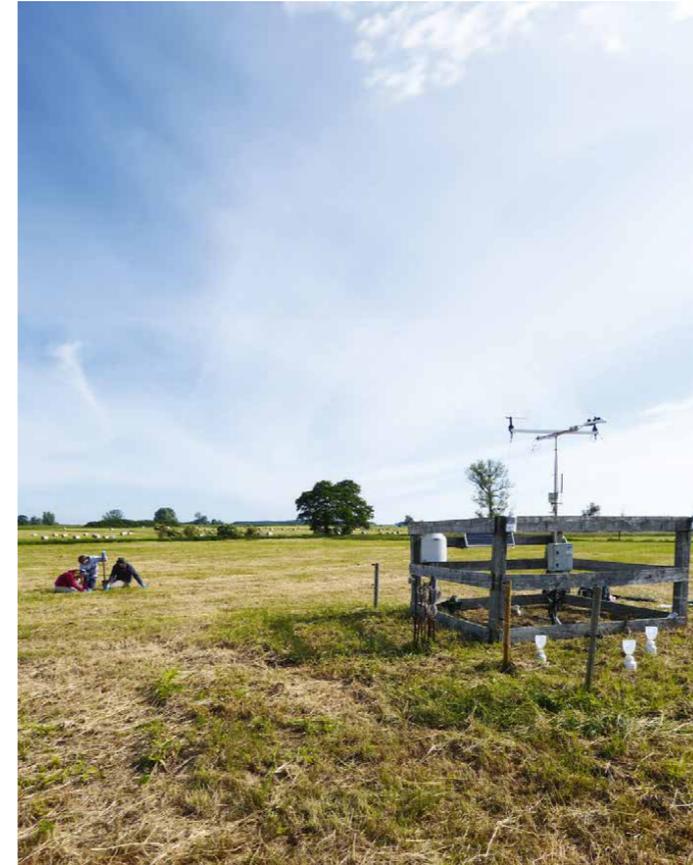
Pflanzen sind dazu in der Lage, die Pilze in der Umgebung ihrer Wurzeln, der sogenannten Rhizosphäre, aktiv zu wählen. Jedoch sind Feldstudien, bei denen einheimische Pflanzen verwendet werden, um die Zusammensetzung der mikrobiellen Rhizosphären-gemeinschaften mit Umweltfaktoren wie der Landnutzung in Beziehung zu setzen, oft nur begrenzt aussagefähig. Das liegt daran, dass das Alter und die individuelle Wachstumsleistung der Pflanzen die Untersuchungen des gewünschten Effekts überlagern können. Um solche Schwankungen zu reduzieren, werden sogenannte „Phytometerpflanzen“ unter standardisierten Bedingungen vorkultiviert und dann in ein Ökosystem eingebracht.

Diese Studie vergleicht die Pilzgemeinschaften in der Rhizosphäre von eingebrachten Phytometerpflanzen mit denen ortsansässiger Pflanzen. Zu diesem Zweck wurden zwei häufige Grünlandarten, nämlich das Gewöhnliche Knäuelgras (*Dactylis glomerata* L. s. str.) und der Spitzwegerich (*Plantago lanceolata* L.), entlang eines Landnutzungsgradienten untersucht. Für die Erfassung der Pilze in der Rhizosphäre wurde die pilzliche DNA-Markerregion ITS mit Illumina sequenziert.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Phytometerpflanzen ähnliche Pilze für ihre Rhizosphären-gemeinschaft auswählten wie die ortsansässigen Pflanzen. Unterschiede zeigten sich allerdings vor allem im Vergleich der beiden untersuchten Pflanzenarten: Hier variierten sowohl die Zusammensetzung als auch der Reichtum der Pilz-gemeinschaften. Beispielsweise wurden in der Rhizosphäre des Spitzwegerichs mehr Pilze gefunden. Auch die Landnutzungsintensität hatte einen deutlichen Effekt auf die Pilzgemeinschaften beider Pflanzenarten, wobei verschiedene Pilzgattungen unterschiedlich tolerant auf starke Bewirtschaftung reagierten.

## Mikroorganismen & Pilze

Insgesamt erwies sich der Phytometer-Ansatz als vielversprechende Alternative, um den Einfluss verschiedener Umweltfaktoren auf mikrobielle Gemeinschaften in der Rhizosphäre zu untersuchen.



### Autor\*innen

Schöps R., **Goldmann G.**, Korell L., Bruehlheide H., Wubet T., Buscot F.

### Erschienen als

Resident and phytometer plants host comparable rhizosphere fungal communities in managed grassland ecosystems. Scientific Reports 10: 919 (2020)

doi: 10.1038/s41598-020-57760-x

### Foto

Herz K.

Probenentnahme im Juni 2015 für den Vergleich der Pilzgemeinschaften im Wurzelraum von eingebrachten und natürlich vorkommenden Grünlandpflanzen.

Foto mit Adobe Photoshop-KI erweitert.

## Räumliche und zeitliche Verteilung von arbuskulären Mykorrhizapilzen im Boden einer gemäßigten Grünlandfläche

Böden sind sehr heterogen, da sie sich stetig räumlich und zeitlich verändern. Folglich ist auch die Artenvielfalt der Bodenmikroorganismen räumlich und zeitlich dynamisch. Einige Mikroorganismen stehen dabei in einem engen Austausch mit den im Boden vorkommenden Pflanzenwurzeln. Darunter fallen auch die symbiotischen arbuskulären Mykorrhizapilze (AMF). Diese leben in enger Symbiose mit Pflanzenwurzeln und sind in ihrer Diversität sehr von der Vielfalt der Pflanzenpartner und der saisonalen Variabilität des Nahrungsnetzes im Boden abhängig.

Um die Verteilung der AMF-Diversität im Boden zu verstehen, untersuchten wir die räumlich-zeitliche Veränderung der AMF-Diversität auf einer Grünlandfläche (10 × 10m) mit geringer Bewirtschaftungsintensität im Biodiversitäts-Exploratorium Schwäbische Alb. Wir bestimmten die AMF-Diversität mittels Hochdurchsatzsequenzierung des DNA-Markergens 18S. Insgesamt analysierten wir 360 Bodenproben, die zu sechs Zeitpunkten innerhalb eines Jahres entnommen wurden.

Die Ergebnisse zeigten einen hohen AMF-Reichtum und große räumliche Veränderungen der AMF-Gemeinschaften auf der gesamten Untersuchungsfläche und zu allen Zeitpunkten. Zudem stellten wir Zusammenhänge zwischen dem Artenreichtum der AMF und dem Pflanzenreichtum, der Wurzelbiomasse, der Bodenbeschaffenheit und dem pH-Wert fest.

Die Umweltvariablen erklärten jedoch nur etwa 20% der Variation in den AMF-Gemeinschaften. Dies deutet darauf hin, dass das Vorkommen und die Unterschiede der AMF-Gemeinschaften weitgehend unabhängig von den abiotischen Umweltbedingungen sind. Einen größeren Einfluss auf die AMF hatten somit die

## Mikroorganismen & Pilze

Pflanzeigenschaften und die benachbarten Mikroorganismen im Boden.



April



Mai



Juni



August



Oktober



November

### Autor\*innen

**Goldmann K.**, Boeddinghaus R. S., Klemmer S., Regan K. M., Heintz-Buschart A., Fischer M., Prati D., Piepho H.-P., Berner D., Marhan S., **Kandeler E.**, Buscot F., Wubet T.

### Erschienen als

Unraveling spatiotemporal variability of arbuscular mycorrhizal fungi in a temperate grassland plot.

Environmental Microbiology 22: 873-888 (2020)

doi: 10.1111/1462-2920.14653

### Fotos

Regan K.

Saisonale Variabilität der Pflanzenpartner beeinflusst die Gemeinschaften der wurzelbewohnenden Symbiosepilze.

## Hohe Dynamik der wurzelassoziierten Pilzgemeinschaften junger Buchen

Die Beziehung zwischen Bäumen und wurzelassoziierten Pilzgemeinschaften ist sehr komplex. Bäume sind in der Lage, hilfreiche und wachstumsfördernde Pilze durch spezifische Signalstoffe anzuziehen, die sie über ihre Wurzeln ausscheiden. Dabei können schon intraspezifische Unterschiede zwischen den Bäumen zu veränderten Pilzmustern im Wurzelraum führen.

Für das sogenannte *Beech Transplant Experiment* wurden die Beziehungen zwischen Buchenherkunft, einem möglichen Heimvorteil und die individuelle Pflanzenentwicklung mit wurzelassoziierten Pilzen unter Feldbedingungen untersucht. Die experimentelle Studie dazu verlief wie folgt: Im Jahr 2011 wurden in den drei Biodiversitäts-Exploratorien Schwäbische Alb, Hainich-Dün und Schorfheide-Chorin Bucheckern gesammelt. Nach einem Jahr, also 2012, wurden die Sämlinge, die aus diesen Bucheckern entstanden waren und als Nachkommen der jeweiligen Exploratorien verstanden wurden, in neun Waldplots des Exploratoriums Schorfheide-Chorin ausgepflanzt. Anschließend wurden die Wurzeln und der Rhizosphärenboden dieser transplantierten Bäume im Herbst 2014 und 2017 beprobt. Mit Hilfe von Hochdurchsatz-Sequenzierung der DNA-Markerregion ITS2 sind im Anschluss die Pilze in und um die Wurzel bestimmt worden.

Die Ergebnisse zeigten keinen Einfluss der Buchenherkunft auf den Reichtum an Pilzen oder die Struktur ihrer Gemeinschaft. Das bedeutet, dass die Buchenkeimlinge, die aus Bucheckern aus der Schorfheide stammten, keinen Heimvorteil bei der Auswahl ihrer Wurzelpilze besaßen. Im zeitlichen Verlauf der Buchenentwicklung und des Wurzelwachstums nahm erwartungsgemäß der Pilzreichtum in den Wurzeln zu. Überraschend waren aber die starken Veränderungen, die in den Pilzgemeinschaften zu sehen waren.

## Mikroorganismen & Pilze

Diese hohen zeitlichen Dynamiken deuten auf eine kontinuierliche Entwicklung und funktionelle Anpassung der Wurzelpilze junger Buchen hin.



### Autor\*innen

**Goldmann K.**, Ammerschubert S., Pena R., Polle A., Wu B., Wubet T., Buscot F.

### Erschienen als

Early stage root-associated fungi show a high temporal turnover, but are independent of beech progeny.

Microorganisms 8: 210 (2020)

doi: 10.3390/microorganisms8020210

### Foto

Schnabel B.

Beprobung des „*Beech Transplant Experiment*“ im Exploratorium Schorfheide-Chorin im Jahr 2017.

## Boden- und Wurzelnährelemente beeinflussen die Zusammensetzung von wurzelassozierten Pilzgesellschaften in temperaten Wäldern

Wurzelassozierte Pilze (WAP), dazu gehören insbesondere Mykorrhizapilze, aber auch saprotrophe Pilze, sind die Verbindungsglieder zwischen Pflanze und Boden für den Austausch von Kohlenstoffstoff und mineralischen Nährstoffen. Daher spielen WAP eine wichtige Rolle für das Funktionieren biogeochemischer Kreisläufe in Waldökosystemen.

Um besser zu verstehen, welche Faktoren WAP kontrollieren, haben wir Nährelementgehalte (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe) im Boden und in Wurzeln bestimmt. Des Weiteren haben wir die WAP mittels Hochdurchsatzsequenzierung in 150 Waldplots in den drei Regionen der Biodiversitäts-Exploratorien (Schorfheide-Chorin, Hainich-Dün, Schwäbische Alb) identifiziert. Klimadaten und Daten zur Forstnutzung standen in der Datenbank BExIS der Exploratorien zur Verfügung. Anhand dieses Datensatzes haben wir geprüft, welche Nährstoffe und Umweltfaktoren die Variation der WAP über die drei Regionen hinweg am besten erklären können. Dabei stellten wir fest, dass die Variation der WAP-Gemeinschaften insgesamt sowohl mit Wurzelmerkmalen (z.B. basische Kationen, Kohlenhydrate, Nitrat) als auch mit Bodeneigenschaften (pH-Wert, basische Kationen, Feuchtigkeit, C/N) zusammenhing. Eine detaillierte Analyse der Pilzordnungen zeigte, dass verschiedene Pilztaxa unterschiedliche, teilweise gegenläufige Reaktionsmuster auf biotische und abiotische Faktoren zeigten.

Dies legt nahe, dass die Variation der WAP-Gemeinschaften mit der evolutionären Anpassungsfähigkeit der Pilze zusammenhängt und folglich die Einflussfaktoren der WAP-Gemeinschaften kontextabhängig sind. Für die forstliche Praxis bedeutet dies, dass die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaften überwiegend durch wenig beeinflussbare Faktoren wie Klima, Bodeneigenschaften, Stick-

stoffeintrag gesteuert wird. Die Auswahl der Baumarten stellt eine der wenigen Möglichkeiten dar, die Pilzdiversität durch forstliche Eingriffe zu verändern.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Nguyen D. Q., Schneider D., Brinkmann N., Song B., Janz D., Schöning I., Daniel R., Pena R., **Polle A.**

### Erschienen als

Soil and root nutrient chemistry structure root-associated fungal assemblages in temperate forests.  
Environmental Microbiology 22: 3081-3095 (2020)

doi: 10.1111/1462-2920.15037

### Fotos

Lang C.

Buchenwurzeln mit unterschiedlichen Mykorrhizapilzen.

## Wurzelassozierte Pilzgruppen in gemäßigten Wäldern zeigen Unterschiede in der Besiedlung von organischer Auflage und Mineralboden

Ektomykorrhizapilze (= *symbiotrophe*) und saprotrophe Pilze spielen eine zentrale Rolle für das Funktionieren von Ökosystemen. Hier haben wir die vertikale Differenzierung von wurzelassozierten Pilzen (WAP), d.h. vom Waldboden in tiefere Bodenschichten hinein, in den Biodiversitäts-Exploratorien untersucht.

Wir analysierten die WAP-Gemeinschaften im organischen und mineralischen Boden von 150 experimentellen Waldversuchsflächen in drei biogeografischen Regionen, die sich über eine Entfernung von mehr als 800 km erstrecken. Saprotrophe WAP wiesen den größten Artenreichtum in der organischen Auflage und symbiotrophe WAP im Mineralboden auf. Symbiotrophe WAP wiesen in beiden Bodenschichten höhere relative Abundanzen (bestimmt auf der Basis von Sequenzhäufigkeiten) auf als saprotrophe Pilze. Die Beta-Diversität der WAP war hauptsächlich auf den Einfluss von organischer Auflage und Mineralboden zurückzuführen und zeigte regionale Unterschiede bei symbiotrophen und saprotrophen Pilzen. Regionale Unterschiede wurden auch für verschiedene Klassifizierungen der Pilze festgestellt, d. h. für Pilzordnungen und Indikatorarten im organischen und mineralischen Boden. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Bedingungen im Lebensraum die Differenzierung der WAP-Gemeinschaften stark beeinflussen. Wichtige Ausnahmen waren Pilzordnungen, die unabhängig vom Habitat in verschiedenen Bodenschichten über den biogeografischen Gradienten hinweg vorkamen: *Russulales* und *Cantharellales* (Ektomykorrhizapilze) waren in Mineralböden angereichert, während saprotrophe Pilzgruppen wie Polyporales und Sordariales sowie die mykorrhizale Gruppe der Boletales in WAP-Gesellschaften in der organischen Schicht angereichert waren.

Unsere Ergebnisse zeigen somit, dass die Artzusammensetzung

## Mikroorganismen & Pilze

eine Signatur für bestimmte Nischen darstellt. Die Zusammensetzung der WAP weist stark daraufhin, dass distinkte Pilztaxa unterschiedliche Strategien haben, zum einen solche, die flexibel in unterschiedlichen Habitaten vorkommen, und andere, die an bestimmte Habitatvoraussetzungen gebunden sind.



### Autor\*innen

Khokon A. M., Schneider D., Daniel R., **Polle A.**

### Erschienen als

Soil Layers Matter: Vertical Stratification of Root-Associated Fungal Assemblages in Temperate Forests Reveals Differences in Habitat Colonization.

Microorganisms 9: 2131 (2021)

doi: 10.3390/microorganisms9102131

### Fotovorlage für digitale Illustration

Polle A.

Hutpilz.

*Bild in Adobe Illustrator bearbeitet.*

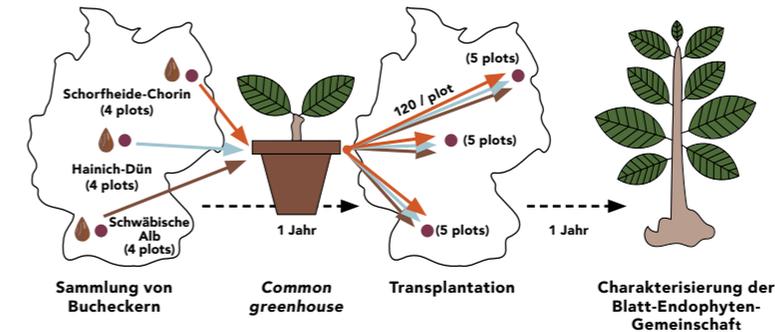
## Die Wechselwirkung zwischen Wachstums- umgebung und Wirtsnachkommen formt endophytische Pilzgemeinschaften bei transplantierten Rotbuchen

Pilzliche Endophyten sind ein wesentlicher Bestandteil des Blattmikrobioms von Waldbäumen. Die meisten dieser Endophyten werden horizontal übertragen, das bedeutet, dass die Pilze von der Pflanze aus der Umgebung erworben werden (im Gegensatz zur vertikalen Übertragung durch Samen). Horizontal übertragene Endophyten von Waldbäumen können zwischen endophytischer und freilebender Lebensweise wechseln, wobei ihre endgültige funktionelle und ökologische Rolle unklar bleibt. Jedoch ist nur wenig über die Faktoren bekannt, die ihre Zusammensetzung bestimmen. Diese zufällige Ansammlung endophytischer Pilze variiert je nach geografischer Lage und Wirtsindividuum. Darüber hinaus ist bekannt, dass Klima und genetische Vielfalt zu einer Anpassung der Wirtspflanzen führen.

Um den Einfluss der Wirtsnachkommen und der Anpassung an die Umweltbedingungen auf die endophytischen Gemeinschaften zu bestimmen, führten wir ein Transplantationsexperiment mit Buchen (*Fagus sylvatica*) durch. Wir sammelten Bucheckern aus den drei entfernten geografischen Regionen der Biodiversitäts-Exploratorien: Schwäbische Alb, Hainich-Dün und Schorfheide-Chorin und brachten sie in einem Gewächshaus zum Keimen (siehe Abbildung). Die einjährigen Buchensämlinge verpflanzten wir im Anschluss wieder in die drei Exploratorien und die endophytische Gemeinschaft der Blätter wurde in der zweiten Wachstumssaison nach der Pflanzung mittels kulturunabhängigem Metabarcoding charakterisiert. Außerdem wurde der Chlorophyll- und Flavonoidgehalt der jeweiligen Blätter gemessen.

Unsere Studie deutet darauf hin, dass die Nachkommenschaft des Wirts und lokale Umweltfaktoren die mit der Rotbuche assoziierte endophytische Pilzgemeinschaft auf den Blättern beeinflussen.

Dabei wird die Zusammensetzung der Endophyten hauptsächlich durch das Klima und dann durch den Wirt bestimmt. Zudem werden Interaktionen oft durch dominante geographische Effekte verdeckt, was den komplexen und dynamischen Prozess der endophytischen Ansiedlung zeigt. Die Phytochemie hat allgemein nur einen schwachen Einfluss auf die assoziierte endophytische Pilzzusammensetzung. Diese Studie liefert somit weitere Erkenntnisse über die Ökologie und die funktionelle Rolle endophytischer Pilze.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

**Guerreiro M. A.**, Kleetz J., Torres M. R., Polle A., Peršoh D., **Begerow D.**

### Erschienen als

Interaction between growth environment and host progeny shape fungal endophytic assemblages in transplanted *Fagus sylvatica*.  
Fungal Ecology 60: 101175 (2022)

doi: 10.1016/j.funeco.2022.101175

### Abbildung

Guerreiro M., digital nachgezeichnet von Uhl H.

Die Abbildung stellt die Regionen dar, aus denen die Bucheckern stammen sowie den weiteren Verlauf des Versuchs.

## Nutzung der Genom-information von holzabbauenden Pilzen in der Bioindustrie am Beispiel von Peroxygenasen

Pilze stellen eine außergewöhnliche Ressource für biobasierte Anwendungen in der Industrie dar. Pilzliche extrazelluläre Enzyme werden vielfach technisch genutzt und fortlaufend neu entdeckt und erforscht. Dabei spielt die Möglichkeit, Pilze unaufwendig zu sequenzieren, enzymkodierende Gene zu identifizieren und herzustellen, eine zentrale Rolle. Bereits in der letzten Phase der Biodiversitäts-Exploratorien wurden mehrere Pilzarten, die am Totholzabbau beteiligt sind, genomsequenziert und charakterisiert.

In dieser Studie wurde *Truncatella angustata* (Abb. 1), ein Endophyt und Pflanzenpathogen, sequenziert und analysiert. In komplementären Metabarcoding-Untersuchungen (d. h. eine massenweise Sequenzierung bestimmter Zielgene zur Identifizierung einzelner Arten einer Umweltprobe) wurde dieser Pilz auch in Douglasien-Totholzstämmen in den Biodiversitäts-Exploratorien nachgewiesen. Der Pilz hat eine Genomgröße von 45 Mbp (ungefähr 66-mal kleiner als das menschliche Genom) und ungefähr 12.300 Gene, darunter 12 sogenannte Unspezifische Peroxygenasen (UPO, EC 1.11.2.1). Die gewonnenen Genomdaten spielen zum Beispiel eine große Rolle für sogenannte Metaproteomstudien, in denen Proteine aus Umweltproben bereits bekannten Organismen zugeordnet werden, um ihre aktive Rolle bei ökologischen Prozessen nachzuweisen.

UPOs, deren Sequenzen in den Genomen von Tausenden von filamentösen Pilzen gefunden werden können, sind faszinierende Biokatalysatoren, die Sauerstoff aus Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$  oder R-OOH) mit hoher Effizienz auf eine breite Palette organischer Substrate übertragen. Ein doppelt Prolin-umrahmtes Cystein (PCP-Motiv) bindet in der Regel das Häm (Abb. 2), das das Herzstück des aktiven Zentrums von UPOs bildet und ermöglicht verschiedene Arten von relevanten Oxygenierungsreaktionen zusammen mit

### Autor\*innen

Herzog R., Hofrichter M., Karich A., **Kellner H.**, Kiebig J., Scheibner K., Ullrich R.

### Erschienen als

Peroxide-Mediated Oxygenation of Organic Compounds by Fungal Peroxygenases. *Antioxidants* 11: 163 (2022)

doi: 10.3390/antiox11010163

## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Hofrichter M., **Kellner H.**, Herzog R., Karich A., Kiebig J., Scheibner K., Ullrich R.

### Erschienen als

Draft genome sequence of *Truncatella angustata* (Anamorph) S358.

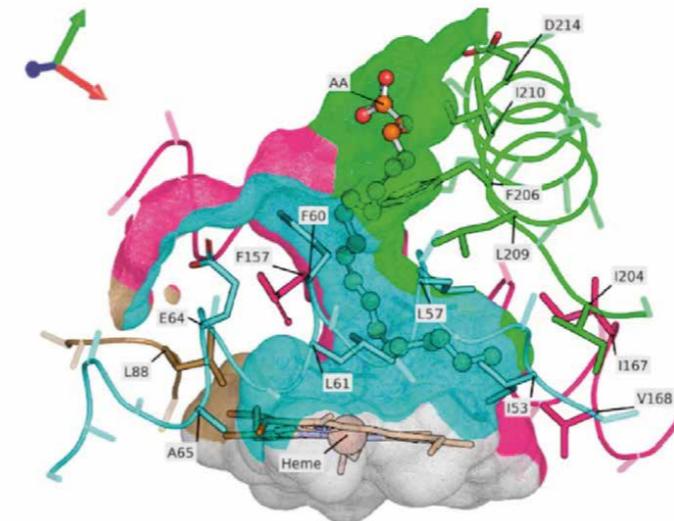
*Microbiology Resource Announcements* 11: e00052-22 (2022)

doi: 10.1128/mra.00052-22

### Foto & Abbildung

Oben: Herzog R., unten: Schmidtke K.-U.  
Oben: Ausschnitt aus einem UPO-Modell von *Truncatella angustata*. Die dreidimensionale Struktur wurde mit *AlphaFold2* berechnet. Zu sehen ist der zentrale Häm-Ligand, sowie die Substrattasche mit dem Substrat Arachidonsäure. Solche Modelle dienen zum Verständnis der Substrat-Enzym-Interaktionen und ermöglichen das Auffinden neuer biotechnologisch-relevanter Substrate, unten: *Truncatella angustata* als Reinkultur auf einer Agar-Platte.

weniger spezifischen Ein-Elektronen-Oxidationen. Infolgedessen kombiniert das Substratportfolio eines UPO-Enzyms immer Monoxygenase- und Peroxidase-Aktivitäten. Während die ökologische Rolle dieses Enzyms noch unbekannt ist, kann es biotechnologisch bereits für chemische Umsetzungen von Pharmazeutika verwendet werden.



## Mikroben auf Blüten und Blättern: Wie Landnutzung und Geographie die Gemeinschaften auf Pflanzen beeinflussen

Mikroben auf Blüten und Blättern sind von großer Bedeutung, da sie nicht nur die Gesundheit und das Wachstum der Pflanzen beeinflussen, sondern auch für die Bestäubung und somit die Produktion von Früchten und Samen unerlässlich sind. Darüber hinaus tragen diese Mikroben dazu bei, die Vielfalt der Pflanzenwelt und somit auch die Artenvielfalt insgesamt zu unterstützen.

In unserer Studie haben wir untersucht, wie Gemeinschaften dieser winzigen Organismen von Umweltfaktoren beeinflusst werden und welche Wechselwirkungen es mit der lokalen Landnutzung gibt. Dazu haben wir in den drei Exploratorien je zwei Pflanzenarten, den Scharfen Hahnenfuß und den Rotklee, untersucht. Unser Ziel war es zu verstehen, wie sich die Arten von Bakterien auf diesen Pflanzen zwischen Pflanzengewebe und geographischen Standorten unterscheiden und wie die Bakteriengemeinschaften von der Landnutzung beeinflusst werden.

Unsere Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede zwischen den Bakterien auf den einzelnen Pflanzenteilen. Einige Bakterien, die für die Bestäubung von großer Bedeutung sind, wurden ausschließlich auf den Blüten gefunden, während andere, die normalerweise im Boden leben, hauptsächlich auf den Blättern vorkamen. Bemerkenswert ist außerdem, dass eine intensive Landnutzung einen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaften hatte. Hohe Landnutzung führt zu einer verringerten Vielfalt und homogeneren bakteriellen Gemeinschaften. Dies hat wiederum Auswirkungen auf die Artenvielfalt, obwohl die dominanten Bakterienarten relativ unberührt blieben.

Unsere Forschung beleuchtet, wie Umweltveränderungen die mikrobiellen Gemeinschaften auf Pflanzen beeinflussen und liefert

wertvolle Erkenntnisse sowohl für den Erhalt der Biodiversität als auch für die Landwirtschaft. Denn Mikroben sind die kleinen Helfer der Pflanzen und spielen eine bedeutende Rolle in der Natur.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Gaube P., Junker R. R., Keller A.

### Erschienen als

Changes amid constancy: flower and leaf microbiomes along land use gradients and between bioregions.

Basic and Applied Ecology 50: 1–15 (2021)

doi: 10.1016/j.baae.2020.10.003

### Fotos

Oben: Gaube P., unten: Peters B.

Oben: Feldlaborarbeit: Extraktion bakterieller DNA von Blüten- und Blattoberflächen, unten: Scharfer Hahnenfuß und Rotklee (*Ranunculus acris* und *Trifolium pratense*).

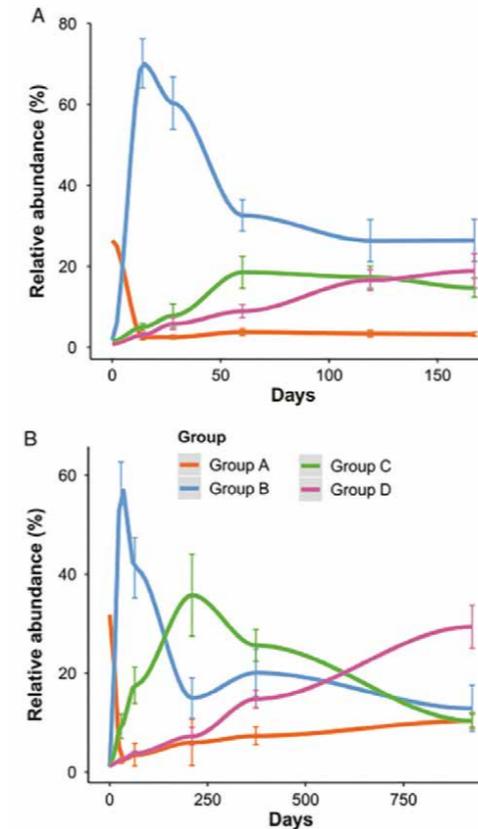
## Die bakterielle Besiedlung von Mineralien in Grünlandböden ist selektiv und sehr dynamisch

Bakterien sind ein wichtiger Bestandteil der Bodenlebewesen, etliche von ihnen heften sich typischerweise an kleinste Bodenpartikel an. Dabei können Bakterien Mineralien abbauen; dies geschieht vor allem chemisch durch die Produktion von Säuren. Dieser Prozess wird als Mineralverwitterung bezeichnet und ist essentiell für die Bodenbildung. Welche Bakterien die Mineralien im Boden besiedeln und wie schnell dies erfolgt, wurde bisher nur selten außerhalb des Labors im Freiland untersucht, ist aber relevant für das Tempo der Bodenbildung.

Daher haben wir die bakterielle Besiedlung von Illit- und Goethitmineralen (die als typische Mineralien in den Böden der Biodiversitäts-Exploratorien vorkommen) untersucht. Diese Minerale wurden im Boden vergraben und als Nährstoffe organische Kohlenstoffverbindungen hinzugegeben. Diese waren für die Bakterien entweder leicht (übliche Wurzelausscheidungen) oder schwerer (abgestorbene Pflanzenwurzeln zweier dominanter Grünlandpflanzenarten) verwertbar. In bestimmten Zeitabständen wurden die Mineralien wieder ausgegraben und die einzelnen Bakterienarten und ihre Häufigkeiten mit molekularen Methoden (16S rRNA Gen-Sequenzierung) bestimmt.

Wir erkannten ein klares Muster in der zeitlichen Entwicklung der Bakteriengemeinschaften in den Mineralien: Einige Bakterien finden sich hauptsächlich zu Beginn auf den Mineralien (=frühe Kolonisten), gefolgt von mittelschnellen Kolonisten und schließlich den langsamer wachsenden, späteren Besiedlern. Von vielen dieser Bakterien konnten wir die Arten bestimmen. Eine weitere Beobachtung war, dass die Besiedlungsmuster weitgehend unabhängig von der Art der Kohlenstoffquellen (leicht oder schwerer verwertbar) oder anderen Merkmalen der Böden waren.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Bodenmineralien nicht nur von bestimmten Bakteriengemeinschaften besiedelt werden, sondern auch eine Abfolge (Sukzession) klar abgrenzbarer Bakteriengemeinschaften ermöglichen.



## Mikroorganismen & Pilze

Autor\*innen

**Vieira S.**, Sikorski J., Gebala A., Boeddinghaus R. S., Marhan S., Rennert T., Kandler E., Overmann J.

Erschienen als

Bacterial colonization of minerals in grassland soils is selective and highly dynamic. *Environmental Microbiology* 22: 917-933 (2020)

doi: 10.1111/1462-2920.14751

Abbildung

Vieira S.

Zeitliche Veränderungen der relativen Häufigkeit von frühen (Gruppe B), intermittierenden (Gruppe C) und späten Besiedlern (Gruppe D) auf Mineralien, die mit (A) leichter oder (B) schwerer verwertbaren Kohlenstoffquellen beladen sind. Gruppe A bezieht sich auf Bakterien, die bereits in den Mineralien vorhanden waren, bevor sie vergraben wurden, und die meist nicht überlebten, sobald sie im Boden waren. Dagegen haben die Gruppen B, C und D mit unterschiedlichen zeitlichen Mustern die Mineralien neu besiedelt.

## Mineralosphäre – Interaktive Zone der Besiedlung durch Mikroorganismen und der Kohlenstoffnutzung in Grünlandböden

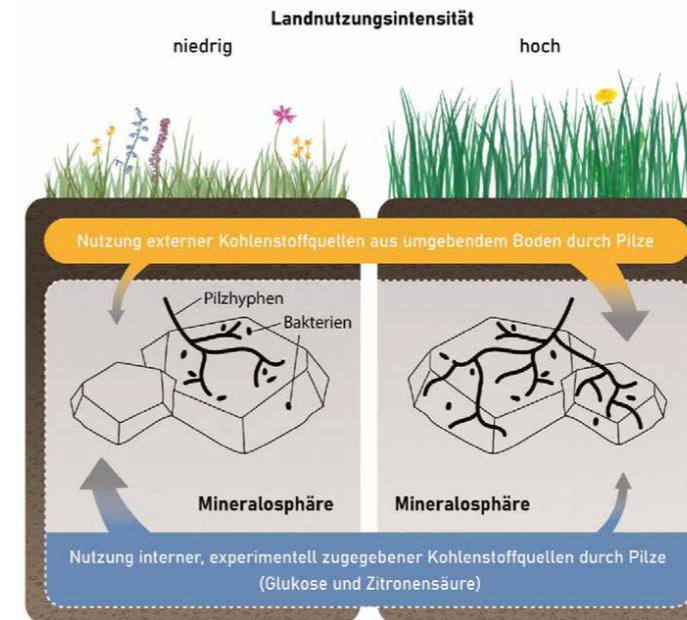
Minerale bieten Bodenorganismen einen Lebensraum, der als Mineralosphäre bezeichnet wird. In vielen Fällen unterscheidet sich dieser Lebensraum von anderen Lebensräumen des Bodens wie etwa der Rhizosphäre (um die Wurzel herum) oder der Detritusphäre (Bereich unterhalb der Streuschicht). Im Rahmen dieses Projektes wollten wir während einer Vegetationsperiode klären, welche Gruppen von Mikroorganismen Minerale besiedeln und inwieweit Mikroorganismen verfügbare Kohlenstoffquellen, die von Pflanzenwurzeln abgegeben werden, nutzen können.

Zu diesem Zweck haben wir Minerale mit Ausscheidungsstoffen der Wurzel (Wurzelexsudate), in diesem Fall Glukose und Zitronensäure, beladen und bis zu 24 Wochen im Oberboden von Grünlandböden der Schwäbischen Alb vergraben. Wir konnten nachweisen, dass Mikroorganismen die Exsudate innerhalb der ersten zwei Wochen genutzt und in andere kohlenstoffhaltige Verbindungen umgewandelt haben. Pilze und grampositive Bakterien nahmen die Kohlenstoff-Verbindungen schneller auf als gramnegative Bakterien. Gramnegative Bakterien profitierten vermutlich indirekt von den Kohlenstoffquellen, indem sie sich von der Biomasse abgestorbener Pilze und grampositiven Bakterien ernähren. Dies legt die Analyse der mikrobiellen Zellwände nahe.

Nach 24-wöchiger Auslage der Minerale in den Grünlandböden erreichte das Vorkommen der Mikroorganismen in der Mineralosphäre nur 3,1 % derer im übrigen Boden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sowohl Bakterien als auch Pilze neue Oberflächen von Mineralen eher langsam besiedeln. Bodenmikroorganismen nehmen jedoch schnell Wurzelexsudate auf und bilden dadurch eine aktive mikrobielle Gemeinschaft

in der Mineralosphäre. Pilze mit ihren Hyphen (Zellfäden) bilden dabei eine Brücke zwischen den externen Bodenpartikeln und der Mineralosphäre. Die Landnutzungsintensität der Grünlandflächen spielt dabei auch eine wichtige Rolle: Bei hoher Landnutzungsintensität transportieren Pilze mehr Kohlenstoff aus dem Boden in die Mineralosphäre als bei niedriger Landnutzungsintensität (siehe Abbildung).



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Boeddinghaus R. S., **Marhan S.**, Gebala A., Haslwimmer H., Vieira S., Sikroski J., Overmann J., Soares M., Rousk T., **Kandeler E.**

### Erschienen als

The Mineralosphere – Interactive zone of microbial colonization and carbon use in grassland soils. *Biology and Fertility of Soils* 57: 587-601 (2021)

doi: 10.1007/s00374-021-01551-7

### Abbildung

Brandt L.

Der Einfluss der Landnutzungsintensität auf die mikrobielle Besiedlung von Mineralen in unterschiedlichen Grünlandböden.

## Einflussfaktoren auf die Zusammensetzung aktiver bakterieller Gemeinschaften in der Rhizosphäre gemäßiger Graslandschaften

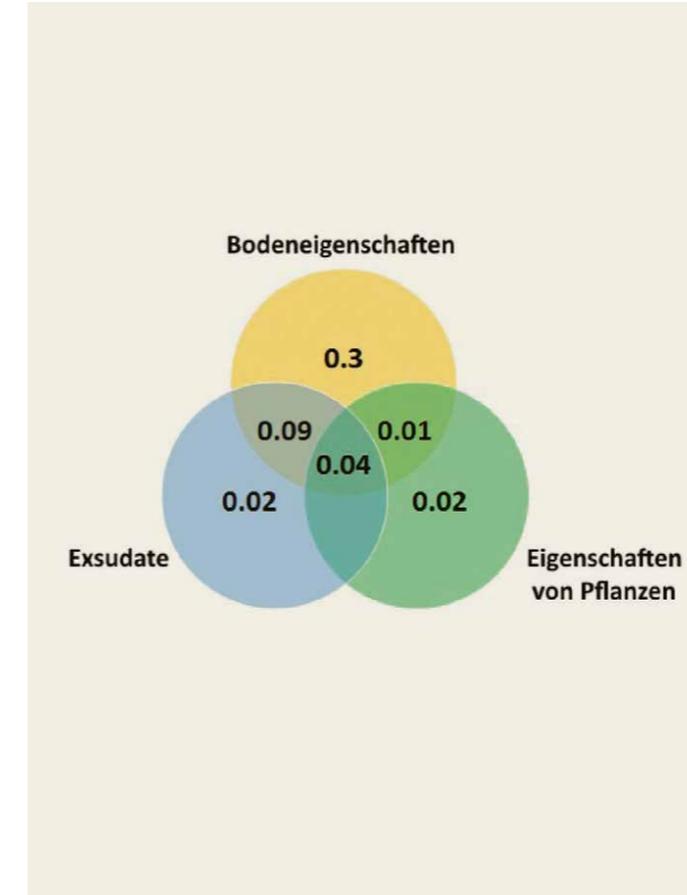
Als Rhizosphäre bezeichnet man den unmittelbar wurzelnahen Bereich im Boden. Dieser erstreckt sich typischerweise über nur 1-3 Millimeter und ist stark durch von den Wurzeln ausgeschiedene Exsudate geprägt. Exsudate stellen für einige Bakteriengruppen rasch erschließbare Nährstoffquellen dar. Die in die Rhizosphäre angelockten Bakterien bilden für die Pflanzen oft einen Schutz vor Krankheitserregern, sind also vorteilhaft und tragen erheblich zum Wachstumsertrag bei. Es besteht bisher die Auffassung, dass verschiedene Pflanzenarten jeweils ihre eigenen Rhizosphärenbakterien anlocken können. Dies ist aber oft nur an einzeln angezogenen Pflanzen untersucht worden. Dieses ökologische Szenario ist zudem untypisch für komplexe natürliche Pflanzengemeinschaften auf Grünlandflächen, wo verschiedene Pflanzenarten auf engstem Raum zusammenwachsen.

Daher haben wir die Rhizosphäre von sechs spezifischen Pflanzenarten auf jeweils acht verschiedenen Bodentypen untersucht, die als Bestandteil der natürlichen pflanzlichen Flora auf den Grünlandflächen wuchsen. Zusätzlich haben wir die chemische Zusammensetzung der jeweiligen Exsudate bestimmt.

Es zeigte sich, dass in diesem engen Wuchsverbund der Einfluss der jeweiligen Pflanzenspezies auf die Rhizosphärenzusammensetzung minimal bis nicht nachweisbar war, obwohl sich die Zusammensetzung der Exsudate etwas zwischen den Pflanzenarten unterschieden. Stattdessen dominierte der Einfluss unterschiedlicher Bodentypen.

Diese Untersuchung zeigt, dass für heterogene Pflanzengemeinschaften auf natürlichen oder naturnahen Grünlandflächen der Bodentyp wichtiger für die Anlockung von vorteilhaften Bakterien

in die direkte Wurzelumgebung ist als die artspezifische Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

**Vieira S.**, Sikorski J., Dietz S., Herz K., Schrupf M., Bruelheide H., Scheel D., Friedrich M. W., Overmann J.

### Erschienen als

Drivers of the composition of active rhizosphere bacterial communities in temperate grasslands.

The ISME Journal 14: 463–475 (2020)

doi: 10.1038/s41396-019-0543-4

### Abbildung

Vieira S.

Einfluss von Pflanzen, Bodeneigenschaften und Exsudaten auf die Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaften in der Rhizosphäre. Wir sehen, dass die Bodeneigenschaften den größten Einfluss haben.

## *Capillimicrobium parvum* ist eine neu entdeckte Bakterienart und Vertreter einer bisher unbekannt Familie von Bodenbakterien

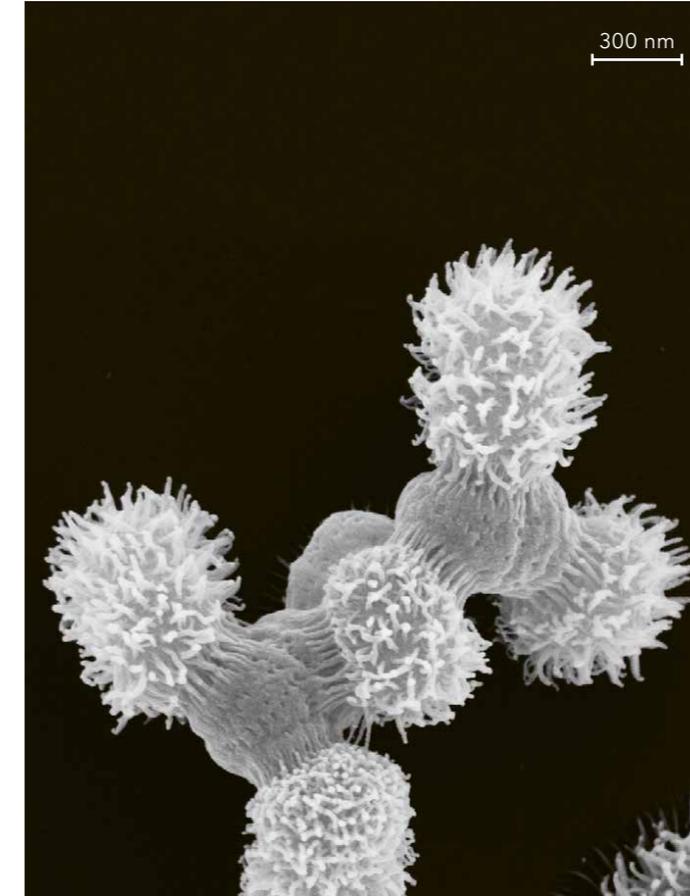
Selten gelingt es, eine neue Familie von Bakterien zu entdecken – dies wäre so, als würde man zum ersten Mal einen Vertreter der katzenartigen Tiere finden. Dies ist uns mit der Isolierung eines Bakteriums einer neuen Ordnung von Bakterien, den Solirubrobacterales, gelungen. Vertreter dieser Ordnung sind weit verbreitet und kommen weltweit häufig in Böden oder an Pflanzenwurzeln (d. h. in der sogenannten Rhizosphäre) vor.

Unser neuartiges Bakterium stammt aus einer 2014 gesammelten Bodenprobe einer Weidefläche im Gebiet Hainich-Dün. Der neue Stamm 0166\_1<sup>T</sup> bildet sehr kleine Zellen (0,75-1,25 µm lang und 0,5-0,75 µm breit), auf deren Oberflächen sich zahlreiche Fortsätze befinden, die zur Anheftung genutzt werden können (siehe Bild). Wir haben dieses Bakterium *Capillimicrobium parvum* aus der neuartigen Familie Capillimicrobiaceae genannt, was übersetzt so viel wie „kleine haarige Mikrobe“ bedeutet.

Der Stamm 0166\_1<sup>T</sup> wächst bei pH-Werten zwischen 5,3 und 8,3 und bei Temperaturen zwischen 10 °C und 40 °C. Er kann bei einem Salzgehalt von 5 % überleben, obwohl er viel niedrigere Konzentrationen bevorzugt. Dies ist der höchste Wert, der für Vertreter dieser Ordnung beschrieben wurde und zudem für Bodenbakterien ungewöhnlich. Das Bakterium ist in der Lage, Xylan, einen Hauptbestandteil von Pflanzenzellen, abzubauen. Es ist auch am Stickstoff- und Phosphor-Zyklus beteiligt, da es Nitrat zu Nitrit reduzieren kann und zudem Gene besitzt, die an der Aufnahme und Speicherung von Phosphor beteiligt sind.

Das Bakterium könnte zukünftig sogar für den Abbau von Schadstoffen wichtig sein, da sich in seinem Genom alle Gene für das Enzym Acetophenon-Carboxylase befinden, mit dem industriell

erzeugte Nebenprodukte wie Acetophenon abgebaut werden können.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

**Vieira S.**, Huber K. J., Geppert A., Wolf J., Neumann-Schall M., Luckner M., Wanner G., Mücken M., **Overmann J.**

### Erschienen als

*Capillimicrobium parvum* gen. nov., sp. nov., a novel representative of Capillimicrobiaceae fam. nov. within the order Solirubrobacterales, isolated from a grassland soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 72: 8 (2022)

doi: 10.1099/ijsem.0.005508

### Abbildung

Vieira, S.

Zellen von *Capillimicrobium parvum* 0166\_1<sup>T</sup> in einer elektronenmikroskopischen Aufnahme.

## Hohe ökologische Vielfalt von Bodenmikroorganismen am Beispiel der Acidobakterien

### Autor\*innen

**Sikorski J.**, Baumgartner V., Birkhofer K., Boeddinghaus R. S., Bunk B., Fischer M., Fösel B. U., Friedrich M. W., Göker M., Hölzel N., Huang S., Huber K. J., Kandeler E., Klaus V. H., Kleinebecker T., Marhan S., von Mering C., Oelmann Y., Prati D., Regan K. M., Richter-Heitmann T., Rodrigues João F. M., Schmitt B., Schönig I., Schrupp M., Schurig E., Solly E. F., Wolters V., Overmann J.

### Erschienen als

The Evolution of Ecological Diversity in Acidobacteria.  
Frontiers in Microbiology 13: 715637 (2022)

doi: 10.3389/fmicb.2022.715637

Die Gruppe der Acidobakterien stellt mit bis zu 40% einen erheblichen Anteil aller Bodenbakterien dar, wie umfassende molekulare Analysen gezeigt haben. Aufgrund ihrer hohen Abundanz müssten Acidobakterien also von besonderer Bedeutung für das Ökosystem Boden sein. Die ökologischen Funktionen konnten bisher jedoch nicht genauer untersucht werden, da diese Bakterien bisher kaum isoliert und in Laborkulturen zum Wachstum gebracht werden konnten. So ist bisher unklar, welchen Beitrag die Acidobakterien zum Nährstoffkreislauf leisten, wie resistent sie gegenüber dem Klimawandel sind und wie sie auf verschiedene Landnutzungsintensitäten reagieren.

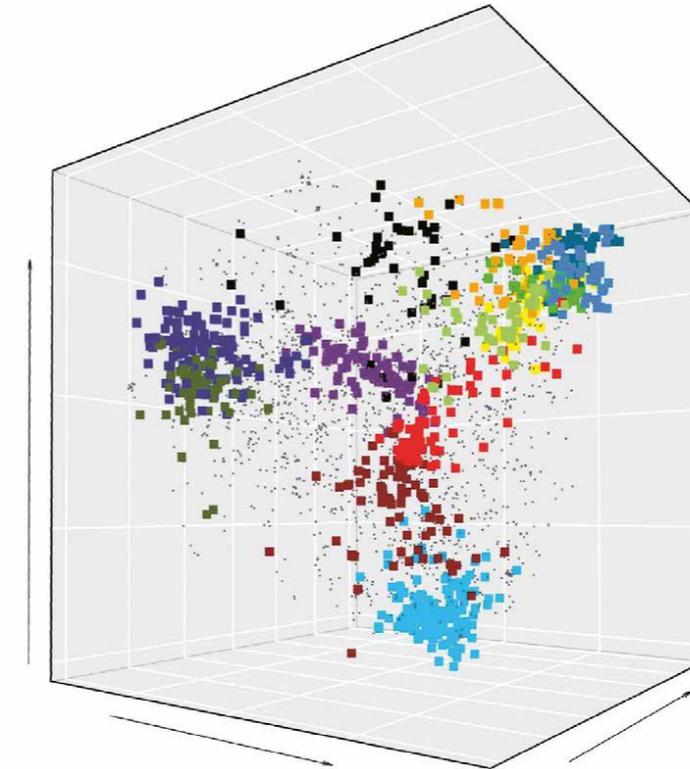
Bisher wurden gerade einmal 60 Arten kultiviert, obwohl Tausende von ihnen allein in den Biodiversitäts-Exploratorien vorkommen. So war es ein großer Erfolg, dass eine der in Böden relevanten Acidobakterien-Arten aus den Grünlandböden der Biodiversitäts-Exploratorien isoliert und ausführlich untersucht werden konnte.

Um nun trotz der schlechten Kultivierbarkeit im Labor einen Einblick in die ökologische Vielfalt und Rolle der Acidobakterien in Grünlandböden zu bekommen, entwickelten wir einen neuartigen Ansatz zur Analyse von ausschließlich molekularen Daten. Dies erlaubte die Ermittlung der jeweils spezifischen Kombination von Umweltvariablen – der sogenannten ökologischen Nische – bei der eine bestimmte Art von Acidobakterien ihre höchste Aktivität im Boden zeigt. Wir konnten bis zu 13 ganz verschiedene Typen von Nischen identifizieren, an die sich unterschiedliche Acidobakterien optimal angepasst haben und somit ihre jeweils spezifische Rolle in der Umwelt einnehmen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Acidobakterien eine sehr hohe

## Mikroorganismen & Pilze

ökologische Vielfalt auch in Böden mit hoher Landnutzungsintensität haben. Die Diversität und Aktivität der Bodenbakterien hängt allerdings direkt mit den Umwelt- und Nutzungsbedingungen der Böden zusammen. Daraus lässt sich eine wichtige Rolle der zumeist unbekanntesten Bodenbakterien ableiten, die in Zukunft noch genauer erforscht werden muss.



### Abbildung

Sikorski J.

3D-Darstellung ökologische Nischenvielfalt von Acidobakterien in Grünlandflächen. Jeder Punkt stellt die ökologische Nische einer spezifischen Art dar. Farbige Punkte markieren die dominanten Nischen. Wolken gleichfarbiger Punkte kennzeichnen sehr ähnliche ökologische Nischen verschiedener Acidobakterien, während verschiedenfarbige Punkte unterschiedliche Nischen repräsentieren. Die weit verteilten dunkelgrauen Punkte stellen ökologische Nischen dar, die nur von einzelnen Acidobakterien-Arten wahrgenommen werden.

## Biodiversität Nitrat-/Nitrit-reduzierender Mikroorganismen in Grünlandböden

### Autor\*innen

Timsy, **Behrendt U.**, Ulrich A., Foesel B.U., Spanner T., Neumann-Schaal M., Wolf J., Schloter M., Horn M.A., Kolb S.

### Erschienen als

Genomic evidence for two pathways of formaldehyde oxidation and denitrification capabilities of the species *Paracoccus methylovorus* sp. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology (IJSEM) 72: 005581 (2022)

doi: 10.1099/ijsem.0.005581

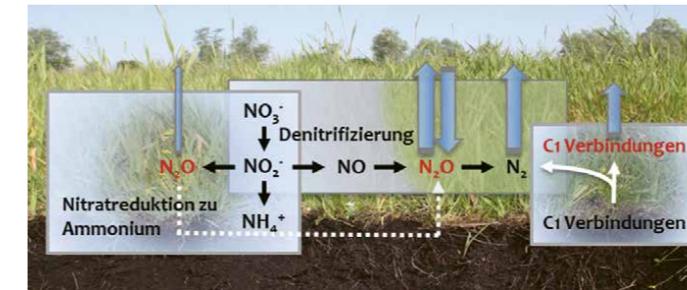
Denitrifikation und dissimilatorische Nitrat-/Nitritreduktion zu Ammonium (DNRA) sind Teil des Stickstoffkreislaufes, bei dem entweder molekularer Stickstoff oder Ammonium gebildet wird. Gleichzeitig kann das klimarelevante Lachgas ( $N_2O$ ) freigesetzt oder aber reduziert werden. Die gasförmigen Produkte der Denitrifikation führen zu Stickstoffverlusten im Boden, während DNRA Ammonium bildet, das länger im Boden für Pflanzen und Mikroorganismen verfügbar bleibt. Beide Prozesse laufen unter ähnlichen sauerstoffreduzierten Bedingungen ab und konkurrieren um das verfügbare Nitrat und Nitrit. Inwieweit welcher Umsetzungsprozess dominiert, wird neben abiotischen Faktoren auch durch die funktionelle Diversität der mikrobiellen Gemeinschaften bestimmt. Vor diesem Hintergrund wurde der Einfluss der Landnutzungsintensität auf entsprechende Bakteriengruppen untersucht. Das Genom einzelner Stämme ausgewählter taxonomischer Gruppen wurde sequenziert und analysiert, um ein besseres funktionelles Verständnis zu erlangen. Im Folgenden stellen wir zwei dieser Gruppen vor.

Eine Stammgruppe, *Paracoccus methylovorus*, besitzt Gene für die vollständige Denitrifikation. Neben den Genen für eine respiratorische Nitratreduktase (*narA*), einer periplasmatischen Nitritreduktase (*nirS*), der periplasmatischen Stickstoffmonoxid-Reduktase (*norBC*), wurde das Gen für die  $N_2O$ -Reduktase (*nosZ*) zur Umwandlung von  $N_2O$  in Stickstoff identifiziert. Somit kann die physiologische Leistung dieser Gruppe eine Quelle und Senke von  $N_2O$  sein. Zusätzlich sind Gene für eine assimilatorische Nitratreduktase (*nasA*) und die Nitritreduktase (*nirBD*) vorhanden. Letztere kann sowohl die Umwandlung von Nitrit in Ammonium dissimilatorisch wie auch assimilatorisch katalysieren. Die assimilatorische Reduktion dient zwar nicht der Konservierung von Energie, kann jedoch Nitrat auch in Ammonium umwandeln und damit vor Verlusten schützen. Wie bei

## Mikroorganismen & Pilze

vielen *Paracoccus*-Arten konnten auch bei dieser neuen Art die Gene zur Nutzung von C1-Kohlenstoffverbindungen für das Wachstum oder zur Energiegewinnung nachgewiesen werden. In diesem Fall besteht das Potential zur Oxidation von Methanol und Methylamin zu Kohlendioxid. Das toxische Zwischenprodukt Formaldehyd kann dabei durch zwei verschiedene biochemische Wege dissimiliert werden. Der Nachweis der Genausstattung für beide Prozesse innerhalb eines Organismus wurde für die Gattung *Paracoccus* erstmalig beschrieben.

Im Gegensatz zu *Paracoccus methylovorus* ist die Genausstattung der ebenfalls neu beschriebenen Art *Pseudomonas campi* hinsichtlich des Stickstoffmetabolismus weniger komplex. Ein ausgewählter Stamm konsumierte unter aeroben Bedingungen Nitrat und Nitrit, ohne  $NH_4^+$  freizusetzen, während geringe Mengen  $N_2O$ , vermutlich durch Nitritentgiftung, gebildet wurden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Stamm Nitrat und Nitrit für die Assimilation nutzt und das entstehende Ammonium vollständig für den Zellstoffwechsel verwendet. Die Genomanalyse bestätigte das Vorhandensein der Gene für die assimilatorische Nitrat- (*nasA*) und die Nitritreduktase (*nirBD*).



### Autor\*innen

Timsy, Spanner T., Ulrich A., Kublik S., Foesel B. U., Kolb S., Horn M. A., **Behrendt U.**

### Erschienen als

*Pseudomonas campi* sp. nov., a nitrate-reducing bacterium isolated from grassland soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology (IJSEM) 71: 004799 (2021)

doi: 10.1099/ijsem.0.004799

### Abbildung

Behrendt U.

Wichtige Stoffwechselprozesse zur Lachgasbildung und -verwertung im Boden.

## Erstmalige Verknüpfung der saisonalen Aktivitäten von Methan-verarbeitenden Mikrobiomen und Methanflüssen in Grünlandböden

Weltweit sind Böden die größte biologische Senke für in der Atmosphäre befindliches Methan ( $\text{CH}_4$ ). Die Methan-Flüsse im Boden werden durch ein komplexes Zusammenspiel von mikrobiellen Prozessen bestimmt, bei denen  $\text{CH}_4$ -bildende (methanogene) und  $\text{CH}_4$ -abbauende (methanotrophe) Mikroorganismen eine Schlüsselrolle spielen. Diese Mikroorganismen entscheiden darüber, ob Böden zu Quellen oder Senken für dieses starke Treibhausgas werden. Ein umfassendes Verständnis der zugrunde liegenden Dynamiken des Bodenmikrobioms wurde bisher nur selten *in situ* gewonnen.

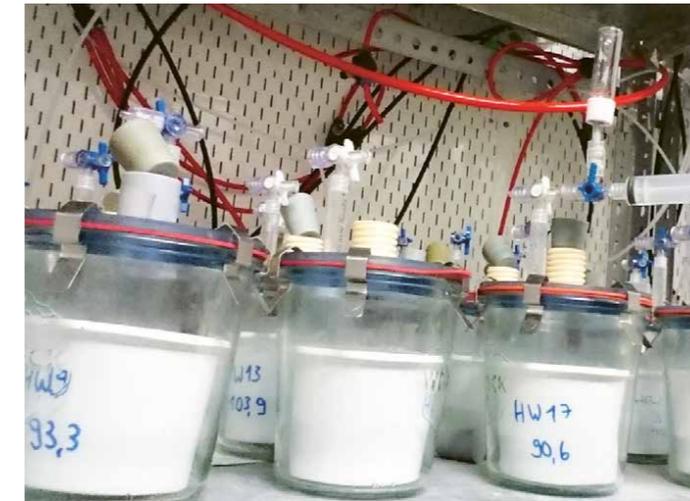
Mithilfe einer neuen Methode, der quantitativen Metatranskriptomik, wollten wir die Aktivität des Bodenmikrobioms mit den  $\text{CH}_4$ -Nettoflüssen in zwei Grünlandböden über ein Jahr hinweg in Verbindung bringen.

Die  $\text{CH}_4$ -Flüsse erwiesen sich als sehr dynamisch: Beide Böden emittierten im Herbst und Winter Methan, während sie im Frühjahr und Sommer Methan aus der Atmosphäre aufnahmen. Wir konnten mittels Metatranskriptomik zeigen, dass die transkriptionelle Aktivität der methanbildenden Mikroben gut mit den saisonalen Gasflüssen korrelierte. Im Herbst und Winter waren die methanbildenden Mikroben sehr zahlreich und aktiv. Im Frühjahr und Sommer allerdings, wenn die Böden als  $\text{CH}_4$ -Senken fungierten, waren vermehrt methanabbauende Mikroorganismen nachweisbar und weniger Methanbildende. Besonders abundant waren Methanfresser der USC-Gruppen, die auf die niedrigen atmosphärischen Methankonzentrationen spezialisiert sind.

In unserer Studie wurde zum ersten Mal die saisonale Transkriptionsdynamik von  $\text{CH}_4$ -zyklierenden Bodenmikrobiomen mit Gasflüssen

## Mikroorganismen & Pilze

*in situ* in Verbindung gebracht. Sie zeigt einen Weg auf, um das Mikrobiom als Indikator für dynamische Prozesse auf Ökosystemebene nutzen zu können. Beispielsweise könnte eine Messung der Transkriptionshäufigkeit der Methanbildner genutzt werden, um die  $\text{CH}_4$ -Emissionen von Grünlandböden abzuschätzen.



### Autor\*innen

Täumer J., Marhan S., Gross V., Jensen C., Kuss A. W., Kolb S., **Urich T.**

### Erschienen als

Linking transcriptional dynamics of  $\text{CH}_4$ -cycling grassland soil microbiomes to seasonal gas fluxes.

ISME 16: 1788–1797 (2022)

doi: 10.1038/s41396-022-01229-4

### Foto

Täumer J.

Mikrokosmen zur Messung der potentiellen Methanaufnahme von Böden.

## Die räumliche und zeitliche Verteilung von Bodenbakterien in einem extensiv genutzten Grünland folgt eher dem Zufall als natürlicher Selektion

In einem Gramm Boden befinden sich Millionen von Bakterien, die tausenden verschiedenen Arten angehören. Bisher ist jedoch noch nicht genau bekannt, wie diese Bakterien im Boden verteilt sind und ob diese Verteilung der Bodenbakterien zufällig oder durch die natürliche Selektion der am besten an die lokalen Umweltbedingungen angepassten Arten erfolgt.

Um dieser Frage nachzugehen, entnahmen wir im Jahr 2011 auf einer Grünlandfläche auf der Schwäbischen Alb insgesamt 360 Bodenproben an 60 definierten Punkten innerhalb einer Fläche von 10x10m<sup>2</sup> an sechs Zeitpunkten innerhalb der Vegetationsperiode. Aus den Bodenproben wurde bakterielle Ribonukleinsäure (RNA) extrahiert, deren Basenfolge bestimmt („sequenziert“) und mit ihrer Hilfe die Zusammensetzung der lokalen bakteriellen Gemeinschaften identifiziert.

Insgesamt unterschieden sich die meisten (~82%) der 360 untersuchten Lebensgemeinschaften nicht besonders voneinander. Auch wenn wir vereinzelt zeitlich und räumlich begrenzte starke Änderungen in der Artenzusammensetzung feststellen konnten, zeigte sich doch das Gesamtbild einer robusten und einheitlichen bakteriellen Gemeinschaft. Dies lag vor allem daran, dass bestimmte, besonders häufig und überall vorkommende Arten, ein stabiles Rückgrat bildeten. Die seltenen Arten veränderten sich währenddessen sehr dynamisch in Raum und Zeit. Schwankungen von Umweltparametern spielten für diese Änderungen eine untergeordnete Rolle. Insgesamt lässt sich die Entwicklung der bakteriellen Gemeinschaft auf dieser Grünlandfläche am besten mit einer längerfristigen Homogenisierung durch relativ ungestörte, zufällige („stochastische“) Ausbreitung erklären.

## Mikroorganismen & Pilze

Unsere Studie konnte zeigen, dass sich engmaschig aufgelöste räumliche und zeitliche Probenahmen lohnen, um die Variabilität von bakteriellen Lebensgemeinschaften zu erfassen. Aus bodenbiologischer Sicht ist die Erkenntnis wichtig, dass sich manchmal – ohne große Veränderung der Bodenparameter – bakterielle Gemeinschaften plötzlich deutlich verändern können. Aus mikrobiologischer Sicht wurden räumliche, zeitliche und Umweltprozesse auf sehr engen Skalen erstmalig gemeinsam untersucht und quantifiziert.



April



Mai



Juni



August



Oktober



November

### Autor\*innen

**Richter-Heitmann T.**, Hofner B., Krah F.-S., Sikorski J., Wüst P. K., Bunk B., Huang S., Regan K., Berner D., Boeddinghaus R.S., Marhan S., Prati D., Kandeler E., Overmann J., Friedrich M. W.

### Erschienen als

Stochastic dispersal rather than deterministic selection explains the spatio-temporal distribution of soil bacteria in a temperate grassland.

Frontiers in Microbiology 11: 1391 (2020)

doi: 10.3389/fmicb.2020.01391

### Fotos

Regan K.

Die Grünlandfläche AEG 31 im Wandel der Vegetationsperiode 2011.

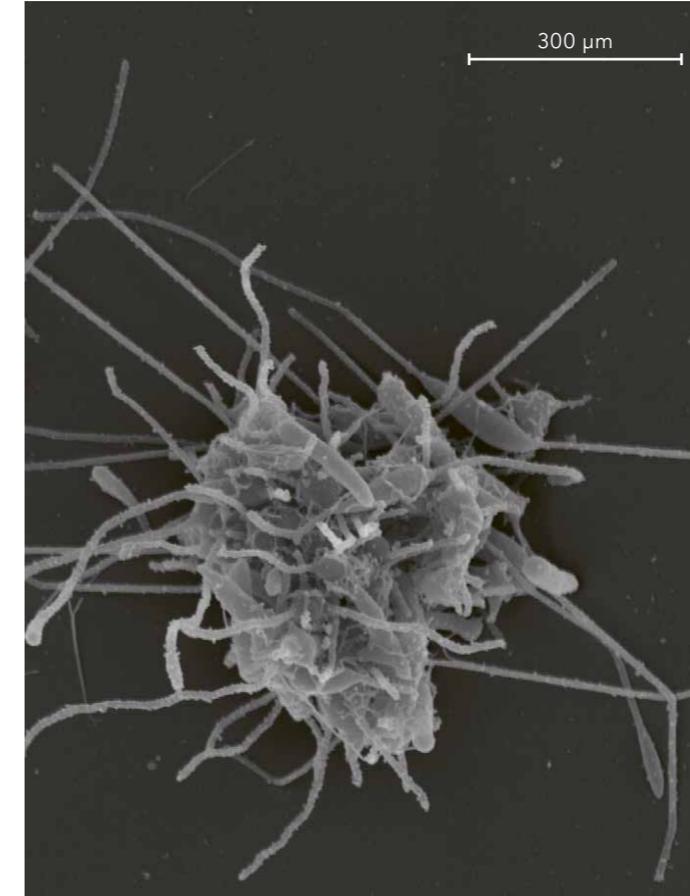
## Entdeckung der *Terricaulis silvestris*: Eine neue Art und Gattung aus der Familie Caulobacteraceae im Waldboden

Bakterien der Familie Caulobacteraceae sind deswegen interessant, weil sie ihre Lebensweise ändern können: Die Zellen können beweglich sein, während sie andererseits auch an Bodenstrukturen oder anderen Organismen angeheftet sein können. Die Anheftung geschieht durch ein sogenanntes Prosthecum, einen mikroskopisch gut sichtbaren Zellfortsatz. Dieser Wechsel in der Lebensweise kann ökologische Vorteile bei der Nahrungsaufnahme oder Verbreitung haben. Diese Bakterien sind in vielen verschiedenen Lebensräumen zu finden, z. B. im Boden, in der Rhizosphäre, in Pflanzenwurzeln, in Abwässern und in der aquatischen Umwelt, sowohl im Meer als auch im Süßwasser.

Aus einer Waldbodenprobe in der Schwäbischen Alb konnten wir Stamm 0127\_4<sup>T</sup> als ein neues Mitglied dieser Gruppe kultivieren. Dieses Bakterium wurde *Terricaulis silvestris* genannt. Der Name verweist auf ein gestieltes (oder prosthekates) Bakterium aus dem Waldboden. Dieses Bakterium wächst bei Temperaturen zwischen 10-30°C, bei einem pH-Wert von 6,1-8,3 und nur in Abwesenheit von Salz. Das Bakterium kann viele Kohlenstoffsubstrate für das Wachstum nutzen, vor allem Aminosäuren, organische Säuren und komplexe Proteinsubstrate. Die Zellen des Stammes 0127\_4<sup>T</sup> sind 0,8-3,0µm lang und 0,4-1µm breit und haben typischerweise zwei oder drei Zellfortsätze (Prosthecae; siehe Abbildung). Ungewöhnlich an diesem Bakterium ist, dass die Zellfortsätze nicht wie bei allen anderen Vertretern der Familie Caulobacteraceae zur Anheftung, sondern zur Vermehrung genutzt werden. Am Ende jeden Fortsatzes können sich durch Knospung Tochterzellen bilden. Dies geschieht normalerweise an jeweils einem einzelnen Zellfortsatz.

Anhand der Genominformationen konnten wir Gene identifizieren, die mit dem Phosphattransport und der Phosphatspeicherung

zusammenhängen, was auf eine ökologische Relevanz dieses Bakteriums im Phosphatzyklus hinweist.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

**Vieira S.**, Pascual J., Boedeker C., Geppert A., Riedel T., Rohde M., Overmann J.

### Erschienen als

*Terricaulis silvestris* gen. nov., sp. nov., a novel prosthecate, budding member of the family Caulobacteraceae isolated from forest soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 70: 4966-4977 (2020)

doi: 10.1099/ijsem.0.004367

### Abbildung

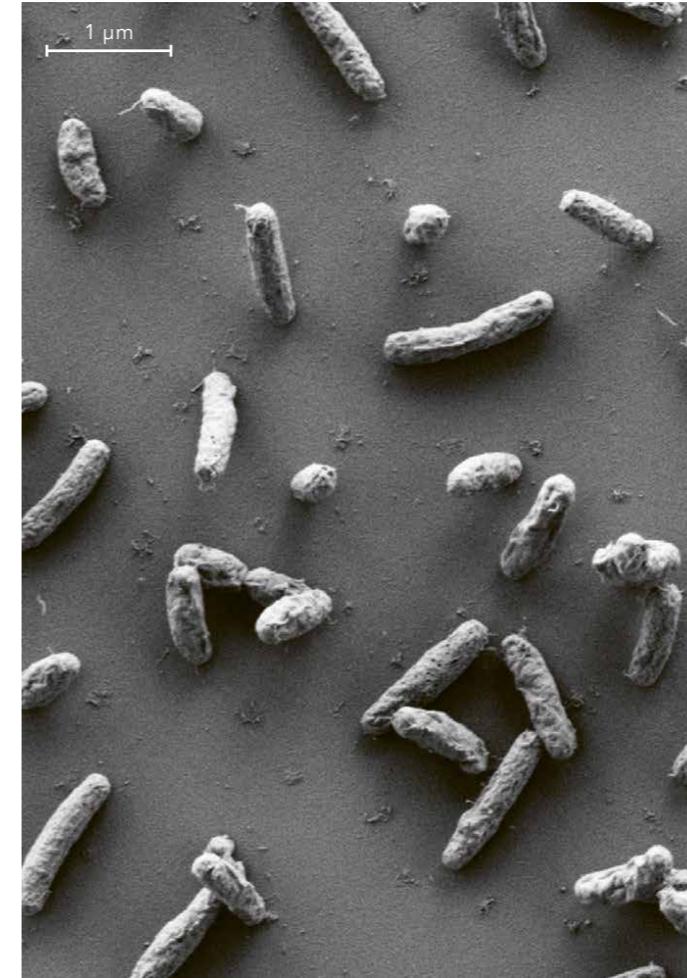
Vieira S.

Zusammenschlüsse von Zellen von *Terricaulis silvestris* 0127\_4<sup>T</sup> in einem rasterelektronenmikroskopischen Bild.

## Die Entdeckung von zwei neuen Bakterienarten im Boden (*Usitatibacter rugosus* und *Usitatibacter palustris*) stellt eine neue Familie dar

Die bakterielle Ordnung Nitrosomonadales enthält Bakterien, die ökologisch sehr vielfältig sind. Da einige der Arten mit den Treibhausgasen CO<sub>2</sub> oder Methan als Kohlenstoffquelle wachsen, spielen sie potentiell auch eine Rolle für den Klimawandel. Diese Bakterien haben sehr unterschiedliche Zellformen und sind an zahlreichen natürlichen oder menschengemachten Standorten zu finden.

Uns ist die erstmalige Kultivierung von Bakterien gelungen, die nicht nur zwei neuen Arten angehören, sondern auch einer bisher unbekanntem Gattung und sogar einer neuen Bakterienfamilie (im Tierreich entspräche dies z. B. der Entdeckung des ersten Vertreters aus der Familie der Katzenartigen). Eine dieser Bakterienarten stellen wir hier näher vor. Sie stammt aus dem Boden eines unbewirtschafteten Buchenwaldes auf der Schwäbischen Alb. Das als Stamm 0125\_3<sup>T</sup> bezeichnete Isolat hat stäbchenförmige Zellen mit einer faltigen Oberfläche, die 1-2,2 µm lang und 0,4-0,5 µm breit sind (siehe Abbildung). Gelegentlich können die Zellen viel länger sein und bis zu 4,8 µm erreichen. Dieses Bakterium kann sich, im Gegensatz zu seinen nahen Verwandten, nicht bewegen. Es kann in saurem (pH 4,8) bis leicht alkalischen (pH 8,8) Milieu und über einen breiten Temperaturbereich von 4 °C bis 40 °C leben. Dagegen werden nur geringe Salzgehalte (bis zu 0,25%) toleriert. Das Bakterium kann viele Kohlenstoffsubstrate für das Wachstum nutzen, vor allem organische Säuren, Zucker und komplexe Proteinsubstrate. Aus seinem Genom lässt sich eine Rolle im Phosphorzyklus ableiten, da wir Gene identifizieren konnten, die an der Phosphoraufnahme und -speicherung beteiligt sind. Das Bakterium besitzt auch mehrere Proteine, die an der Glykogenproduktion beteiligt sind, was darauf schließen lässt, dass es dieses Polysaccharid als Energiespeicher nutzen kann. Der Stamm 0125\_3<sup>T</sup> wurde *Usitatibacter rugosus* getauft (auf Deutsch ungefähr „ein häufig vorkommendes stäbchenförmiges Bakterium mit etwas faltiger Oberfläche“, siehe Bild).



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

**Vieira S.**, Huber K. J., Neumann-Schaal M., Geppert A., Luckner M., Wanner G., Overmann J.

### Erschienen als

*Usitatibacter rugosus* gen. nov., sp. nov. and *Usitatibacter palustris* sp. nov., novel members of Usitatibacteraceae fam. nov. within the order Nitrosomonadales isolated from soil. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 71: 004631 (2021)

doi: 10.1099/ijsem.0.004631

### Abbildung

Vieira S.

Zellen von *Usitatibacter rugosus* 0125\_3<sup>T</sup> in einer elektronenmikroskopischen Aufnahme.

## Biologische Stickstofffixierung im Totholz

Totholz weist zu Beginn des Zersetzungsprozesses sehr geringe Stickstoffgehalte auf. Mikroorganismen, die Totholz zersetzen, sind daher auf externe Stickstoffquellen angewiesen. So kann Stickstoff über Niederschlagswasser (in Form von Nitrat oder Ammonium) oder durch Bakterien, die im Totholz leben und Luftstickstoff fixieren, aufgenommen werden. Bei Bodenkontakt können alternativ auch Pilzhyphen verfügbaren Stickstoff aus dem Boden aufnehmen.

Das Ziel dieser Studie war es, die Stickstofffixierungsrate im Totholz verschiedener Baumarten nach elf Jahren Zersetzung zu bestimmen und genetische Nachweise für das Vorkommen und die Häufigkeit von aktiven stickstofffixierenden Bakterien im Totholz zu erbringen. Die Studie ist Teil des *BELongDead*-Experiments, bei dem Stämme von 13 heimischen Baumarten in 30 Waldflächen ausgebracht wurden. Neben der Stickstofffixierungsrate und Genanalyse wurden eine Reihe chemischer Parameter der Holzproben bestimmt.

In allen Totholzproben konnte eine Stickstofffixierung und das bakterielle *nifH*-Gen, das für die Stickstofffixierung verantwortlich ist, nachgewiesen werden. Jedoch war die Variabilität beider Parameter sehr hoch, sodass keine Unterschiede zwischen einzelnen Baumarten erkennbar waren. Insgesamt zeigten zerstreutporige Laubhölzer höhere Fixierungsraten als Nadelhölzer und ringporige Laubhölzer. Höhere Molybdän-, Phosphor-, Schwefel- und Stickstoffgehalte wirkten sich positiv auf die Stickstofffixierung im Totholz aus.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Stickstofffixierung im Totholz ein wichtiger mikrobieller Prozess ist, der zur Zersetzung des Totholzes beiträgt. Die genetischen Analysen deuten darauf hin, dass die Diversität der stickstofffixierenden Bakterien sehr groß

## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Groß C., Hossen S., Hartmann H., Noll M., Borken W.

### Erschienen als

Biological nitrogen fixation and *nifH* gene abundance in deadwood from 13 different tree species.

Biogeochemistry 161: 353-371 (2022)

doi: 10.1007/s10533-022-00986-w

### Foto

Kellner H.

Querschnitt durch einen sich zersetzenden Totholzstamm des *BELongDead*-Experiments. Der Laubholzstamm wurde 2009 in einem Fichtenbestand ausgelegt und 2021 wurde eine Stammscheibe zur Berechnung des Masseverlusts entnommen. Deutlich erkennbar sind die Zonierungen im Holz, die durch verschiedene, sich voneinander abgrenzenden Pilzen verursacht werden. Auf den Stämmen hat sich teilweise eine dichte Laubmooschicht gebildet, in der viele stickstofffixierende Bakterien leben. Im Hintergrund ist ein Eklektor zum Insektenfang zu sehen.

ist. Der Vergleich mit Studien aus Nordamerika und Nordeuropa zeigt zudem, dass die hohe Stickstoffdeposition in Deutschland keinen Einfluss auf die Stickstofffixierung im Totholz hat.



## Die im Boden stark verbreitete bakterielle Gruppe *Candidatus Udaeobacter* zeigt Präferenzen für saure pH-Werte

Die Gruppe *Candidatus Udaeobacter* zählt zu den sogenannten Verrucomicrobia, deren Mitglieder eine enorme Vielfalt von Stoffwechseleigenschaften umfassen. Mitglieder dieser Gruppe gehören außerdem zu den dominierenden Bakterien im Boden. Trotz der weltweiten Verbreitung dieser Gruppe fehlen jedoch eingehende Analysen hinsichtlich ihrer pH-Präferenzen.

In dieser Studie haben wir mittels Untersuchungen von genetischem Material aus Bodenproben den Einfluss des pH-Wertes auf die Abundanz sowie die Zusammensetzung der Gruppe *Candidatus Udaeobacter* untersucht. Auf der Grundlage von 150 Wald- und 150 Grünlandböden, die einen weiten pH-Bereich abdecken, ermittelten wir die höchste Abundanz von *Candidatus Udaeobacter* in stark saurem Boden (pH-Wert ~ 5,1) sowie in Boden mit noch geringerem pH-Wert (pH-Wert < 3,5). Bemerkenswerterweise nahm die Abundanz bei einem pH-Wert  $\geq 7$  drastisch ab.

Die Analyse der sechs am häufigsten vorkommenden Untergruppen von *Candidatus Udaeobacter* zeigte die höchste Abundanz in einem stark sauren pH-Bereich von etwa 4,7-5,2 und nur in einem Fall bei einem leicht sauren pH-Wert (pH 6,1).

Unsere Studie umfasst eine hochspezifische Abundanzanalyse von *Candidatus Udaeobacter*, die deutlich anzeigt, dass diese weltweit verbreitete Bakteriengruppe eine Präferenz für saure Böden aufweist.

## Mikroorganismen & Pilze



### Autor\*innen

Willms I. M., Bolz S. H., Yuan J., Krafft L., Schneider D., Schöning I., Schrupf M., **Nacke H.**

### Erschienen als

The ubiquitous soil verrucomicrobial clade '*Candidatus Udaeobacter*' shows preferences for acidic pH.  
Environmental Microbiology Reports 13: 878–883 (2021)

doi: 10.1111/1758-2229.13006

### Foto

Nacke H.

Bildmaterial der koordinierten Bodenprobenahme 2017 (Grünland).

## Entdeckung von neuen Antibiotikaresistenzgenen in Wald- und Grünlandböden

Boden gilt als eines der größten Umweltreservoirs für Antibiotikaresistenzgene auf unserem Planeten. Diese Gene können potenziell unter Mikroorganismen verbreitet werden und in einigen Fällen von klinischen Krankheitserregern übernommen werden. Daher gewinnt das Wissen über ihre Vielfalt, Mobilität und der kodierten Resistenzen zunehmend an öffentlicher Aufmerksamkeit. Dieses Wissen ermöglicht potenziell eine verbesserte Risikovorhersage sowie die Entwicklung von Strategien zur Bekämpfung von Antibiotikaresistenzen. Außerdem könnte es zur Entwicklung neuer Antibiotika beitragen, bevor weitere Resistenzen in Krankenhäusern oder im Tiersektor auftreten.

In dieser Studie wurden Wald- und Grünlandböden mithilfe molekularbiologischer Methoden auf bisher unbekannte Antibiotikaresistenzgene untersucht. Wir konnten drei neue Beta-Lactam-, ein bisher unbekanntes Chloramphenicol-, ein neues Fosfomycin- sowie drei bisher unentdeckte Trimethoprim-Resistenzgene identifizieren. Diese Antibiotikaresistenzgene stammen aus unterschiedlichen Bakteriengruppen und ermöglichen verschiedene Resistenzmechanismen, wie zum Beispiel Antibiotika-Inaktivierung. Zudem weisen sie teilweise nur eine sehr geringe Ähnlichkeit zu bereits bekannten Antibiotikaresistenzgenen auf.

Alle in unserer Studie gefundenen Gene verleihen auch einem nicht krankheitserregenden *Escherichia coli* Stamm eine starke Resistenz gegen die entsprechenden Antibiotika (*Escherichia coli*: Darmbakterium, das zur Gruppe der Enterobacteriaceae zählt). Es ist daher wahrscheinlich, dass dies auch bei verwandten krankheitserregenden Vertretern der Enterobacteriaceae der Fall sein könnte.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Willms I. M., Grote M., Kocatürk M., Singhoff L., Kraft A. A., Bolz S. H., **Nacke H.**

### Erschienen als

Novel Soil-Derived Beta-Lactam, Chloramphenicol, Fosfomycin and Trimethoprim Resistance Genes Revealed by Functional Metagenomics.

Antibiotics 10: 378 (2021)

doi: 10.3390/antibiotics10040378

### Foto

Nacke H.

Entnommener Bodenkern während der Bodenprobenahme 2017.

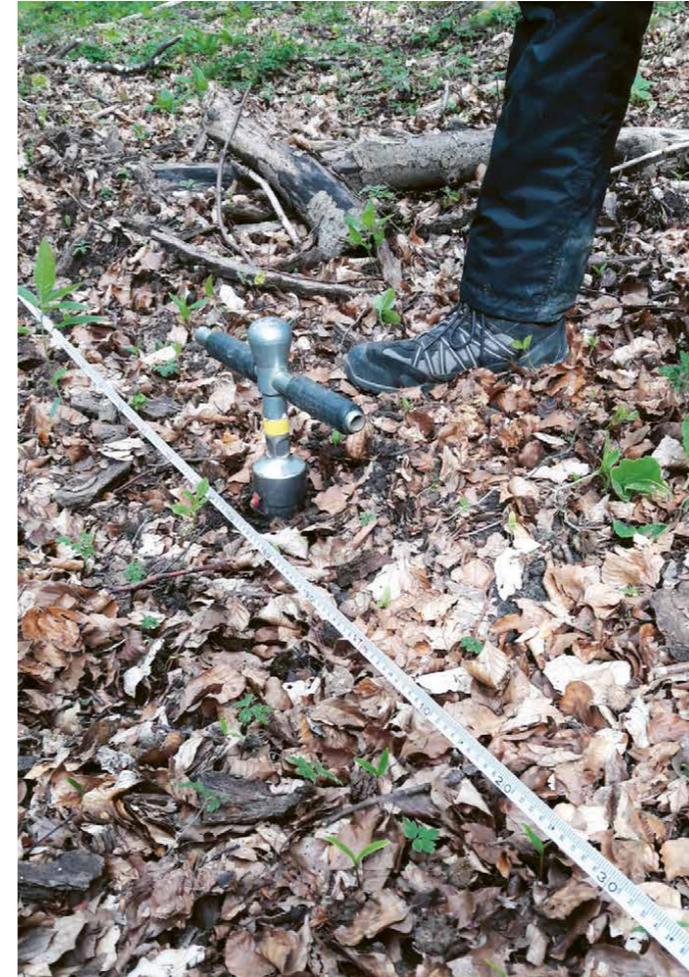
## Verteilung medizinisch relevanter Antibiotikaresistenzgene und mobiler genetischer Elemente in Böden gemäßiger Wälder und Grünländer mit unterschiedlicher Landnutzung

Der Boden beinhaltet unterschiedliche Antibiotikaresistenzgene, die sich potentiell in der Umwelt verbreiten und von menschlichen oder tierischen Krankheitserregern aufgenommen werden können. In dieser Studie wurde die Abundanz medizinisch relevanter Antibiotikaresistenzgene sowie mobiler genetischer Elemente, die zur Verbreitung von Resistenzgenen beitragen können, in Wald- und Grünlandböden der Biodiversitäts-Exploratorien ermittelt.

Zur Erhebung der Daten isolierten wir zunächst genetisches Material aus den berücksichtigten Bodenproben und führten anschließend molekularbiologische sowie bioinformatische Analysen durch. Die erhobenen Daten untersuchten wir daraufhin hinsichtlich der Einflüsse von landwirtschaftlichen Praktiken und Bodeneigenschaften.

Es stellte sich heraus, dass in den berücksichtigten Waldböden signifikant weniger der untersuchten Antibiotikaresistenzgene und mobilen genetischen Elemente zu finden sind. Dies könnte unter anderem auf eine größere Distanz gegenüber menschlichen Aktivitäten, wie z. B. dem Einsatz von Antibiotika, zurückzuführen sein. Eine Ausnahme stellten in dieser Studie die berücksichtigten Beta-Lactam-Resistenzgene dar, die im Wald und Grünland ungefähr gleich häufig vorkamen. Des Weiteren wurde ein Makrolid- und ein Sulfonamidresistenzgen signifikant häufiger in organisch gedüngten Grünlandflächen nachgewiesen. Erwähnenswert ist auch, dass in den untersuchten Waldböden die Abundanz eines der untersuchten Beta-Lactam-Resistenzgene mit der Pilzvielfalt korrelierte. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass verschiedene Pilzarten Beta-Lactam-Antibiotika produzieren.

## Mikroorganismen & Pilze



### Autor\*innen

Willms I. M., Yuan J., Penone C., Goldmann K., Vogt J., Wubet T., Schöning I., Schrumpf M., Buscot F., **Nacke H.**

### Erschienen als

Distribution of Medically Relevant Antibiotic Resistance Genes and Mobile Genetic Elements in Soils of Temperate Forests and Grasslands Varying in Land Use. *Genes* 11: 150 (2020)

doi: 10.3390/genes11020150

### Foto

Nacke H.

Bildmaterial der koordinierten Bodenprobenahme 2017.

## Die weltweit vorkommende Bakteriengruppe *Candidatus Udaeobacter* profitiert von der Freisetzung von Antibiotika im Boden und kann potenziell Spurengase effizient nutzen

Obwohl Vertreter der Gruppe *Candidatus Udaeobacter* zu den am stärksten verbreiteten Bodenbakterien zählen, ist derzeit nur wenig über ihre Eigenschaften bekannt. Es ist bisher noch nicht erforscht, welchen Einfluss Antibiotika, die von unterschiedlichen Bodenmikroorganismen produziert werden, auf *Candidatus Udaeobacter* ausüben.

In dieser Studie konnten wir zeigen, dass Vertreter von *Candidatus Udaeobacter* Multiresistenzen aufweisen und sogar von der Freisetzung von Antibiotika profitieren. Diese Erkenntnisse konnten durch die Behandlung von Wald- und Grünlandbodenproben der Biodiversitäts-Exploratorien mit verschiedenen Antibiotika in einem sogenannten Mikrokosmen-Experiment gewonnen werden. Böden, die mit bis zu sechs verschiedenen Antibiotika behandelt wurden, wiesen nach 3, 8 und 20 Tagen eine höhere Abundanz von *Candidatus Udaeobacter* im Vergleich zu entsprechenden Kontrollen auf.

Unsere Studie deutet an, dass eine zunehmende Verunreinigung der Umwelt mit Antibiotika einen Vorteil für *Candidatus Udaeobacter* darstellen könnte und dass diese Gruppe möglicherweise einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung von Antibiotikaresistenzgenen im Boden hat. Die Analyse von genetischem Material aus den untersuchten Bodenproben deutet zudem daraufhin, dass Vertreter von *Candidatus Udaeobacter* das Spurengas Wasserstoff (H<sub>2</sub>) zur Energiegewinnung nutzen können. Diese Energiequelle leistet vermutlich einen wichtigen Beitrag für das langfristige Überleben von *Candidatus Udaeobacter* in terrestrischen Lebensräumen. Insgesamt erlauben die Ergebnisse unserer Studie wichtige Einblicke in elementare Merkmale der Lebensweise von *Candidatus Udaeobacter*, die potenziell zu seiner erfolgreichen globalen Verbreitung beitragen.



## Mikroorganismen & Pilze

### Autor\*innen

Willms I. M., Rudolph A. Y., Göschel I., Bolz S. H., Schneider D., Penone C., Poehlein A., Schöning I., **Nacke H.**

### Erschienen als

Globally Abundant „*Candidatus Udaeobacter*“ Benefits from Release of Antibiotics in Soil and Potentially Performs Trace Gas Scavenging.  
mSphere 5: e00186-20 (2020)

doi: 10.1128/mSphere.00186-20

### Foto

Nacke H.  
Bodenprobenahme im Jahr 2017.

## Unterschiedliche Faktoren beeinflussen die mikrobielle Aufnahme von Methan in Wald- und Grünlandböden

Die steigende Konzentration von Methan ( $\text{CH}_4$ ) in der Atmosphäre trägt zum Klimawandel bei. Durchlüftete Oberböden sind wichtige natürliche Senken für atmosphärisches Methan, d.h. die Böden nehmen  $\text{CH}_4$  aus der Atmosphäre auf und wandeln es zu  $\text{CO}_2$  um. Verantwortlich hierfür ist die Aktivität von methanoxidierenden Bakterien. Allerdings kann durch eine intensive Bewirtschaftung von Böden, wie z.B. Ackerfläche, die Methanaufnahme fast vollständig zum Erliegen kommen.

Wir untersuchten den Einfluss der Intensität der Grünlandnutzung (150 Standorte) und der Art der Waldbewirtschaftung (149 Standorte) auf die potenziellen atmosphärischen  $\text{CH}_4$ -Oxidationsraten und die Abundanz und Diversität methanoxidierender Bakterien in Oberböden der drei Biodiversitäts-Exploratorien.

Die potentielle Methanoxidation, die im Labor unter definierten Bedingungen bestimmt wurde, war in Waldböden etwa doppelt so hoch wie in Grünlandböden. Eine hohe Landnutzungsintensität des Grünlands hatte in fast allen Regionen einen negativen Einfluss auf die  $\text{CH}_4$ -Oxidation (-40%). Hierbei war die Düngung der bestimmende Faktor der Landnutzungsintensität des Grünlands, der zu einer Verringerung der  $\text{CH}_4$ -Oxidation um 20% führte. Im Gegensatz dazu hatte die Waldbewirtschaftung keinen Einfluss auf die Methanoxidation in Waldböden. Die Gruppen der methanoxidierenden Bakterien unterschieden sich zwischen Wald- und Grünlandböden, wobei sich eine Gruppe im Wald positiv auf die  $\text{CH}_4$ -Oxidationsrate auswirkte, während im Grünland die andere Gruppe die Methanoxidation positiv beeinflusste. Eine hohe Lagerungsdichte des Bodens beeinflusste die Methanoxidation sowohl im Wald als auch im Grünland negativ. Wir fanden weiterhin heraus, dass die Reaktion der Methanoxidation auf den pH-Wert,

## Mikroorganismen & Pilze

die Bodentextur, die Wasserhaltekapazität des Bodens sowie den Gehalt an organischem Kohlenstoff und Stickstoff zwischen Wald- und Grünlandböden unterschiedlich war.

Aus diesen Ergebnissen schließen wir, dass durch eine Verringerung der Intensität der Grünlandnutzung, insbesondere durch die Reduktion der Düngung, die Methanoxidation von Grünlandböden verbessert werden kann. Weiterhin sehen wir in der Aufforstung von ehemaligen Acker- und Grünlandflächen eine Möglichkeit, diese klimarelevante Funktion von Böden zukünftig zu verstärken.



### Autor\*innen

Täumer J., Kolb S., Boeddinghaus R. S., Wang H., Schöning I., Schrumpf M., Urich T., **Marhan S.**

### Erschienen als

Divergent drivers of the microbial methane sink in temperate forest and grassland soils. *Global Change Biology* 27: 929–940 (2021)

doi: 10.1111/gcb.15430

### Foto

Täumer J.

Kühe im Grünland. Die Viehzucht, insbesondere der Kuhmagen, gilt als einer der Hauptproduzenten von Methan.

## Taxonomische und funktionelle Vielfalt von heterotrophen Protisten (Cercozoa und Endomyxa) aus biologischen Bodenkrusten

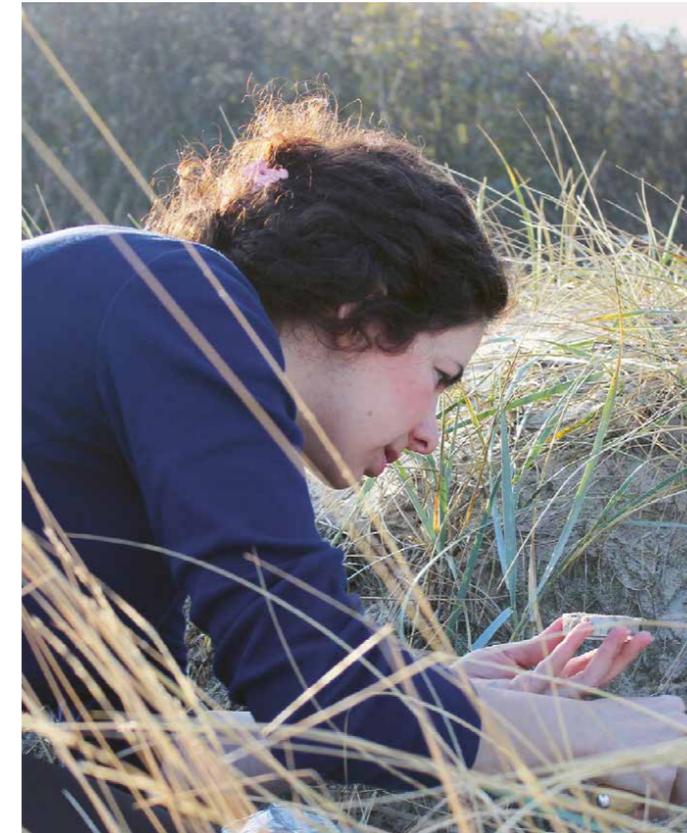
Biologische Bodenkrusten (Biokrusten) bedecken die obersten Millimeter des Bodens sichtbar als grüner oder dunkler Biofilm an Stellen, an denen sich keine kontinuierliche Pflanzendecke entwickeln kann. Die Biokruste ist ein Mikroökosystem für Mikroorganismen mit den Mikroalgen als Basis des Energieeintrags. Einige Arten von heterotrophen Protisten, speziell aus der Gruppe der Cercozoa, ernähren sich von diesen Mikroalgen.

Um potentielle biotische Interaktionen in Biokrusten besser zu verstehen, wurde in dieser Studie die Diversität der Cercozoa mittels Hochdurchsatzsequenzierung bestimmt. Der Anteil von omnivoren (Allesessern) und eukaryoten (Ernährung von Lebewesen mit Zellkern, die typischerweise größer sind als Bakterien; schließt auch die Mikroalgen ein) umfasste etwa ein Drittel aller Cercozoa. Der Rest der Cercozoa ernähren sich von Bakterien, was als typische Ernährungsform heterotropher Protisten gesehen wird. Der eher hohe Anteil an Cercozoa, die nicht nur Bakterien fressen, deutet darauf hin, dass es vor allem in den Biokrusten zu einer biotischen Interaktion zwischen Mikroalgen und Cercozoa kommen kann: Konkret bedeutet das, dass die Mikroalgen Beute für die räuberischen Cercozoa sind.

In einer Biokruste finden wir also ganz ähnliche Nahrungsbeziehungen wie in Makroökosystemen. In einem Makroökosystem werden Pflanzen von Herbivoren gefressen, die wiederum Beute von Räubern werden können – die Pflanzen sind die Basis eines jeden Ökosystems. Bei einer Biokruste verhält es sich ähnlich: Die Mikroalgen sind die Basis dieses Mikroökosystems, in dem sie wie Pflanzen durch Photosynthese Energie in Form von Zuckern aufbauen. Ein Teil der Cercozoa sind vergleichbar mit den Herbivoren: Sie fressen die Mikroalgen. Andere Cercozoa sind räuberisch und

## Mikroorganismen & Pilze

fressen nicht nur Mikroalgen, sondern auch andere heterotrophe Protisten. Die Biokruste ist in der Tat ein Mikroökosystem, das auch in Bezug auf die Nahrungsbeziehungen der Organismen untereinander, mit einem Makroökosystem vergleichbar ist.



### Autor\*innen

Khanipour Roshan S., Dumack K., Bonkowski M., Leinweber P., Karsten U., **Glaser K.**

### Erschienen als

Taxonomic and Functional Diversity of Heterotrophic Protists (Cercozoa and Endomyxa) from Biological Soil Crusts.

Microorganisms 9: 205 (2021)

doi: 10.3390/microorganisms9020205

### Foto

Glaser K.

Samira Khanipour Roshan bei der Probenahme von Biokrusten: Hier in den Dünen von Mecklenburg-Vorpommern bei Kühlungsborn.

## Nematoden (Fadenwürmer): Wie sich die Intensität der Bewirtschaftung, die Bodeneigenschaften sowie die Region in gemäßigten Wäldern in Deutschland auf sie auswirken

Das Mikrobiom des Bodens besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Bakterien und Pilzen sowie der Mikrofauna, die sich von diesen ernährt. Es ist von entscheidender Bedeutung für das Wachstum, die Gesundheit und die Widerstandskraft von Pflanzen und ist somit ein Schlüssel zur Produktivität von Wäldern. Einen bedeutenden Teil des Bodenmikrobioms stellen Nematoden (Fadenwürmer) dar, die eine wichtige Rolle im Nährstoffkreislauf spielen. Sie beweideten Bakterien und Pilze, halten diese in aktiver Form und fördern damit die Mineralisierung. Zudem fungieren Nematoden als Bioindikatoren, die Veränderungen im Bodenökosystem zuverlässig und schnell anzeigen.

Es ist jedoch noch nichts darüber bekannt, wie die Waldbewirtschaftung und die Bodeneigenschaften die Nematoden des Bodenmikrobioms beeinflussen. Gegenstand unserer Untersuchungen war es daher, die Diversität und Abundanz der Nematodenfauna der Waldstandorte in den Biodiversitäts-Exploratorien zu erfassen. Es stellte sich heraus, dass vor allem die Region, die Bodeneigenschaften sowie die Ressourcen die Nematodengemeinschaften beeinflussen. Die Auswirkungen der Waldbewirtschaftung waren dagegen gering. Insbesondere intensiv bewirtschaftete Kiefernwälder im Zusammenspiel mit trockenen Sandböden wirkten sich negativ auf die Nematoden aus und damit auch auf das Mikrobiom. Pilzfressende Arten dominierten in diesen Gebieten, was auf langsame Zersetzungsprozesse hinweist. Dies führt zur Akkumulation von Detritus und zu einer dickeren organischen Auflage. Darüber hinaus hatten die Baumarten sowie das Alter und die Dichte der Bestände einen Effekt.

Insgesamt liefert diese Studie grundlegende Erkenntnisse darüber, wie die Nematodenfauna in Waldböden durch Umweltbedingungen

## Mikroorganismen & Pilze

geformt wird und wie die menschliche Forstwirtschaft dazu beiträgt. Die Auswirkungen variieren jedoch je nach Waldtyp, Bodenhorizont und Region, was eine Verallgemeinerung und damit Managementempfehlung erschwert.



### Autor\*innen

**Richter A.**, Ewald M., Hemmerling C., Schöning I., Bauhus J., Schall P., **Ruess L.**

### Erschienen als

Effects of management intensity, soil properties and region on the nematode communities in temperate forests in Germany. *Forest Ecology and Management* 529: 120675 (2022)

doi: 10.1016/j.foreco.2022.120675

### Abbildung

Uhl H.

Bodenausschnitt mit Nematoden, Sinnbild. *Analoge Illustration, mit Photoshop-KI und Adobe Illustrator bearbeitet.*

## Identifizierung der wichtigsten Bakterien in verschiedenen Wurzelkompartimenten von *Dactylis glomerata* in Böden unterschiedlicher Landnutzungsintensität

Pflanzenassoziierte Bakteriengemeinschaften sind für die Gesundheit der Pflanzen von wesentlicher Bedeutung. Daher ist die Identifizierung eines gleichbleibenden pflanzenassoziierten Kernmikrobioms wichtig, um die Reaktionen von mikrobiellen Gemeinschaften auf Umweltveränderungen vorhersagen zu können.

Unser Ziel war es, das bakterielle Mikrobiom von *Dactylis glomerata* zu bestimmen und den Teil zu identifizieren, der am empfindlichsten auf unterschiedliche Bodenbewirtschaftung reagiert. Die Proben von *Dactylis glomerata* wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten von Grünlandstandorten mit unterschiedlicher Landnutzungsintensität, aber vergleichbaren Bodeneigenschaften, entnommen. Um die Struktur der pflanzenassoziierten Bakteriengemeinschaft zu erfassen, wurden Proben der Rhizosphäre, der Endosphäre und des Bodens genommen und jeweils die Diversität der Bakteriengemeinschaft bestimmt.

Es wurde unabhängig von der Intensität der Landnutzung eine sehr spezifische Zusammensetzung von pflanzenassoziierten Bakteriengemeinschaften festgestellt. Dieses bakterielle Kernmikrobiom setzte sich in den Wurzeln aus *Pseudomonas*, *Rhizobium* und *Bradyrhizobium* zusammen, in der Rhizosphäre waren die Gattungen *Rhodoplanes*, *Methylbium*, *Kaistobacter* und *Bradyrhizobium* in allen Proben zu finden. Die in den Kernmikrobiomen gefundenen Gattungen haben häufig eine pflanzenfördernde Wirkung, weswegen unsere Studie dazu beiträgt, „gesunde“ pflanzenassoziierte bakterielle Gemeinschaften zu identifizieren.

Bei geringer Landnutzungsintensität konnte eine erhöhte Schwankung des pflanzenassoziierten Mikrobioms zu den verschiedenen Probenahmezeitpunkten festgestellt werden. Dies deutet darauf

## Mikroorganismen & Pilze

hin, dass Pflanzen gezielt Bakterien aus dem umgebenden Boden rekrutieren und damit eine stärkere Anpassung ihrer assoziierten Bakterien fördern, wenn unter geringer Landnutzungsintensität u. U. die Nährstoffverfügbarkeit verringert ist.



### Autor\*innen

Estendorfer, J., Stempfhuber, B., Vestergaard, G., Schulz, S., Rillig, M. C., Joshi, J., Schröder, P., Schloter M., (Abstract bearbeitet von **Kurth J.**)

### Erschienen als

Definition of Core Bacterial Taxa in Different Root Compartments of *Dactylis glomerata*, Grown in Soil under Different Levels of Land Use Intensity.  
Diversity 12: 392 (2020)

doi: 10.3390/d12100392

### Abbildung

Uhl H.  
Gewöhnliches Knäuelgras (*Dactylis glomerata*).

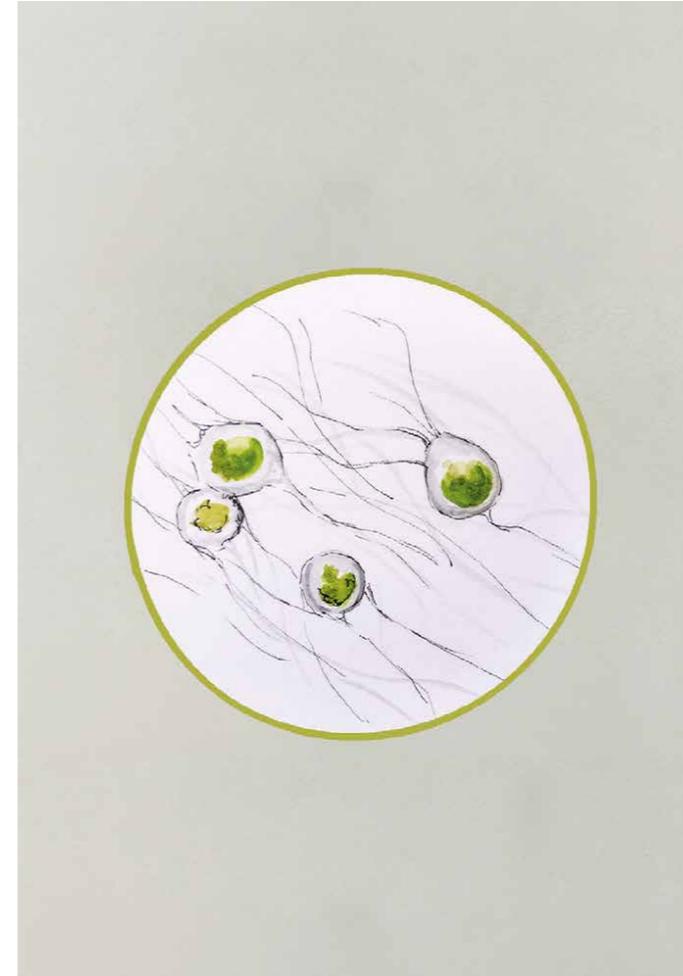
## Unterschiedliche Reaktionen von Pflanzenparasiten und phagotrophen Protisten auf Bewirtschaftung und Bodeneigenschaften in Ökosystemen

In der Ökologie werden funktionelle Merkmale zunehmend genutzt, um die Struktur mikrobieller Gemeinschaften mit Ökosystemprozessen zu verknüpfen. In unserer Studie konzentrierten wir uns auf zwei bedeutende Protistenlinien im Boden: Cercozoa und Endomyxa (Stamm Rhizaria). Wir analysierten die Auswirkung von Umweltfaktoren auf die Diversität und die funktionellen Merkmale der Cercozoen und Endomyxa in Grünland und Wald in Deutschland.

Wir haben 600 Bodenproben analysiert und insgesamt 2.101 Taxa identifiziert. Dabei waren alle wichtigen taxonomischen und funktionellen Gruppen vertreten, wobei kleine bakterienfressende Flagellaten (Geißeltierchen) innerhalb der Cercozoen dominierten. Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften unterschied sich deutlich zwischen Grünland- und Waldökosystemen. Insbesondere fehlten Pflanzenparasiten der Endomyxa in den Wäldern, während sie in intensiv bewirtschafteten Grünlandgebieten, insbesondere durch Düngung, gefördert wurden. Zudem zeigte sich, dass bakterivore und eukaryovore Cercozoen durch gegensätzliche Umweltfaktoren begünstigt wurden.

Diese aufgedeckten Muster der Diversität geben neue Einblicke in die funktionelle Organisation der Protisten und liefern Hinweise für eine nachhaltigere Landnutzung.

## Mikroorganismen & Pilze



### Autor\*innen

Fiore-Donno A. M., Richter-Heitmann T.,  
**Bonkowski M.**

### Erschienen als

Contrasting Responses of Protistan Plant Parasites and Phagotrophs to Ecosystems, Land Management and Soil Properties. *Frontiers in Microbiology* 11 (2020)

doi: 10.3389/fmicb.2020.01823

### Abbildung

Uhl H.

Stilisierte Illustration des Protisten Cercozoa.

# Wald & Totholz

## Artikel

- Annahmen und Ergebnisse zur Biodiversität im Wirtschaftswald – Neues aus der Biodiversitätsforschung [S.210](#)
- Kommt ein Index, der die Biodiversität anhand von Strukturmerkmalen abschätzt, den Ergebnissen des direkten Artenmonitorings nahe? [S.212](#)
- Kann die Biodiversität in europäischen Buchenwaldlandschaften durch die Kombination verschiedener Bewirtschaftungssysteme erhöht werden? [S.214](#)
- Ableitung der dreidimensionalen Waldstruktur aus luftgestützten Laserscannerdaten – Hindernisse und Möglichkeiten [S.216](#)
- Die Erfassung von struktureller Komplexität in mitteleuropäischen Agroforstsystemen über terrestrisches Laserscanning [S.218](#)
- Auswirkungen der Baumartenmischung auf die strukturelle Komplexität der Bestände [S.220](#)
- Vielfältige Reaktionen von Biodiversität auf die Heterogenität in Wäldern [S.222](#)
- Die Heterogenität der Bestände ist der Schlüssel für die biologische Vielfalt in bewirtschafteten Buchenwäldern [S.224](#)
- Waldstrukturen im Vergleich – Untersuchungen der Dynamik in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern [S.226](#)

Weniger ist mehr: Auswirkungen von verringerter Konkurrenz durch Nachbarschaft anderer Baumarten auf das Wachstum von Rotbuchen [S.228](#)

Bundeswaldinventuren erfassen die Multifunktionalität der bewirtschafteten Wälder in Deutschland [S.230](#)

Handbuch zur Probenahme im Feld für Studien zur biologischen Vielfalt in europäischen Wäldern mit mehreren Taxa [S.232](#)

Geringe Populationsdifferenzierung, aber hohe phänotypische Plastizität der Rotbuche in Deutschland [S.234](#)

„Denn die einen sind im Dunkeln/Und die anderen sind im Licht“ (*B. Brecht*) [S.236](#)

Flechten und ihre Vielfalt – ihre Bedeutung in Waldökosystemen und was ihren Erhalt stärkt [S.238](#)

Die relative Bedeutung von Raum und Wirt für die Beta-Diversität von Käfern, Pilzen und Bakterien: Analyse eines großen Totholzexperiments [S.240](#)

Totholz bewohnende Pilze, Bakterien, Archaeen und Fadenwürmer und ihre Verteilungsmuster [S.242](#)

Auswirkungen von Totholz auf chemische und mikrobielle Bodeneigenschaften [S.244](#)

Triebkräfte des Totholzverfalls bei 13 Baumarten der gemäßigten Breiten sind in Wald- und Grünlandhabitaten ähnlich [S.246](#)

Pilz- und bakterielle Zusammensetzungen einer natürlichen und einer artenreduzierten Holzzersetzungsgemeinschaft, gewonnen aus spät verrottendem Rotbuchenholz (*Fagus sylvatica*) unter zwei Temperaturregimen [S.248](#)

Metaproteomdaten aus Totholzproben [S.250](#)

Die CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen von 13 Totholzbaumarten hängen mit der Baumart und der Bewirtschaftungsintensität in Wald- und Grünlandhabitaten zusammen [S.252](#)

Interaktionen und Funktionsmuster der aktiven Mikrobiota bei der Steuerung der Zersetzung von Totholz [S.254](#)

## Annahmen und Ergebnisse zur Biodiversität im Wirtschaftswald – Neues aus der Biodiversitätsforschung

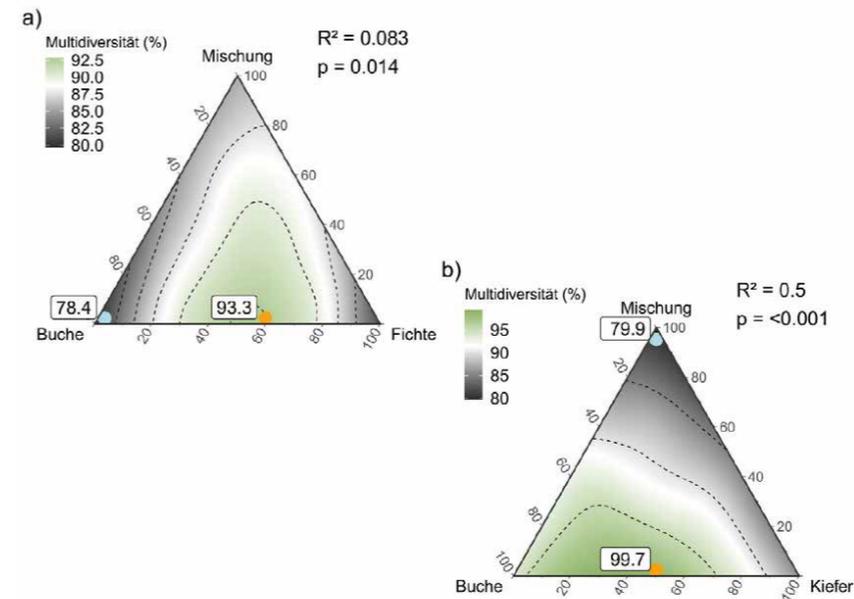
Der Schutz der Biodiversität ist fester Bestandteil der Waldbauprogramme in Europa. Eine Reihe waldbaulicher Maßnahmen wurden zum Erhalt der wallassoziierten Flora und Fauna vorgeschlagen. Die wichtigsten sind: die Schaffung strukturreicher, ungleichaltriger Bestände durch kleinflächige Hiebe, die Förderung von Mischbeständen mit standortheimischen Baumarten, die Bereitstellung einer Mindestmenge an Totholz und Habitatbäumen sowie die Ausweisung von Prozessschutzflächen.

Nicht für alle dieser Maßnahmen sind positive Effekte auf die Biodiversität auf der Landschaftsebene durch Studien belegt. So ist insbesondere unklar, inwieweit Mischbestände tatsächlich die Diversität erhöhen und ob auf den Einzelbaum oder Kleingruppen bezogene selektive Eingriffe (z. B. Plenterwälder) in dieser Hinsicht günstiger abschneiden als klassische, bestandesweise Verfahren der Durchforstung und Waldverjüngung. Obwohl Mischbestände und Plenterwälder eine höhere Heterogenität innerhalb eines Waldbestandes aufweisen, sind sich die jeweiligen Bestände sehr ähnlich. Daher können auch ihre jeweiligen Artengemeinschaften sehr ähnlich sein. Demgegenüber sind die Umweltbedingungen und Ressourcen zwischen Reinbeständen verschiedener Baumarten und Waldentwicklungsphasen von Altersklassenwäldern deutlich unterschiedlich. Sie könnten daher unterschiedliche, sich auf der Landschaftsebene ergänzende Artengemeinschaften beherbergen.

Um den Effekt einzelbaumweiser gegenüber bestandesweiser Eingriffe und Flächenstilllegung sowie den Effekt von Mischbeständen gegenüber Reinbeständen auf die Biodiversität zu untersuchen, analysierten wir die Biodiversität von 14 organismischen Gruppen aus den Reichen der Tiere, Pflanzen, Pilze und Bakterien sowie die Biodiversität von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten. Dabei

konzentrierten wir uns auf die Landschaftsebene und untersuchten, welche Kombinationen von Misch- und Reinbeständen bzw. selektiv, bestandesweiser und unbewirtschafteter Wälder die gesamte Artenvielfalt erhöhen.

Unsere Untersuchung ergab, dass allein die Struktur- und Baumartenvielfalt auf der Bestandesebene nicht ausreicht, um den meisten Arten ausreichend Lebensräume zu bieten. Auf der Landschaftsebene sollten sich die Bestände vielmehr in den vorherrschenden abiotischen und biotischen Verhältnissen unterscheiden, um die Biodiversität zu fördern.



## Wald & Totholz

Autor\*innen

**Heinrichs S., Schall P., Ammer C., Fischer M., Gossner M. M.**

Erschienen als

Annahmen und Ergebnisse zur Biodiversität im Wirtschaftswald – Neues aus der Biodiversitätsforschung.

WSL Berichte 100: 15-29 (2020)

doi:10.55419/wsl:25526

Abbildung

Heinrichs S.

Gesamt-Biodiversität (Multidiversität) für a) Schwäbische Alb und b) Schorfheide-Chorin von Gefäßpflanzen, Moosen und Flechten in Landschaften mit unterschiedlichen Anteilen von Rein- und Mischbeständen. Auf der Schwäbischen Alb bestehen die Rein- und Mischbestände aus Buche und Fichte und in der Schorfheide-Chorin aus Kiefer und Buche. Das Maximum der Multidiversität (oranger Punkt) zeigt sich jeweils bei der Kombination unterschiedlicher Reinbestände auf der Landschaftsebene.

## Kommt ein Index, der die Biodiversität anhand von Strukturmerkmalen abschätzt, den Ergebnissen des direkten Artenmonitorings nahe?

Forschung und forstwirtschaftliche Praxis widmen sich zunehmend den Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die biologische Vielfalt der Wälder. Trotz technologischer Fortschritte bleibt das Monitoring der biologischen Vielfalt nach wie vor zeit- und kostenintensiv und erfordert spezifische Artenkenntnisse. Es besteht ein großes Interesse daran, ein effizientes Monitoring der biologischen Vielfalt in die Waldinventuren zu integrieren, um potenzielle Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf die biologische Vielfalt abschätzen zu können.

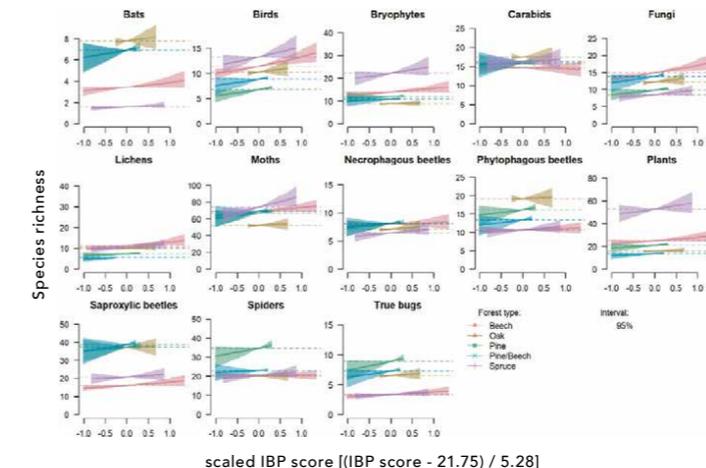
Die Intensität und Häufigkeit waldbaulicher Eingriffe kann in Waldbewirtschaftungssystemen stark variieren. Eine Idee, die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die biologische Vielfalt zu ermitteln, besteht darin, Waldstrukturmerkmale als Indikatoren zu nutzen. Im Vergleich zum artenbasierten Monitoring im Rahmen von Waldinventuren lässt sich die Waldstruktur leichter erfassen. Es sind keine speziellen Artenkenntnisse erforderlich, das Vorgehen setzt aber voraus, dass eine enge Beziehung zwischen Waldstruktur und der biologischen Vielfalt besteht.

Ein Werkzeug hierfür ist der sogenannte „Index des Biodiversitätspotentials (IBP)“, der in Frankreich als praktische Handreichung zur Abschätzung der Biodiversität verwendet wird. Basierend auf der erfassten Artenvielfalt von 13 Tier-, Pflanzen- und Pilzgruppen in Buchen-, Eichen-, Fichten-, Kiefern- und Kiefern-Buchen-Wäldern in den Exploratorien kann verglichen werden, ob ein Zusammenhang mit dem IBP vorliegt. Dieser Frage gingen wir im Rahmen der vorliegenden Untersuchung unter Rückgriff auf 147 der 150 Waldflächen der Biodiversitäts-Exploratorien nach. Hierfür wurden die Wälder in fünf Waldtypen unterteilt und für jede der 13 Artengruppen untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen IPB und Artenvielfalt

## Wald & Totholz

besteht (insgesamt wurden also  $5 \times 13 = 65$  Analysen durchgeführt). Es zeigte sich, dass nur für 15 % der untersuchten Kombinationen ein statistischer Zusammenhang zwischen dem IBP und der Artenzahl bestand, hauptsächlich in Buchenwäldern. Weitere Beziehungen zeigten Tendenzen, wobei der Effekt des IPB auf die Biodiversität insgesamt zwar messbar, aber schwach war. Für wichtige Artengruppen wie Fledermäuse, Spinnen, Laufkäfer sowie pflanzenfressende, totholzbewohnende und aasfressende Käfer fanden wir keine oder nur eine Beziehung mit einem einzigen Waldtyp.

Unsere Ergebnisse verdeutlichen, dass der IBP nur bedingt die tatsächliche Artenvielfalt in mitteleuropäischen Wäldern widerspiegelt. Zuverlässige Ergebnisse zur Biodiversität liefert daher weiterhin nur das direkte Artenmonitoring.



### Autor\*innen

Zeller L., Baumann C., Gonin P., Heidrich L., Keye C., Konrad F., Larrieu L., Meyer P., Sennhenn-Reulen H., Müller J., **Schall P.**, **Ammer C.**

### Erschienen als

Index of biodiversity potential (IBP) versus direct species monitoring in temperate forests. Ecological Indicators 136: 108692 (2022)

doi: 10.1016/j.ecolind.2022.108692

### Abbildung

Zeller L., Sennhenn-Reulen H.  
Beziehung zwischen dem Artenreichtum und dem „Index des Biodiversitätspotentials (IBP)“ für 13 Tier-, Pflanzen- und Pilzgruppen in Buchen-, Eichen-, Fichten-, Kiefern- und Kiefern-Buchen-Wäldern. Ein hoher IBP signalisiert mehrschichtige Mischwälder mit viel Totholz, starken Bäumen und reicher Krautschicht. Die Datenerhebung erfolgte im Zeitraum 2008 bis 2010.

## Kann die Biodiversität in europäischen Buchenwaldlandschaften durch die Kombination verschiedener Bewirtschaftungssysteme erhöht werden?

Waldbewirtschaftung beeinflusst Biodiversität sowohl lokal auf der Ebene des Waldbestandes als auch auf der Landschaftsebene. Eine vielfältige Waldbewirtschaftung könnte zu einer Erhöhung der Biodiversität in der Landschaft führen, wenn sich unterschiedlich bewirtschaftete Wälder gegenseitig ergänzen, also komplementäre Artengemeinschaften unterstützen. Für Buchenwälder Mitteleuropas wird jedoch eine Mischung kleinflächiger, einzelstammweiser Waldbewirtschaftung mit unbewirtschafteten Wäldern auf Kosten traditioneller Altersklassenwälder empfohlen.

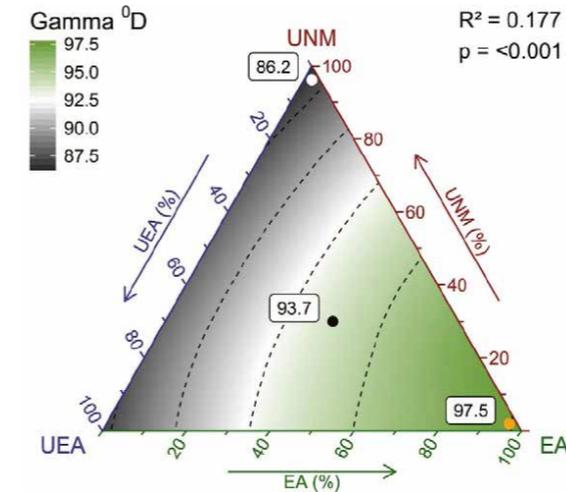
Wir untersuchten die Biodiversität von Fledermäusen, Vögeln, Spinnen, Weberknechten, Käfern, Hautflüglern, Netzflüglern, Wanzen, Gefäßpflanzen, Moosen, Flechten, Totholzpilzen, Mykorrhizapilzen und Bakterien in Buchenwaldlandschaften mit variierenden Anteilen an Altersklassenwäldern, Plenterwäldern mit einzelstammweiser Bewirtschaftung und unbewirtschafteten Wäldern im Exploratorium Hainich-Dün. Dazu nutzten wir einen neuen Resampling-Ansatz, der alle Kombinationen der drei Bewirtschaftungssysteme in 10%-Schritten simulierte.

Landschaften, die nur aus Altersklassenwäldern unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen bestanden, zeigten über alle taxonomischen Gruppen hinweg die höchste Biodiversität (97,5% von maximal 100%). Reine oder gemischte Landschaften aus Plenterwäldern und ungenutzten Wäldern wiesen eine deutlich geringere Biodiversität auf, wobei auch die Waldspezialisten ähnlich reagierten.

Im Einzelnen reagierten abhängig vom betrachteten Diversitätsmaß sechs bis neun taxonomische Gruppen signifikant auf eine Veränderung der Landschaftszusammensetzung. Die stärkste Reaktion zeigten Spinnen, Käfer, Gefäßpflanzen und Vögel. Mit Ausnahme der

Vögel, die von einem geringen Anteil unbewirtschafteter Wälder in einer sonst von Altersklassenwäldern dominierten Landschaft profitierten, zeigten die Gruppen ein Maximum in reinen Altersklassenwäldern. Totholzersetzende Pilze hingegen hatten ihr Maximum in einer nicht bewirtschafteten Waldlandschaft.

Zusammenfassend fanden wir, dass eine Mischung von ausschließlich kleinflächig, einzelstammweise bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern die Biodiversität auf der Landschaftsebene nicht fördert, sondern eher reduziert. Großflächige bewirtschaftete Altersklassenwälder mit sehr unterschiedlichen Umweltbedingungen zwischen den Waldentwicklungsphasen unterstützen dagegen die regionale Biodiversität. Für die unbewirtschafteten Wälder des Nationalparks Hainich erwarten wir allerdings einen mit dem Alter zunehmenden Beitrag für die Biodiversität.



## Wald & Totholz

### Autor\*innen

Schall P., Heinrichs S., Ammer C., Ayasse M., Boch S., Buscot F., Fischer M., Goldmann K., Overmann J., Schulze E.-D., Sikorski J., Weisser W. W., Wubet T., Gossner M. M.

### Erschienen als

Can multi-taxa diversity in European beech forest landscapes be increased by combining different management systems?  
Journal of the Applied Ecology 00: 1–13 (2020)

doi: 10.1111/1365-2664.13635

### Abbildung

Schall P.

Gesamt-Biodiversität (Gamma<sup>0</sup>D) der 14 taxonomischen Gruppen in Buchenwaldlandschaften mit unterschiedlichen Anteilen von Altersklassenwäldern (EA), Plenterwäldern (UEA) und unbewirtschafteten Wäldern (UNM).

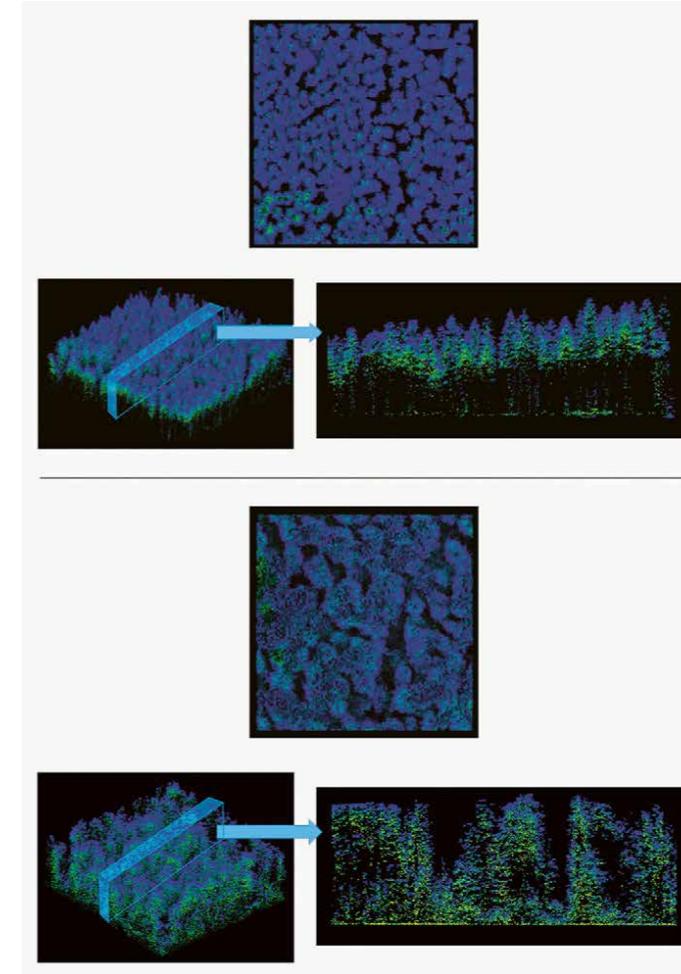
## Ableitung der dreidimensionalen Waldstruktur aus luftgestützten Laserscannerdaten – Hindernisse und Möglichkeiten

Die dreidimensionale Waldstruktur ist ein wichtiger Faktor für verschiedene Ökosystemfunktionen und -leistungen. So haben Eigenschaften wie Baumhöhen, Kronenschluss und Baumartenzusammensetzung eine Bedeutung für die Bewirtschaftung des Waldes und sein Mikroklima. Jüngste Fortschritte in der Laserscanning-Technologie haben den Weg für die Messung solcher Faktoren aus 3D-Punktwolken bereitet. Hier zeigen wir, dass die strukturelle Komplexität des Waldes aus Laserscanning-Daten, die via Flugzeug aus der Luft gewonnen wurden, berechnet werden kann.

Anhand von 66 Parzellen von je 1 ha Fläche haben wir das flugzeugbasierte Verfahren mit herkömmlichen bodengestützten Messungen der Waldstruktur in unterschiedlichen Waldtypen in Deutschland verglichen. Dabei stellten wir fest, dass das Laserscanning-Verfahren das Alter der Bestände, die Bewirtschaftungsintensität und die mikroklimatische Stabilität gut aus der dreidimensionalen Waldstruktur abbilden konnte. Auch andere Maße, die die Waldstruktur am Boden bewerteten, konnten über das Laserscanning abgebildet werden. Lediglich die Bestandsgrundfläche, ein wichtiges Maß in der Forstwirtschaft, konnte nicht aus der strukturellen Komplexität abgeleitet werden. Dies deutet darauf hin, dass die strukturelle Komplexität eines Waldes nicht an die Grundfläche des Bestands gebunden ist.

Insgesamt konnten wir zeigen, dass die flugzeuggestützte Messung das Potenzial hat, verschiedene Waldtypen, Bewirtschaftungsformen und Entwicklungsphasen von Wäldern zu unterscheiden. Wir kommen zu dem Schluss, dass diese sogenannte „Box-dimension“ ein vielversprechendes Maß ist, um die strukturelle Komplexität von Wäldern auf ökologisch sinnvolle Weise zu beschreiben.

## Wald & Totholz



### Autor\*innen

**Seidel D.**, Annighöfer P., Ehbrecht M., Magdon P., Wöllauer S., Ammer C.

### Erschienen als

Deriving stand structural complexity from airborne laser scanning data – What does it tell us about a forest?

Remote Sensing 12: 1854 (2020)

doi: 10.3390/rs12111854

### Abbildung

Seidel D.

Die Abbildung zweier unterschiedlicher Waldbestände über flugzeugbasiertes Laserscanning.

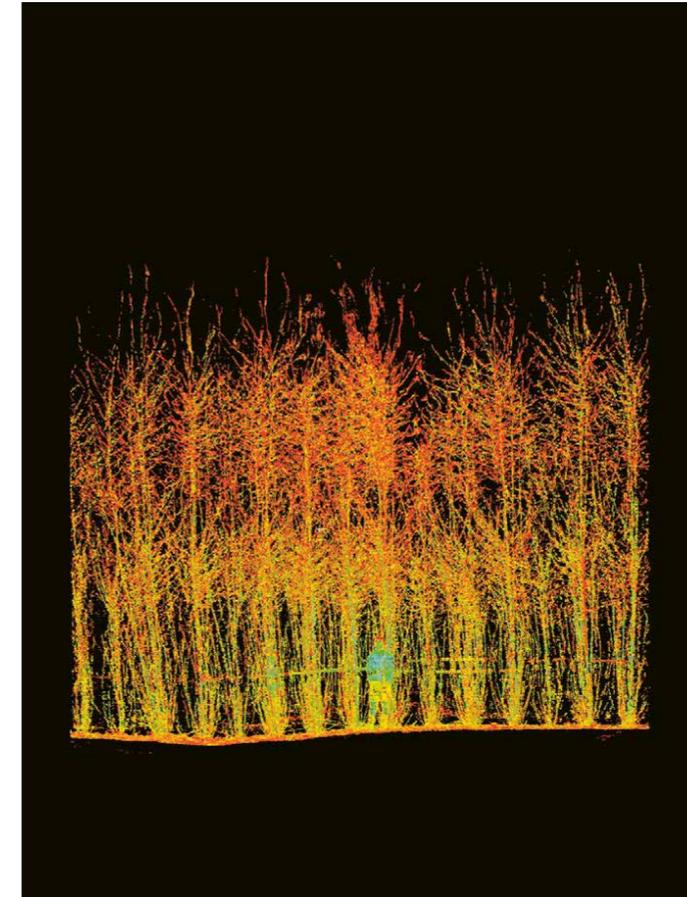
## Die Erfassung von struktureller Komplexität in mitteleuropäischen Agroforstsystemen über terrestrisches Laserscanning

Agroforstsysteme kombinieren Elemente der Landwirtschaft mit denen der Forstwirtschaft und sorgen somit für mehr strukturelle Vielfalt in der Landschaft. Sie haben das Potenzial, landwirtschaftliche Monokulturen in Mitteleuropa mit ansonsten fehlenden Strukturelementen zu bereichern, was voraussichtlich mit einer Steigerung an Ökosystemfunktionen einhergeht.

In dieser Studie verwendeten wir die Methode des terrestrischen Laserscannings zur Beschreibung folgender Parameter in Agroforstsystemen: (1) strukturelle Komplexität, (2) Offenheit des Kronendachs, (3) Vertikalstruktur sowie (4) Komplexität der Strauchschicht. Wir untersuchen vier verbreitete Agroforstsysteme in Mitteleuropa: (1) Hutewälder (Pony, Hirsch, Rind), (2) Kurzumtriebsplantagen mit landwirtschaftlicher Nutzung zwischen den Baumreihen, (3) Streuobstwiesen mit weidenden Schafen und (4) Weihnachtsbaumplantagen mit Hühnerhaltung. Als Referenz für die Struktur von Wäldern dienten Daten von 65 Waldstandorten in Deutschland, die verschiedene Waldtypen, verschiedene dominante Baumarten, Bestandsalter und Bewirtschaftungssysteme aufweisen.

Wir fanden heraus, dass die strukturelle Komplexität vom Wald zur Weihnachtsbaumkultur in folgender Reihenfolge abnimmt: Wald – Hutewald – Kurzumtriebsplantage – Streuobstwiese – Weihnachtsbaumkultur. Wenn die strukturelle Gesamtkomplexität einer Agrarlandschaft also angereichert werden soll, liefert dieses Ergebnis Hinweise darauf, welche Elemente des Agroforstsystems integriert werden müssten. Mitunter liegt der Fokus jedoch auf ausgewählten Strukturen, die bestimmte Funktionen erfüllen sollen. So ist das Vorhandensein von dichtem Unterholz mitunter wichtig, um Tieren Schutz zu bieten. In diesem Fall können bestimmte Typen von Agroforstsystemen gewählt werden, um diese spezifischen Öko-

systemdienstleistungen zu erfüllen. Hierbei wäre die Rangfolge der allgemeinen strukturellen Komplexität weniger wichtig.



### Autor\*innen

**Seidel D.**, Stiers M., Ehbrecht M., Werning M., Annighöfer P.

### Erschienen als

On the structural complexity of central European agroforestry systems: a quantitative assessment using terrestrial laser scanning in single-scan mode.

Agroforestry systems 95: 669–685 (2021)

doi: 10.1007/s10457-021-00620-y

### Abbildung

Seidel D.

Laserscan einer Kurzumtriebsplantage mit einem Wissenschaftler.

## Wald & Totholz

## Auswirkungen der Baumartenmischung auf die strukturelle Komplexität der Bestände

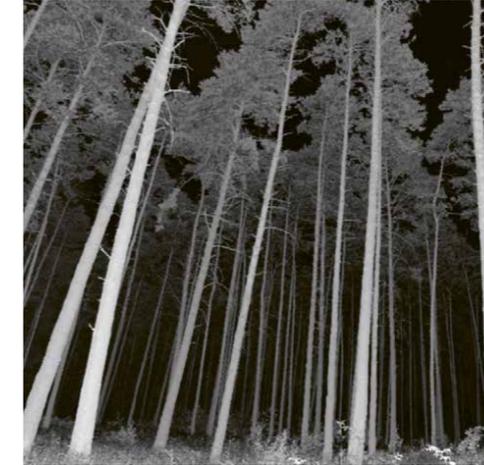
Der Anteil der Mischwälder nimmt derzeit zu, da man allgemein davon ausgeht, dass sie viele Ökosystemleistungen in höherem Maße bereitstellen als monospezifische Bestände. Dies könnte auf ein komplexeres dreidimensionales Verteilungsmuster von Pflanzenelementen zurückzuführen sein, das zwar oft beobachtet, aber bisher kaum quantifiziert wurde.

In der vorliegenden Studie haben wir terrestrische Laserscandaten verwendet, um die Beziehung zwischen der Baumartenmischung und der Komplexität der Bestandsstruktur zu untersuchen. Dazu haben wir 60 Bestände ausgewählt, die für Mitteleuropa wirtschaftlich wichtige und typische Artenkombinationen darstellen.

Die Ergebnisse zeigen, dass zusätzliche Baumarten zunächst zu einem Anstieg der strukturellen Komplexität der Bestandesstruktur führen. Dieser Effekt ist jedoch relativ schnell gesättigt und weitere Baumarten erhöhen die Strukturvielfalt nicht weiter. Weiterhin stellten wir fest, dass mit zunehmendem Laubbaumanteil auch die strukturelle Komplexität von Nadelbeständen zunahm, was darauf hindeutet, dass ein positiver Effekt der Beimischung zu erkennen war.

Unsere Studie liefert Hinweise darauf, dass die Umwandlung von Nadelbaummonokulturen in Mischwälder mit Laubbaumarten sowie die Mischung von Baumarten mit zwischenartlichen Unterschieden in Baumform die Entstehung strukturell komplexerer Bestandsstrukturen fördern kann. Komplexere Strukturen haben nachweislich zahlreiche Vorteile für Mensch und Natur. So sind sie zum Beispiel vielfach artenreicher, besitzen ein stabileres Mikroklima und gelten als anpassungsfähiger an sich verändernde Umweltbedingungen.

## Wald & Totholz



### Autor\*innen

Juchheim J., Ehbrecht M., Schall P., Ammer C., **Seidel D.**

### Erschienen als

Effect of tree species mixing on stand structural complexity.  
Forestry 93: 75–83 (2020)

doi: 10.1093/forestry/cpz046

### Abbildungen

Seidel D.

Laserscans einer strukturalarmen Monokultur (oben) und eines strukturreichen Mischwaldes (unten).

## Vielfältige Reaktionen von Biodiversität auf die Heterogenität in Wäldern

Unterschiedliche Pflanzen, Strukturen und Totholz bieten Nahrung und Lebensräume bzw. ökologische Nischen für unterschiedliche Arten. Entsprechend besagt die „Habitats-Heterogenitäts-Hypothese“, dass je heterogener (vielfältiger) ein Wald ist, desto höher dessen Biodiversität sei. Doch reagieren wirklich alle Artengruppen durchweg positiv auf Heterogenität? Und welche Aspekte der Heterogenität sind für die jeweiligen Artengruppen entscheidend?

Um diese Fragen zu beantworten, haben wir die Heterogenität in 500 Waldflächen systematisch klassifiziert und sechs Hauptaspekte erfasst. Mit Feldaufnahmen ermittelten wir die Anzahl verschiedener Totholzarten und -strukturen sowie die Pflanzenartenvielfalt. Mittels Laserscanning-Technologie erfassten wir die Vielfalt in der vertikalen und horizontalen Waldstruktur sowie die Variabilität der Geländestruktur. Dann untersuchten wir, wie die Artenvielfalt von Fledermäusen, Vögeln, Spinnen, Käfern, Wanzen, Nachtfaltern, Pilzen und Flechten auf zunehmende Heterogenität in diesen sechs Aspekten reagiert.

Wie und auf welchen Aspekt der Heterogenität die Artengruppen reagieren, war sehr individuell und nicht von ihrer Verbreitungsfähigkeit oder ihrem Ernährungstyp ableitbar. Insgesamt war die Hälfte aller Beziehungen zwischen den verschiedenen Artengruppen und den einzelnen Aspekten durchgehend positiv. In einzelnen Aspekten hatte Heterogenität aber auch einen negativen Einfluss, entweder direkt zu Beginn (vor allem bei hoher Variabilität in der Geländestruktur) oder erst, wenn ein gewisses Maß an Heterogenität erreicht war. Die meisten Artengruppen reagierten auf Heterogenität in der Waldstruktur, die durch einen Wechsel von geschlossenem Wald und Lichtungen entsteht. Der Großteil dieser Reaktionen war positiv, so dass ein gewisser „Mut zur Lücke“ in der

## Wald & Totholz

Forstwirtschaft Biodiversität fördert. Allerdings sollten auch vereinzelt geschlossene Bestände erhalten bleiben, um Pilze, Flechten und Moose zu schützen, die negativ auf eine zu starke Auflichtung des Waldes reagieren.



### Autor\*innen

**Heidrich L.**, Bae S., Levick S., Seibold S., Weisser W., Krzystek P., Magdon P., Nauss T., Schall P., Serebryanyk A., Wöllauer S., Ammer C., Bässler C., Doerfler I., Fischer M., Gossner M. M., Heurich M., Hothorn T., Jung K., Kreft H., Schulze E.-D., Simons N., Thorn S., Müller J.

### Erschienen als

Heterogeneity-diversity relationships differ between and within trophic levels in temperate forests.  
Nature Ecology & Evolution 4: 1204–1212 (2020)

doi: 10.1038/s41559-020-1245-z

### Foto

Both S.  
Totholz im Nationalpark Hainich-Dün.

## Die Heterogenität der Bestände ist der Schlüssel für die biologische Vielfalt in bewirtschafteten Buchenwäldern

In der aktuellen Forstpolitik und im Naturschutz wird häufig die Kombination von einzelstammweise bewirtschafteten Wäldern und für den Naturschutz stillgelegten Wäldern empfohlen. Dies hat zum Ziel, die Biodiversität zu fördern. Wir untersuchten daher, wie sich eine Kombination aus Altersklassenwäldern, Plenterwäldern mit einzelstammweiser Bewirtschaftung und unbewirtschafteten Wäldern auf die Biodiversität von 14 Artengruppen auswirkt.

Im Gegensatz zu der genannten gängigen Empfehlung haben wir festgestellt, dass die höchste Biodiversität in einer Landschaft besteht, die allein aus den unterschiedlichen Waldentwicklungsphasen von Altersklassenwäldern besteht. Eine Beimischung von Plenterwäldern und stillgelegten Wäldern ergab keinen zusätzlichen Beitrag zur Biodiversität auf der Landschaftsebene. Dieses Ergebnis wurde in einem auf unsere Studie bezogenen Artikel mit dem Argument in Frage gestellt, dass die von uns untersuchten Wälder des Nationalparks Hainich nicht lange genug aus der Nutzung genommen waren.

Wir sehen das Potential stillgelegter Wälder als ‚Urwälder der Zukunft‘. Aktuell sind die von uns untersuchten stillgelegten Wälder allerdings repräsentativ für unbewirtschaftete Wälder Mitteleuropas, von den wenigen verbliebenen Urwäldern abgesehen. Auch diese wurden mehr oder weniger erst kürzlich stillgelegt. Trotz der relativ kurzen Zeit unterscheiden sich die Waldstrukturen der unbewirtschafteten Wälder in unserer Studie auch bereits von den bewirtschafteten Wäldern.

Aus unserer Studie lassen sich zwei wesentliche Schlussfolgerungen ziehen. Erstens: Unbewirtschaftete und stillgelegte Wälder sind wichtig. Eine vollständige Komplementarität zu bewirtschafteten

## Wald & Totholz

Autor\*innen

**Schall P.**, Heinrichs S., Ammer C., Ayasse M., Boch S., Buscot F., Fischer M., Goldmann K., Overmann J., Schulze E.-D., Sikorski J., Weisser W. W., Wubet T., Gossner M. M.

Erschienen als

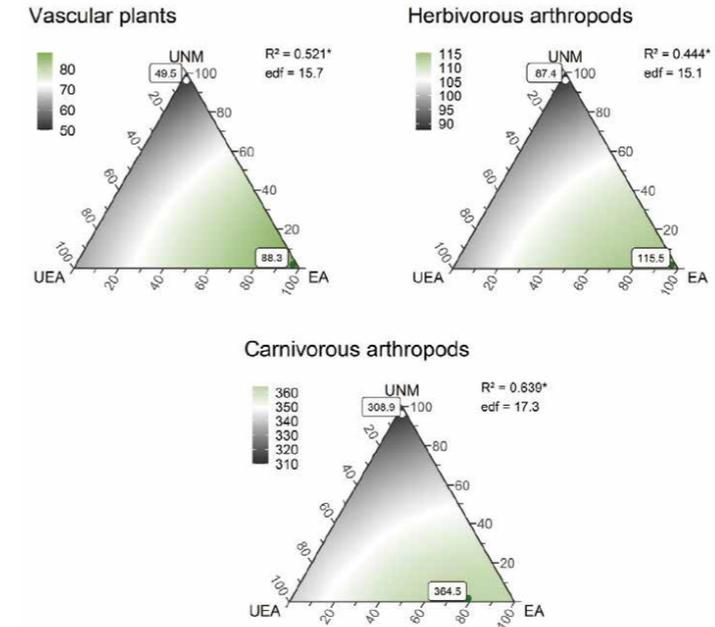
Among stand heterogeneity is key for biodiversity in managed beech forests but does not question the value of unmanaged forests: Response to Bruun and Heilmann-Clausen (2021).  
Journal of Applied Ecology 58: 1817-1826 (2021)

doi: 10.1111/1365-2664.13959

Abbildung

Schall P.  
Biodiversität von Gefäßpflanzen (*Vascular plants*), pflanzenfressenden Arthropoden (*Herbivorous arthropods*) und räuberischen Arthropoden (*Carnivorous arthropods*) in Buchenwaldlandschaften mit unterschiedlichen Anteilen von Altersklassenwäldern (EA), Plenterwäldern (UEA) und unbewirtschafteten Wäldern (UNM).

Wäldern kann sich jedoch erst nach Jahrzehnten natürlicher Entwicklung herausbilden. Zweitens sollte sich der Schutz der biologischen Vielfalt in bewirtschafteten Waldlandschaften darauf konzentrieren, eine Landschaftsmatrix aus verschiedenen Waldentwicklungsphasen mit unterschiedlichen Umweltbedingungen zu schaffen. Solche Landschaften können teilweise Strukturen kompensieren, die in vitalen, dichten und geschlossenen Wäldern, die vor kurzem stillgelegt wurden, noch fehlen.



## Waldstrukturen im Vergleich – Untersuchungen der Dynamik in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern

Die Dynamik der Waldstruktur beeinflusst die Qualität des Lebensraumes für verschiedene Tier- und Pflanzenarten und wird durch die Waldbewirtschaftung und natürliche Störungen beeinflusst.

Um Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Rotbuchenwäldern (*Fagus sylvatica*) zu erfassen, untersuchten wir die Waldstruktur von Beständen zwischen 2014 und 2019. Wir haben hierzu die Waldstruktur (mit terrestrischem Laserscanning) auf jeweils 42 ein Hektar großen Waldparzellen aufgenommen. Dafür diente eine dreidimensionale Rekonstruktion der Vegetationsstruktur in den Untersuchungsgebieten auf Grundlage terrestrischer Laserscandaten. Die Technologie unterstützt dabei, die Verteilung von Biomasse im dreidimensionalen Raum zu erfassen. Folgende Ergebnisse zeigten sich nach unseren Untersuchungen:

- Unbewirtschaftete Wälder wiesen keine wesentlichen Veränderungen der Strukturvielfalt auf, was auf das Ausbleiben von Störungen zurückzuführen ist.
- Bewirtschaftete Wälder zeigten eine ausgeprägtere Dynamik der 3D-Waldstruktur als unbewirtschaftete Wälder.
- Ungleichaltrige Bestände mit geringerem Kronenschluss waren zu Beginn der Aufnahmen durch stärkere Veränderungen der Waldstruktur charakterisiert als Bestände mit einem hohen Kronenschluss. Dies konnte auf die Vegetationsentwicklung in den unteren Schichten sowie Naturverjüngung zurückgeführt werden.
- Die Dynamik der Waldstruktur in Altersklassenwäldern unterschied sich stark zwischen den natürlichen Altersstufen, wobei dichte, geschlossene Waldbestände junger Bäume (Dickungen) und Altbestände die höchste Zunahme an Strukturvielfalt aufwiesen.

## Wald & Totholz

Insgesamt konnten wir innerhalb des Untersuchungszeitraums keine statistisch maßgebliche Abnahme der Strukturvielfalt der untersuchten Bestände feststellen. Unsere Ergebnisse belegen, dass die Waldbewirtschaftung ein wesentlicher Treiber der Veränderungen der Waldstruktur in Rotbuchenwäldern ist. Die Dynamik der Waldstruktur in unbewirtschafteten Wäldern ist hingegen vor allem von natürlichen Störungen (z. B. Windbruch) abhängig.



### Autor\*innen

Willim K., Ammer C., Seidel D., Annighöfer P., Schmucker J., Schall P., **Ehbrecht M.**

### Erschienen als

Short-term dynamics of structural complexity in differently managed and unmanaged European beech forests.

Trees, Forests and People 8: 100231 (2022)

doi: 10.1016/j.tfp.2022.100231

### Foto

Weißing K.

Terrestrischer Laserscanner in einem Untersuchungsbestand der Biodiversitäts-Explorationen zur Erfassung der dreidimensionalen Waldstruktur.

## Weniger ist mehr: Auswirkungen von verringertter Konkurrenz durch Nachbarschaft anderer Baumarten auf das Wachstum von Rotbuchen

Bestände aus mehreren Baumarten werden im Hinblick auf die Anpassung von Wäldern an den Klimawandel als vorteilhaft angesehen, da sie resilienter zu sein scheinen als Reinbestände. Unklar ist allerdings, welche Rolle dabei intra- und interspezifische Konkurrenzwirkungen spielen. Mit Dendrometern, d. h. Messinstrumenten, die die Veränderung des Durchmessers von Bäumen alle 30 min automatisch aufzeichnen, haben wir in jeweils acht Baumgruppen in den drei Regionen der Biodiversitäts-Exploratorien das interannuelle Wachstum von Buchen erfasst. Die untersuchten Bäume waren entweder von Bäumen derselben Art umgeben oder befanden sich in Nachbarschaft von Bäumen anderer Baumarten.

Wie sich zeigte, wuchsen die Buchen in Mischung mit anderen Baumarten besser als in der innerartlichen Nachbarschaft. Im Falle der Buche in Mischung mit der Kiefer in der Schorfheide war dieser Effekt hochsignifikant und auf einen höheren Zuwachs über die gesamte Vegetationsperiode hinweg zurückzuführen. Interessanterweise erwies sich der Wuchsrhythmus der Buche über das Jahr hinweg (z. B. der Zeitpunkt des maximalen Zuwachses) als weitestgehend unabhängig von der Region und den Nachbarschaftsverhältnissen.

Für die forstliche Praxis bedeuten diese Ergebnisse, dass sich der Konkurrenzdruck, dem Buchen ausgesetzt sind, durch die Beteiligung von Mischbaumarten absenken lässt. Dies könnte positive Auswirkungen auf ihre Resilienz gegenüber Stressoren haben.

## Wald & Totholz



### Autor\*innen

Metz J., Annighöfer P., Westekemper K., Schall P., Schulze E.-D., **Ammer C.**

### Erschienen als

Less is more: Effects of competition reduction and facilitation on intra-annual (basal area) growth of mature European beech. *Trees* 34: 17–36 (2020)

doi: 10.1007/s00468-019-01894-7

### Fotos

Hackmann C.  
Automatisch messender Dendrometer.

## Bundeswaldinventuren erfassen die Multifunktionalität der bewirtschafteten Wälder in Deutschland

Wälder erbringen eine Vielzahl an Ökosystemleistungen für den Menschen: sie sind Klimaschützer, produzieren nachwachsende Rohstoffe, sorgen für sauberes Grundwasser und frische Luft, bieten Raum für Naherholung und Lebensraum für unzählige Tier-, Pilz- und Pflanzenarten. In vielen Teilen der Welt hat sich daher der Fokus der Waldbewirtschaftung von der Holzproduktion zu multifunktionaler Waldbewirtschaftung verlagert. Ob und wie heimische Wälder diese Vielzahl an Funktionen am besten erfüllen, wird nicht nur in der Forstwirtschaft, sondern auch in der Öffentlichkeit diskutiert. Bislang gab es jedoch nur wenige wissenschaftliche Studien, die ein breites Spektrum an Ökosystemleistungen in unterschiedlichen Wäldern erfassten. In dieser Studie nutzten wir die 150 Exploratorien-Waldflächen um zu untersuchen, ob es bestimmte Wälder gibt, die ein möglichst breites Spektrum an Ökosystemleistungen erbringen.

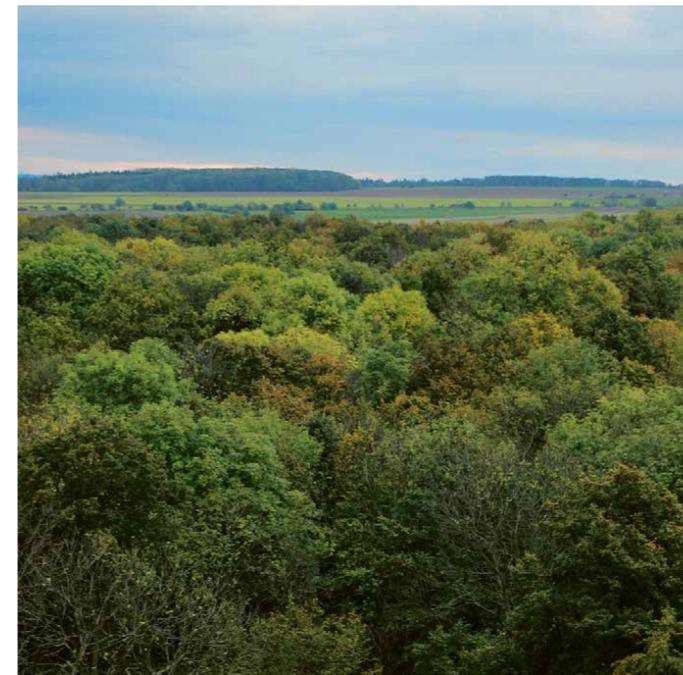
Hierfür berechneten wir mathematische Beziehungen zwischen Waldstrukturvariablen und 13 Indikatoren für Ökosystemleistungen. Die Waldstrukturvariablen wurden so ausgewählt, dass sie sowohl auf den Flächen der Exploratorien als auch im Rahmen der Bundeswaldinventur (BWI) erhoben worden waren. Dadurch konnten wir das Potential an Ökosystemleistungen für die häufigsten Wälder Deutschlands voraussagen.

Wir fanden deutliche Unterschiede in der Verteilung verschiedener Gruppen von Ökosystemleistungen zwischen Wäldern mit unterschiedlicher Baumartenzusammensetzung: Fichten- und Kiefern-dominierte Wälder zeigten hohe Leistungen bei Zersetzungsprozessen im Boden und den damit assoziierten Pilzgemeinschaften sowie ein hohes Potential an für Menschen genießbaren Pflanzen (z.B. Brombeeren oder Heidelbeeren). Im Gegensatz dazu zeig-

## Wald & Totholz

ten Buchenwälder ein hohes Potential für ein stabiles Kleinklima, Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse der Bäume, eine hohe Aktivität im Stickstoffkreislauf und einen hohen Anteil kulturell interessanter Pflanzenarten im Unterwuchs.

Keiner der untersuchten Waldtypen zeigte ein hohes Potential über alle Ökosystemleistungen hinweg. Dies zeigt, dass eine Multifunktionalität nur über eine Kombination unterschiedlicher Wälder und somit nur auf großen räumlichen Skalen erreicht werden kann.



### Autor\*innen

**Simons N. K.**, Felipe-Lucia M. R., Schall P., Ammer C., Bauhus J., Blüthgen N., Boch S., Buscot F., Fischer M., Goldmann K., Gossner M. M., Hänsel F., Jung K., Manning P., Nauss T., Oelmann Y., Pena R., Polle A., Renner S. C., Schloter M., Schöning I., Schulze E.-D., Solly E., Sorkau E., Stempfhuber B., Wubet T., Müller J., Seibold S., Weisser W. W.

### Erschienen als

National Forest Inventories capture the multifunctionality of managed forests in Germany. *Forest Ecosystems* 8: 1-19 (2021)

doi: 10.1186/s40663-021-00280-5

### Foto

Fischer C.

Wald im Exploratorium Hainich-Dün aus der Vogelperspektive.

## Handbuch zur Probenahme im Feld für Studien zur biologischen Vielfalt in europäischen Wäldern mit mehreren Taxa

Wälder beherbergen die höchste terrestrische biologische Vielfalt, und ihre nachhaltige Bewirtschaftung ist entscheidend, um einen weiteren Biodiversitätsverlust aufzuhalten. Es stellt sich allerdings die Frage nach dem Narrativ der nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Obwohl die Wissenschaft betont, dass eine nachhaltige Waldbewirtschaftung an Hand der biologischen Vielfalt mehrerer Organismengruppen bewertet werden sollte, berücksichtigen die meisten aktuell verwendeten Kriterien nur Bäume oder indirekte Indikatoren.

Mehrere Forschungsprojekte widmeten sich dem Effekt der Waldbewirtschaftung auf die Diversität mehrerer, unterschiedlicher Organismengruppen, aber die große Variabilität der Untersuchungsmethoden erschwert die Ermittlung allgemeiner Trends und beschränkt generelle Empfehlungen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung.

Wir haben ein Netzwerk von Forschenden aufgebaut, die an 41 Studien zur Biodiversität von Wäldern in 13 europäischen Ländern beteiligt sind. Die Studien untersuch(t)en die Biodiversität von mindestens drei Organismengruppen und die Eigenschaften der Walduntersuchungsflächen. Wir haben die Untersuchungsmethoden für die biologische Vielfalt, stehende Bäume und Totholz für diesen Überblick genutzt, um praktische Antworten auf zwei einfache, aber entscheidende Fragen zu geben: Was soll beprobt werden? Wie soll man Proben nehmen?

Die am häufigsten untersuchten taxonomischen Gruppen sind Gefäßpflanzen (83 % der Studien), Käfer (80%), Flechten (66%), Vögel (66%), Pilze (61%) und Moose (49%). Sie decken verschiedene Waldstrukturen und Lebensräume ab, hingegen nur begrenzt Boden, Streu und Baumkronen. Ungeachtet des gemeinsamen

## Wald & Totholz

### Autor\*innen

Burrascano S., Trentanovi G., Paillet Y., Heilmann-Clausen J., Giordani P., Bagella S., Bravo-Oviedo A., Campanaro T., Campanaro A., Chianucci F., de Smedt P., Itziar G.-M., Matošević D., Sitzia T., Aszalós R., Brazaitis G., Cutini A., D'Andrea E., Doerfler I., Hofmeister J., Hošek J., Janssen P., Kepfer Rojas S., Korboulewsky N., Kozák D., Lachat T., Lohmus A., Lopez R., Márell A., Matula R., Mikoláš M., Munzi S., Nordén B., Pärtel M., Penner J., Runnel K., **Schall P.**, Svoboda M., Tinya F., Ujházyová M., Vandekerckhove K., Verheyen K., Xystrakis F., Ódor P.

### Erschienen als

Handbook of field sampling for multi-taxon biodiversity studies in European forests. Ecological Indicators (2021)

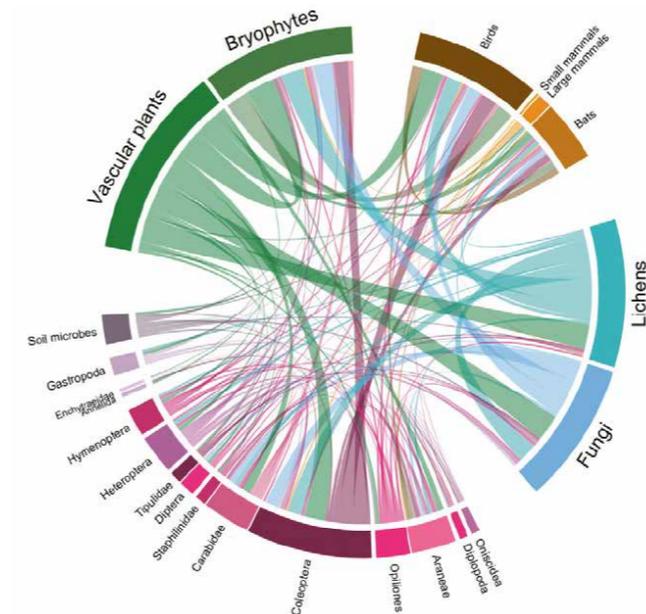
doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108266

### Abbildung

Burrascano S. Überschneidungen der Organismengruppen in den 41 analysierten Studien zum Effekt von Waldbewirtschaftung auf die Biodiversität.

Ziels, die Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf die biologische Vielfalt darzustellen, unterschieden sich die Untersuchungsmethoden innerhalb und zwischen den taxonomischen Gruppen erheblich.

Wir haben ein Handbuch der Untersuchungsmethoden entwickelt, das auf eine größtmögliche Vergleichbarkeit zwischen taxonomischen Gruppen und Studien abzielt und als Grundlage für europaweite Programme zur Überwachung der biologischen Vielfalt und für ein solides Verständnis der Reaktion der biologischen Vielfalt auf die Waldbewirtschaftung dienen soll.



## Geringe Populationsdifferenzierung, aber hohe phänotypische Plastizität der Rotbuche in Deutschland

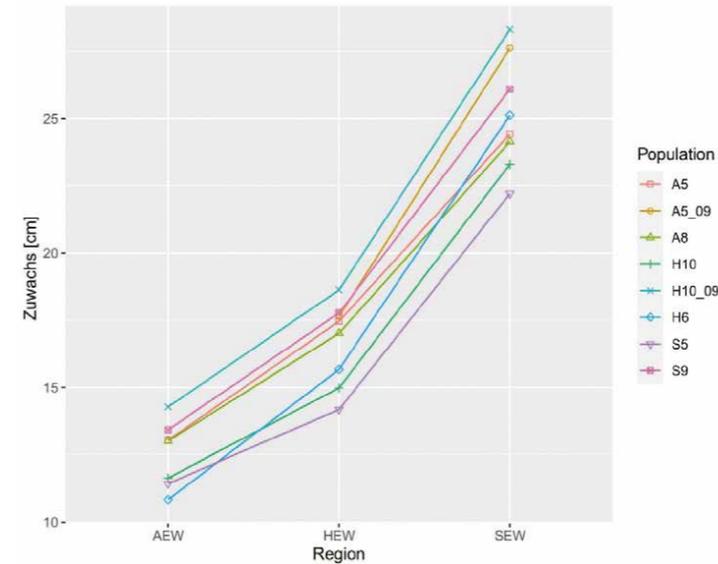
Durch den Klimawandel wird die Vitalität der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) in vielen Regionen ihres Verbreitungsgebietes reduziert. Ursache dafür sind vor allem eine erhöhte Trockenheit sowie Hitze. Neben genetischer Anpassung könnte auch die sogenannte phänotypische Plastizität bei der Anpassung an den Klimawandel helfen. Dabei können Bäume, in gewissem Umfang, in unterschiedlichen Umwelten verschiedene Merkmale ausbilden. Beispielsweise kann das Höhenwachstum von Bäumen in verschiedenen Regionen variieren. Bei der Rotbuche wurden unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Wichtigkeit von phänotypischer Plastizität und genetischer Variation bei der Ausprägung von Merkmalen berichtet.

In einem großen Translokationsexperiment mit mehr als 15.500 Sämlingen haben wir untersucht, wie sich verschiedene Buchenpopulationen hinsichtlich des Überlebens, der Höhe und des Höhenzuwachses unterschieden. Dafür wurden Buchensämlinge aus Bucheckern aller drei Biodiversitäts-Exploratorien in jede Region ausgepflanzt, um die Vitalität der Buche unter verschiedenen Umweltbedingungen zu analysieren.

Insgesamt gab es nur geringfügige Unterschiede im Überleben, der Höhe und dem Höhenzuwachs zwischen den Populationen. Die Merkmale unterschieden sich allerdings deutlich zwischen den drei Exploratorien, was für eine hohe phänotypische Plastizität bei der Buche spricht. Wir fanden zudem Hinweise auf einen positiven Effekt von Temperatur auf das Überleben der Sämlinge unter moderatem Trockenstress.

Die hohe phänotypische Plastizität könnte der Buche helfen, besser mit dem Klimawandel zurechtzukommen. Auf lange Sicht werden aber wahrscheinlich evolutionäre Anpassungen, wie die Selektion

von trockenstresstoleranten Buchen, notwendig sein, um sich an verändernde klimatische Bedingungen anzupassen.



## Wald & Totholz

Autor\*innen

Müller M., Kempen T., Finkeldey R., Gailing O.

Erschienen als

Low Population Differentiation but High Phenotypic Plasticity of European Beech in Germany.

Forests 11: 1354 (2020)

doi: 10.3390/f11121354

Abbildung

Müller M.

Mittlerer Zuwachs der verschiedenen Buchenpopulationen in den drei Biodiversitäts-Exploratorien.

## „Denn die einen sind im Dunkeln / Und die anderen sind im Licht“ (B. Brecht)

Im Wald ist es dunkel, zumindest in alten Beständen. Die Pflanzenarten der Bodenvegetation sind daran angepasst, sie kommen mit wenig Licht aus, bilden aber auch nur schütterere Bestände. Durchforstung, Holzeinschlag, Rückegassen und Forstwege bringen Licht in den Wald, und damit auch Pflanzenarten der halbschattigen Wegränder. Zu Einbeere, Bingelkraut und Haselwurz gesellen sich nun Springkraut und Brennnessel: also mehr Pflanzenarten, je lichter der Wald?

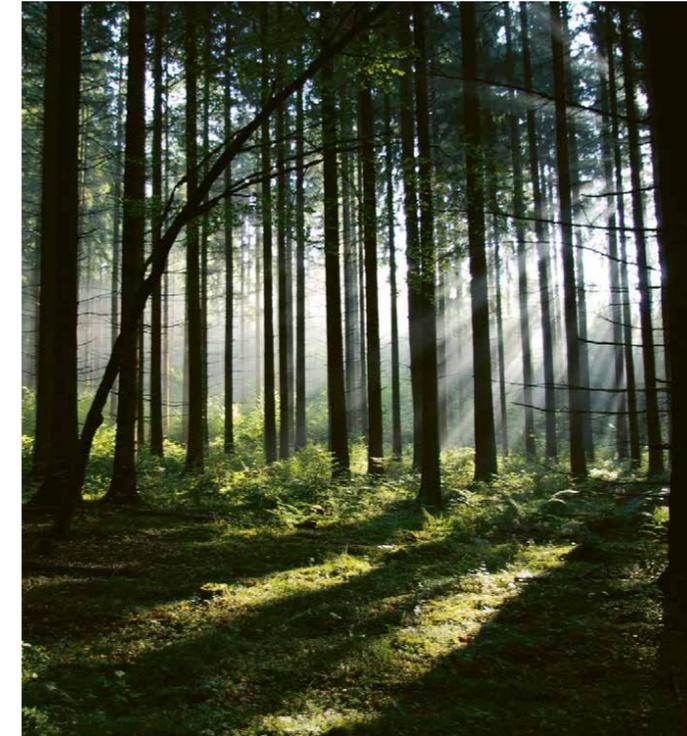
Um das Nebeneinander vieler Pflanzenarten zu erklären, bemühen wir häufig die Vorstellung der räumlichen Variabilität: Wenn in einem Waldstück sowohl helle als auch dunkle Stellen vorkommen, dann erwarten wir auch unterschiedliche Lebensbedingungen, die verschiedenen Arten gerecht werden. Bedeutet dies also, je variabler die Lichtverhältnisse desto mehr Pflanzenarten?

In den 150 Waldflächen der Biodiversitäts-Exploratorien haben wir beides gemessen: wie dunkel es ist und wie variabel die Lichtverhältnisse sind. Und es zeigte sich, konsistent in Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin und Schwäbischer Alb, dass mehr Licht in der Tat zu mehr Pflanzenarten auf den Flächen führte! Von dunklen 2% der Einstrahlung zu relativ hellen 10% (das Auge empfindet diesen Unterschied als erheblich!), verdoppelte sich die Artenzahl auf 20 bis 60, je nach Region.

Lichtvariabilität hatte keinen erkennbaren zusätzlichen Effekt auf die Pflanzenzahl. Wenig überraschend ist diese Variabilität im dunklen Wald geringer als im lichten, und so folgt die Variabilität den absoluten Lichtverhältnissen. Die Artenzahl aber zeichnet die absoluten Verhältnisse nach und reagiert nicht so stark auf Variabilität.

## Wald & Totholz

Auch spielt es, glücklicherweise, fast keine Rolle, wie wir die Lichtverhältnisse erfassen: über den Daumen geschätzter Kronenschluss, mit Photozellen am Boden gemessen, oder aus neusten Laserscannermessungen. Alle diese Methoden liefern ein ähnliches Ergebnis: der lichte Wald ist pflanzenartenreicher! Ob wir uns an Efeu, Klettlabkraut und Brombeere genauso erfreuen wie an den typischeren Waldarten entscheidet die persönliche Vorliebe.



### Autor\*innen

**Dormann C.F.**, Bagnara M., Boch S., Hinderling J., Janeiro-Otero A., Schäfer D., Schall P., Hartig F.

### Erschienen als

Plant species richness increases with light availability, but not variability, in temperate forests under-storey.

BMC Ecology 20: 43 (2020)

doi: 10.1186/s12898-020-00311-9

### Foto

Boch S.

Fichtenbestand auf der Schwäbischen Alb.

## Flechten und ihre Vielfalt – ihre Bedeutung in Waldökosystemen und was ihren Erhalt stärkt

Flechten sind ein wichtiger Bestandteil von Waldökosystemen. Sie tragen maßgeblich zur biologischen Vielfalt bei und sind entscheidend für verschiedene Ökosystemfunktionen. Da Flechten empfindlich auf Umweltveränderungen reagieren, haben die vom Menschen verursachten Lebensraumveränderungen und die Luftverschmutzung im letzten Jahrhundert zu einem starken Rückgang der Flechtenvielfalt geführt. Dabei gilt die intensive Waldbewirtschaftung als einer der Hauptgründe für den Verlust von Arten.

In der Ökologie werden neben der Artenvielfalt zunehmend auch andere Diversitätsmaße verwendet, um lokale Unterschiede in der Artenzusammensetzung und der Dynamik der Biodiversität widerzuspiegeln. Eines dieser Diversitätsmaße ist die sogenannte funktionelle Diversität, welche die Vielfalt und die Variation bestimmter Merkmale einer Artengemeinschaft einbezieht. Funktionale Merkmale sind Eigenschaften von Organismen, die die Fitness, die Koexistenz und das Funktionieren von Ökosystemen beeinflussen.

Auf 642 Untersuchungsflächen in den Wäldern der drei Biodiversitäts-Exploratorien erfassten wir alle vorkommenden Flechtenarten und errechneten die funktionelle Diversität der Flechten pro Untersuchungsfläche. Wir untersuchten, wie und aus welchen Gründen sich die funktionelle Diversität zwischen verschiedenen Beständen unterscheidet und welchen Einfluss die Bewirtschaftungsintensität hat.

Die Wechselbeziehung zwischen Bewirtschaftungsintensität, Bestandesvariablen und funktioneller Diversität der Flechten waren insgesamt sehr komplex. Unsere Ergebnisse zeigen aber, dass die Bewirtschaftungsintensität die Flechtendiversität direkt beeinflusst und auch Bestandesvariablen wie den Totholzanteil verändert, was wiederum die Flechtendiversität zusätzlich indirekt beeinflusst,

## Wald & Totholz

indem es als sogenannter Umweltfilter wirkt. Insgesamt lässt sich feststellen: Je intensiver die Nutzung des Waldes und je mehr Nadelbäume in einem Bestand wuchsen, desto geringer war die funktionelle Diversität der Flechten; je älter und totholzreicher ein Bestand, desto höher war sie.

Unsere Ergebnisse legen wichtige Schlussfolgerungen für die Waldbewirtschaftung nahe, denn alte, standorttypische und gehölzartenreiche Laubwälder mit hohem Baumartenreichtum und großen Totholz mengen sind essenziell für den Erhalt der Flechtenvielfalt in Wäldern – Bedingungen, die sich aktiv durch angepasste Nutzung erreichen lassen.



### Autor\*innen

**Boch S.** (WSL), Saiz H., Allan E., Schall P., Prati D., Schulze E.-D., Hessenmöller D., Sparrius L., Fischer M.

### Erschienen als

Direct and indirect effects of management intensity and environmental factors on functional diversity of lichens in Central European forests.

Microorganisms 9: 463 (2021)

doi: 10.3390/microorganisms9020463

### Foto

Boch S.

Flechten auf der Schwäbischen Alb.

## Die relative Bedeutung von Raum und Wirt für die Beta-Diversität von Käfern, Pilzen und Bakterien: Analyse eines großen Totholzexperiments

Die Forstwirtschaft hat die Baumartenzusammensetzung sowie Menge und Vielfalt von Totholz verringert, was sich negativ auf die Diversität der totholzbewohnenden Arten ausgewirkt hat. Diese Arten machen einen Großteil der Walddiversität aus, sind wichtige Zersetzer und daher entscheidend für die Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe. Ihr Schutz ist daher von besonderer Bedeutung. Um allgemeingültige Schutzkonzepte für die wichtigsten Zersetzergruppen konzipieren zu können, muss die relative Bedeutung einzelner Umweltfaktoren für die Gesamtdiversität der einzelnen Artengruppen untersucht werden.

Dazu haben wir Daten über totholzbewohnende Käfer, Pilze (Fruchtkörper und molekulare DNA-Detektion) und Bakterien aus dem *BELongDead*-Experiment der Biodiversitäts-Exploratorien genutzt. Wir haben die Bedeutung des Raumes, also der verschiedenen Regionen und Waldbestände, sowie der Baumstämme – also Baumklassen und -arten – für die Diversität der Totholzbewohner separat voneinander betrachtet.

Es zeigte sich, dass der Einfluss von räumlichen und Wirtsskalen für die Diversität von Käfern und Pilzfruchtkörpern gleichermaßen wichtig war. Für die Diversität von molekular detektierten Pilzen und Bakterien jedoch war die Wirtsskala viel wichtiger als die räumliche Skala. Innerhalb der räumlichen Skala stellten wir fest, dass Unterschiede zwischen den Waldbeständen, z.B. Bewirtschaftungsformen für alle Artengruppen, wichtiger waren als Unterschiede zwischen den Regionen, wie z.B. Klimata. Innerhalb der Wirtsskala waren wiederum die Unterschiede zwischen den Wirtsbaumarten – also die unterschiedliche physikochemische Zusammensetzung – wichtiger als die Unterschiede zwischen den Wirtsbaumklassen.

## Wald & Totholz

Diese Ergebnisse zeigen, dass ein allgemeines Schutzkonzept auf einer einzigen Skala für die untersuchten Artengruppen nicht möglich ist. Daher ist ein umfassendes Schutzkonzept notwendig, das die Anreicherung von Totholz verschiedener Baumarten aus verschiedenen Klassen in Wäldern unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen in klimatisch unterschiedlichen Regionen fördert. Durch dieses „alles überall“ können totholzabhängige Arten in Deutschland optimal geschützt werden.



### Autor\*innen

**Rieker D.**, Krah F.-S., Gossner M. M., Uhl B., Ambarli D., Baber K., Buscot F., Hofrichter M., Hoppe B., Kahl T., Kellner H., Moll J., Purahong W., Seibold S., Weisser W. W., Bässler C.

### Erschienen als

Disentangling the importance of space and host tree for the beta-diversity of beetles, fungi, and bacteria: Lessons from a large dead-wood experiment.

Conservation Biology 268: 109521 (2022)

doi: 10.1016/j.biocon.2022.109521

### Foto

Rieker D.  
Fruchtkörper eines Stäublings auf Totholz.

## Totholz bewohnende Pilze, Bakterien, Archaeen und Fadenwürmer und ihre Verteilungsmuster

Pilze und Bakterien sind die wichtigsten Besiedler von Holz und hauptverantwortlich für dessen Abbau. Mit Hilfe erbgutbasierter Methoden wurden große Fortschritte erzielt, diese Gemeinschaften zu identifizieren und ihre Verteilung zu bewerten. Zwar weiß man, dass mikrobielle Archaeen wichtige Aufgaben in Stoffkreisläufen übernehmen und Fadenwürmer (sog. Nematoden) durch das Fressen von Bakterien und Pilzen deren Vorkommen regulieren, aber welche Aufgaben diese Lebewesen im Totholz übernehmen und durch welche Faktoren ihr Vorkommen beeinflusst wird, ist hingegen weitestgehend unbekannt.

Wir haben durch das sog. *Metabarcoding*, d. h. die Identifizierung der Lebewesen anhand ihrer DNA, die oben genannten Gruppen erfolgreich in 13 verschiedenen Totholz-Baumarten nachgewiesen und untersucht, welchen Regeln ihre Verteilung unterliegt.

Unsere Studien konnten zeigen, dass vor allem die Baumart des Wirtsbaums die Zusammensetzung der Gemeinschaften bestimmt, d. h. die Buche wird von anderen Pilzen, Bakterien, Nematoden und Archaeen bewohnt als beispielsweise die Fichte. Pilzgemeinschaften zeigen dabei besonders ausgeprägte Spezialisierung zwischen den Baumarten. Weitere wichtige Faktoren, die das Vorkommen dieser Lebewesen beeinflussen, sind der pH-Wert und der Wassergehalt des Holzes. Unter den Nematoden wurden viele Arten identifiziert, die sich von Bakterien und Pilzen ernähren. Interessanterweise besteht eine Verbindung zwischen dem Vorkommen von Pilzen, Bakterien und dem Vorkommen von Nematoden. Die Ergebnisse weisen auf Beziehungen zwischen diesen Großgruppen hin und somit scheinen Nematoden ein wichtiger Bestandteil des auf Totholz basierenden Nahrungsnetzes zu sein.

### Autor\*innen

**Moll J.**, Roy F., Bässler C., Heilmann-Clausen J., Hofrichter M., Kellner H., Krabel D., Schmidt J. H., Buscot F., Hoppe B.

### Erschienen als

First evidence that nematode communities in deadwood are related to tree species identity and to co-occurring fungi and prokaryotes. *Microorganisms* 9: 1454 (2021)

doi: 10.3390/microorganisms9071454

### Foto

Moll J.  
Totholz lebt.

## Wald & Totholz

Man kann daraus schließen, dass das Vorhandensein von Totholz verschiedener Baumarten die Biodiversität der totholz-bewohnenden Lebewesen fördert. Wie genau die Bewirtschaftungsintensität die Totholz-Bewohner beeinflusst, soll in Folgestudien untersucht werden.



### Autor\*innen

**Moll J.**, Heintz-Buschart A., Bässler C., Hofrichter M., Kellner H., Buscot F., Hoppe B.

### Erschienen als

Amplicon Sequencing-Based Bipartite Network Analysis Confirms a High Degree of Specialization and Modularity for Fungi and Prokaryotes in Deadwood. *mSphere* 6: e00856–20 (2021)

doi: 10.1128/mSphere.00856-20

### Autor\*innen

**Moll J.**, Hoppe B.

### Erschienen als

Evaluation of primers for the detection of deadwood-inhabiting archaea via amplicon sequencing. *PeerJ* 10: e14567 (2022)

PeerJ 10: e14567 (2022)

doi: 10.7717/peerj.14567

## Auswirkungen von Totholz auf chemische und mikrobielle Bodeneigenschaften

In Wäldern liegende Totholzstämme werden über viele Jahre von Pilzen, Bakterien und tierischen Organismen zersetzt. Der Zersetzungsgrad des Totholzes kann den darunter befindlichen Boden in mehrfacher Hinsicht beeinflussen. Zum einen verändert liegendes Totholz die Temperatur und Feuchtigkeit im Boden. Zum anderen werden durch die Zersetzung des Holzes organische Verbindungen freigesetzt, die in den Boden eingetragen werden. Diese Studie befasst sich mit der Frage, wie sich liegende Totholzstämme verschiedener Baumarten auf den chemischen und mikrobiellen Bodenzustand in drei Regionen Deutschlands mit unterschiedlichen Bodentypen auswirken.

Die Studie ist Teil des *BELongDead*-Experiments, bei dem Stämme von 13 heimischen Baumarten in 30 Waldflächen ausgebracht wurden. Nach einer Zersetzungsphase von acht Jahren wurden Bodenproben direkt unterhalb der Baumstämme entnommen und analysiert. Diese wurden mit Bodenproben ohne Totholzeinfluss verglichen, die in acht Meter Entfernung von den Totholzstämmen entnommen wurden.

Die mittleren Kohlenstoff-, Stickstoff-, Phosphor- und Kalziumgehalte nahmen in den Böden unter den Baumstämmen um 5-18 % zu. Dagegen gab es keine Veränderungen bei den Kalium-, Magnesium-, Eisen-, Mangan- und Aluminium-Gehalten. Am stärksten machte sich der Totholzeinfluss auf die mikrobiellen Parameter in den Böden bemerkbar. Die Mineralisation organischer Kohlenstoffverbindungen (+33 %), die mikrobielle Biomasse (+18 %) und das Ergosterol (Bestandteil von Pilzzellmembranen, +54 %) waren deutlich erhöht. Insgesamt war der Einfluss der Totholzstämme vor allem auf nährstoffarmen, versauerten Böden nachweisbar. Trotz unterschiedlicher Zersetzung konnte kein Baumarteneffekt nachgewiesen werden.

## Wald & Totholz

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Baumstämme aller Baumarten die mikrobielle Aktivität und den Nährstoffgehalt von sauren und nährstoffarmen Böden erhöhen. Liegendes Totholz trägt somit zur Bodenverbesserung, Habitatbildung und Biodiversität in Wäldern bei.



### Autor\*innen

Minnich C., Persoh D., Poll C., **Borken W.**

### Erschienen als

Changes in Chemical and Microbial Soil Parameters Following 8 Years of Deadwood Decay: An Experiment with Logs of 13 Tree Species in 30 Forests.  
Ecosystems 24: 955–967 (2021)

doi: 10.1007/s10021-020-00562-z

### Foto

Groß C.

Birkenstamm in der mittleren Zersetzungsphase.

## Triebkräfte des Totholzverfalls bei 13 Baumarten der gemäßigten Breiten sind in Wald- und Grünlandhabitaten ähnlich

Totholz stellt eine wichtige Kohlenstoffquelle in Wäldern und bewaldeten Ökosystemen dar. Dementsprechend wird in Waldbewirtschaftungsstrategien die Anreicherung der Totholzmenge und -vielfalt durch verschiedene Baumarten diskutiert.

Um die Zersetzungsprozesse von angereichertem Totholz zu untersuchen, haben wir gleichzeitig 3.669 großstandardisierte und gammasterilisierte Holzproben von 13 Baumarten (Zitterpappel *Populus tremula*, Steinlinde *Tilia cordata*, Vogelkirsche *Prunus avium*, Hängebirke *Betula pendula*, Hainbuche *Carpinus betulus*, Gemeine Esche *Fraxinus excelsior*, Stieleiche *Quercus robur*, Rotbuche *Fagus sylvatica*, Spitzahorn *Acer platanoides*, Europäische Lärche *Larix decidua*, Waldkiefer *Pinus sylvestris*, Gemeine Fichte *Picea abies* und Douglasie *Pseudotsuga menziesii*) auf insgesamt 300 Wald- und Grünlandparzellen in drei Regionen Deutschlands (Biodiversitäts-Exploratorien) ausgelegt (siehe Foto). Die Exploratorien weisen große Unterschiede in der Bewirtschaftungsintensität und den Umweltbedingungen auf.

Nach einem Jahr wurde der Massenverlust berechnet und seine Beziehung zu den Holzmerkmalen und Umweltbedingungen bewertet, um die wichtigsten Faktoren zu ermitteln. Der Massenverlust war insgesamt höher in Wäldern als in Grünlandhabitaten, wobei die Holzmerkmale den wichtigsten Einflussfaktor darstellten, gefolgt von der Region und Umweltfaktoren im Zusammenhang mit dem Mikroklima. Die Bewirtschaftungsintensität war jedoch in beiden Lebensräumen für die Erklärung des Massenverlustes weniger relevant.

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Zersetzung von angereichertem Totholz, auch nach der Entfernung von Endophyten,

von denselben Faktoren beeinflusst wird (positiv von der Feuchtigkeit und der Fülle an Makronährstoffen, negativ von der Lignin- und Phenolkonzentration) wie nicht gammasterilisiertes Holz. Darüber hinaus trägt unsere Studie aufgrund des immensen und standardisierten Versuchsaufbaus zu einem besseren Verständnis der wichtigen Triebkräfte des Massenverlustes bei verschiedenen Baumarten bei und liefert damit die Grundlage für Vorhersagen über den Kohlenstoffkreislauf in einer sich verändernden Welt.



### Autor\*innen

Kipping L., Maurer F., Gossner M. M., Muszynski S., Kahl T., Kellner H., Weiser W. W., Jehmlich N., Noll M.

### Erschienen als

Drivers of deadwood decay of 13 temperate tree species are similar between forest and grassland habitats. *Frontiers in Forests and Global Change* 5: 1020737 (2022)

doi: 10.3389/ffgc.2022.1020737

### Fotovorlagen für digitale Illustrationen

Noll M.

Exposition von gammasterilisierten und standardisierten Totholzprüfkörpern von 13 Baumarten zum Start der Exposition in Grünlandhabitaten (links) und nach einem Jahr (rechts).

*Bilder in Adobe Illustrator bearbeitet.*

## Wald & Totholz

## Pilz- und bakterielle Zusammensetzungen einer natürlichen und einer artenreduzierten Holzersetzungsgemeinschaft, gewonnen aus spät verrottendem Rotbuchenholz (*Fagus sylvatica*) unter zwei Temperaturregimen

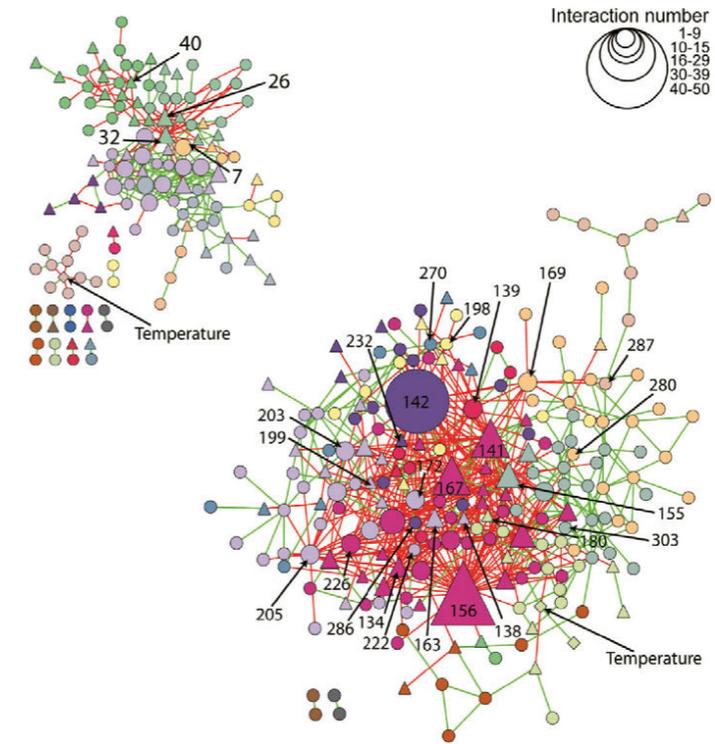
Umweltschwankungen sind ein häufiges Phänomen in einem Ökosystem, das sich auf die organismische Vielfalt und den damit verbundenen Beitrag in den Stoffkreisläufen eines Ökosystems auswirkt.

In dieser Studie wurde untersucht, inwieweit eine natürliche und eine artenreduzierte Holzersetzungsgemeinschaft in der Lage ist, Totholz der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) unter konstanten und schwankenden Temperaturen abzubauen. Hierzu wurden miniaturisierte Laborexperimente mit beiden Diversitätsstufen (natürlich und artenreduziert) hergestellt und acht Wochen lang unter beiden Temperaturregimen analysiert. Untersucht wurden der relative Massenverlust und pH-Wert des Holzes, die Kohlendioxid- und Methanemissionen sowie die Zusammensetzung der Pilz- und Bakteriengemeinschaften hinsichtlich Verteilung und Artenreichtum. Außerdem wurden die Interaktionsmuster der Gemeinschaften und die Netzwerke des gemeinsamen Auftretens berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die bakterielle und pilzliche Zusammensetzung, Verteilung und Artenreichtum in unterschiedlichem Ausmaß durch das Temperaturregime beeinflusst wurden. Die natürliche Vielfalt verursachte einen signifikant höheren Massenverlust im Vergleich zur artenreduzierten Vielfalt. Die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft der artenreduzierten Vielfalt wurde durch das Temperaturregime weniger beeinflusst als die Zusammensetzung der Pilzgemeinschaft. Die mikrobiellen Interaktionsmuster der natürlichen Vielfalt zeigten mehr kooperative Assoziationen als die Interaktionsmuster der artenreduzierten Vielfalt. In der artenreduzierten Vielfalt spielten besonders nitratreduzierende und stickstofffixierende Bakterien eine Schlüsselrolle in der Netzwerkstruktur, was auf ihre große Bedeutung für die Wiederherstellung der

zuvor bestehenden Stoffkreisläufe hinweist. Durch die Reduktion der Vielfalt wird die Wiederherstellung des mikrobiellen Beitrags zu Stoffkreisläufen und zum Totholzabbau wesentlich verlangsamt.

Daher ist eine Artenreduktion ohne Arteneinwanderung ein einschneidender Eingriff in ein Ökosystem, der eine eminente Bedrohung für die Abläufe der Stoffkreisläufe darstellt.



## Wald & Totholz

Autor\*innen

Muszynski S., Maurer F., Henjes S., Horn M. A., Noll M.

Erschienen als

Fungal and Bacterial Diversity Patterns of Two Diversity Levels Retrieved From a Late Decaying *Fagus sylvatica* Under Two Temperature Regimes.

Frontiers in Microbiology 11: 548793 (2021)

doi: 10.3389/fmicb.2020.548793

Abbildung

Muszynski S.

Pilzliche und bakterielle Netzwerkstrukturen einer natürlich (links) und artenreduzierten (rechts) Vielfalt. In der natürlichen Vielfalt wurden mehr kooperative Assoziationen (grüne Verbindungen zwischen den Punkten) als nicht-kooperative Assoziationen (rote Verbindungen zwischen den Punkten) detektiert. In der artenreduzierten Vielfalt dominieren wenige Mikroorganismen, während die natürliche Vielfalt eine ausgeglichene Verteilung aufweist.

## Metaproteomdaten aus Totholzproben

Totholz stellt einen bedeutenden Lebensraum in Waldökosystemen dar und erfüllt vielfältige ökologische Funktionen. Die Zersetzung von Holz in terrestrischen Ökosystemen ist ein entscheidender Prozess mit erheblichen ökologischen Auswirkungen. Dieser Zersetzungsprozess, der hauptsächlich durch organismische Aktivitäten ausgelöst wird, setzt sich aus biologischer Atmung, Auslaugung und Fragmentierung zusammen. Während wir bereits fundierte Kenntnisse über die Prozesse des Pilzaufbaus, ihre allgemeinen physiologischen und enzymatischen Aktivitäten sowie die resultierenden physikalisch-chemischen Veränderungen des Holzes während der Zersetzung haben, fehlt es noch an Nachweisen und Identifizierung der wichtigsten lignozellulolytischen Enzyme sowie an einem mechanistischen Verständnis. Die Frage nach den pilzlichen Schlüsselorganismen und -gruppen, die an diesem Prozess beteiligt sind, bleibt offen.

Um einen tieferen Einblick in diese mikrobiellen Gemeinschaften und ihre Rolle bei der Zersetzung von Totholz zu gewinnen, wurde die Metaproteomik eingesetzt. Diese Methode ermöglicht die Untersuchung des Proteoms einer gesamten Organismengemeinschaft, anstatt nur das Proteom eines einzelnen Organismus zu betrachten. Die Analyse von Metaproteomen umfasst die Extraktion, Aufreinigung und Identifizierung der Proteine aus einer gemischten Probe, wobei die Massenspektrometrie als Schlüsselinstrument für die Identifizierung und Quantifizierung der Proteine dient. Durch die Untersuchung des Metaproteoms können Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Proteine in einer bestimmten Umwelt aktiv sind, wie Mikroorganismen miteinander interagieren und wie sie auf Veränderungen in ihrer Umwelt reagieren.

## Wald & Totholz

In diesem Datensatz haben wir Proteomdaten eines Buchenholzstücks analysiert, wobei verschiedene Extraktionsmethoden angewandt wurden, um das Proteomprofil der entsprechenden Pilz-Bakteriengemeinschaft zu bestimmen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir durch diese Untersuchung einen umfassenden und detaillierten Einblick in die enzymatische Maschinerie von holzbewohnenden Pilzen erhalten haben.



### Autor\*innen

Kipping L., Holzcheck N., Maurer F., Muszynski S., Noll M., **Jehmlich N.**

### Erschienen als

Microbial metaproteome data from decayed beech dead wood.

Data brief 29: 10528 (2020)

doi: 10.1016/j.dib.2020.105285

### Foto

Jehmlich N.

Mit Pilzen überwachsene Totholzklötzchen.

## Die CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen von 13 Totholzbaumarten hängen mit der Baumart und der Bewirtschaftungsintensität in Wald- und Grünlandhabitaten zusammen

Totholz ist ein wichtiger Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufs, da bei seiner Zersetzung Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Methan (CH<sub>4</sub>) in die Atmosphäre freigesetzt werden. Die Hauptursachen für diese Treibhausgasemissionen aus Totholz sind jedoch nicht gut bekannt. Wir untersuchten die Faktoren, die die CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionsraten von 793 Totholzproben aus 13 verschiedenen Baumarten bestimmen, die ein Jahr lang auf 27 Wald- und 38 Grünlandflächen in der Schorfheide-Chorin, Deutschland, exponiert wurden.

Die Baumartenidentität war ein wichtiger Prädiktor für die Emissionen beider Gase, während der Lebensraumtyp und die Bewirtschaftungsintensität nur für die CO<sub>2</sub>-Emissionsrate von Bedeutung waren. Die CO<sub>2</sub>-Emissionsraten waren in den Waldgebieten um ein Drittel höher als in Grünlandhabitaten und korrelierten positiv mit dem Masseverlust des jeweiligen Totholzes. Holzmerkmale wie organische Extrakte, Lignin- und Schwefelgehalt zeigten eine negative Korrelation mit den CO<sub>2</sub>-Emissionsraten, während der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Magnesiumgehalt einen entgegengesetzten Effekt zeigten. Von den Klimavariablen wirkten sich die Luftfeuchtigkeit in Wäldern und die Bodenfeuchtigkeit in Grünlandhabitaten positiv auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsraten aus. Die CH<sub>4</sub>-Emissionsraten standen in beiden Lebensraumtypen in einem negativen Zusammenhang mit der zunehmenden Holzdichte, waren jedoch bei Baumarten mit höherem Schwefelgehalt positiv.

Insgesamt konnten die CO<sub>2</sub>-Emissionsraten aus Totholz gut durch Holzmerkmale, Bewirtschaftung und klimatische Variablen vorhergesagt werden, während die CH<sub>4</sub>-Emissionsraten weniger gut vorhersagbar waren. Unsere Ergebnisse geben einen tieferen Einblick in die Atmungsprozesse von Totholz und sollten bei weiteren Bewertungen des Kohlenstoffkreislaufs berücksichtigt werden.



## Wald & Totholz

### Autor\*innen

Kipping L., Gossner M. M., Koschorreck M., Muszynski S., Maurer F., Weisser W. W., Jehmlich N., **Noll M.**

### Erschienen als

Emission of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> From 13 Deadwood Tree Species Is Linked to Tree Species Identity and Management Intensity in Forest and Grassland Habitats.

Global Biogeochemical Cycles 36: e2021GB007143 (2022)

doi: 10.1029/2021GB007143

### Fotovorlagen für digitale Illustrationen

Noll M.

Auslage von Holzklötzchen im Wald (2017) (oben), Einsammeln der Holzklötzchen nach 1 Jahr Exposition im Wald (2018) (unten).

*Bilder in Adobe Illustrator bearbeitet.*

## Interaktionen und Funktionsmuster der aktiven Mikrobiota bei der Steuerung der Zersetzung von Totholz

Die Mitglieder der mikrobiellen Gemeinschaft spielen eine entscheidende Rolle als Erstbesiedler und aktive Zersetzer von Totholz. In dieser Studie wurden sterilisierte, standardisierte Proben von Buchen- und Fichtensplintholz auf den Waldboden von acht Buchen- und acht Fichtenwaldstandorten ausgebracht. Nach 370 Tagen wurden die Proben auf Masseverlust, Stickstoff(N)-Gehalt und die <sup>15</sup>N-Isotopensignatur sowie mikrobielle Enzymaktivitäten untersucht. Jede Probe wurde mit einem nukleotidbasierten Aktivitätsindikator inkubiert, um die stoffwechselaktiven Mitglieder der Pilz- und Bakteriengemeinschaft zu markieren, die anschließend mittels Metabarcoding charakterisiert wurden.

Holzabbauende Pilze besiedelten das Totholz, begleitet von einer ausgeprägten bakteriellen Gemeinschaft, die zum Abbau von Cellulose, zur Spaltung von Aromaten und zur N<sub>2</sub>-Fixierung fähig war. Letztere wurden von der Gattung *Sphingomonas* dominiert, die zusammen mit den meisten holzabbauenden Pilzen auftrat, unabhängig davon, ob es sich um verrottete Buchen- oder Fichtenproben handelte. Darüber hinaus korrelierte der Reichtum der N<sub>2</sub>-fixierenden *Allorhizobium-Neorhizobium-Pararhizobium-Rhizobium*-Gruppe mit dem Massenverlust, dem N-Gehalt und der <sup>15</sup>N-Isotopensignatur. Im Gegensatz dazu veränderte das Vorhandensein des Räubers *Bdellovibrio* spp. die Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft und stand in Verbindung mit einer geringeren Zersetzungsrate von Buchentotholz.

Unsere Studie liefert den ersten Bericht über die Zusammensetzung und Funktion aktiver, holzbesiedelnder Bakterien- und Pilzgemeinschaften und betont die übergreifenden Interaktionen während der frühen und mittleren Stadien der Holzzerersetzung.



## Wald & Totholz

### Autor\*innen

Purahong W., Tanunchai B., Muszynski S., Maurer F., Wahdan S. F. M., Malter J., Buscot F., **Noll M.**

### Erschienen als

Cross-kingdom interactions and functional patterns of active microbiota matter in governing deadwood decay.

Proceedings of the Royal Society B 289: 20220130 (2022)

doi: 10.1098/rspb.2022.0130

### Fotovorlage für digitale Illustration

Noll M.

Systematische Auslage von Totholz und anschließender Analyse der aktiven Fraktion der mikrobiellen Gemeinschaft im Totholz.

*Bild in Adobe Illustrator bearbeitet.*

# Theorie & Modellierung

- [Artikel](#)
- Vorhersage der Arten- und Strukturvielfalt gemäßiger Wälder mit Satellitenfernerkundung und *Deep Learning* [S.258](#)
- Kartierung von Waldbaumarten mittels Drohnenaufnahmen und künstlicher Intelligenz [S.260](#)
- Erkennung von Grünlandschnitten: Systematische Auswertung von Aufnahmen der Erdbeobachtungssatelliten *Sentinel-1*, *Sentinel-2* und *Landsat 8* [S.262](#)
- Kartierung von Grünland-Mahdereignissen in Deutschland auf der Grundlage kombinierter *Sentinel-2*- und *Landsat 8*-Zeitreihen [S.264](#)
- Vorhersage von Pflanzenbiomasse und Artenreichtum in gemäßigem Grünland durch Fernerkundung und *Deep Learning* über verschiedene Regionen, Zeiträume und Landmanagement hinweg [S.266](#)
- Kartierung der Landnutzungsintensität von Grünland in Deutschland auf der Grundlage von Satellitendaten und KI [S.268](#)
- Modellbasierte Analyse der Auswirkungen von ober- und unterirdischer Herbivorie auf die Pflanzendiversität [S.270](#)
- Die gegenwärtige und historische Landschaftsstruktur prägt den aktuellen Artenreichtum im mitteleuropäischen Grünland [S.272](#)
- Ein experimenteller Test des Flächen-Heterogenitäts-Kompromisses [S.274](#)

Lineare gemischte Modelle und Geostatistik für geplante Experimente in der Bodenkunde – zwei völlig unterschiedliche Methoden oder zwei Seiten derselben Medaille? [S.276](#)

Sequentielle Monte-Carlo Algorithmen für die Bayes'sche Modellkalibrierung – Ein Überblick und Methodenvergleich [S.278](#)

## Vorhersage der Arten- und Strukturvielfalt gemäßiger Wälder mit Satellitenfernerkundung und *Deep Learning*

Wälder bieten uns viele Ökosystemleistungen, wie Holz und essbare Produkte, natürliche Lebensräume für verschiedene Tierarten, malerische Landschaften und natürlich die Speicherung von Kohlendioxid. Der Umfang und die Vielfalt dieser Leistungen können durch die Vielfalt der Bäume bestimmt werden, nicht nur in Bezug auf die Anzahl der Arten, sondern auch in Bezug auf die strukturelle Vielfalt. Wälder mit Bäumen verschiedener Altersklassen, Formen und Größen können mehr Tierarten beherbergen, mehr Biomasse ansammeln, sind widerstandsfähiger gegen Schädlinge und Brände und sind auch schöner zu betrachten.

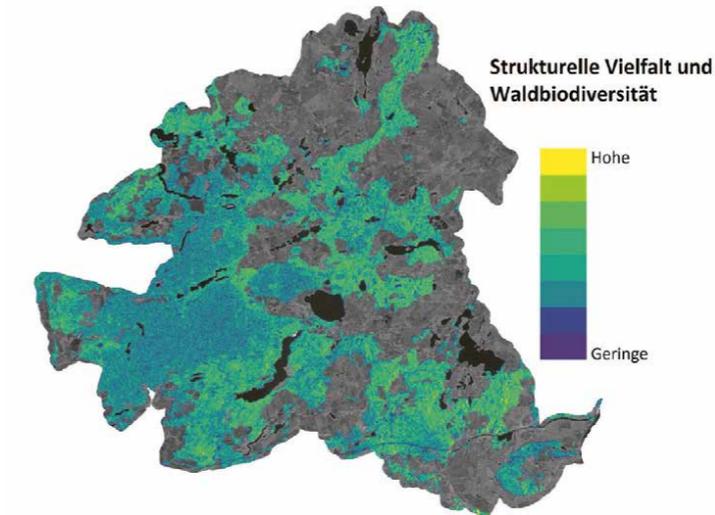
Die zur Schätzung der biologischen Vielfalt der Wälder erforderlichen Feldkampagnen sind sehr teuer und können keine großen Gebiete abdecken. Die Satellitensensoren des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) können verschiedene biophysikalische Eigenschaften unserer Wälder messen und uns helfen, ihre natürlichen Werte landesweit zu erfassen. Mit Hilfe dieser Sensoren und Inventuren von 14 verschiedenen Waldtypen haben wir die strukturelle Vielfalt aller Wälder in den drei Biodiversitäts-Exploratorien kartiert: Hainich-Dün, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin und Schwäbische Alb.

Wir erzielten gute Vorhersagen für die Variabilität des Brusthöhen-durchmessers und der Bestandsdichte, beides Parameter, die eng mit der strukturellen Vielfalt zusammenhängen. Die deutschen Wälder weisen im Vergleich zu anderen Bioregionen eine relativ geringe Artenzahl auf. Daher ist die Kartierung der strukturellen Vielfalt anstelle der Artenvielfalt ein besserer Weg, um den Erhaltungszustand und den Wert unserer Wälder zu verstehen.

Informationen über die biologische Vielfalt der Wälder im gesam-

## Theorie & Modellierung

ten Gebiet helfen Forstfachleuten und politischen Entscheidungsträgern sehr dabei, unsere Waldressourcen besser zu bewirtschaften und Prioritäten für die Erhaltung, Wiederherstellung oder Produktion zu setzen. Sie helfen auch Wissenschaftler\*innen anderer Disziplinen, komplexe ökologische Fragen zu verstehen, etwa die Reaktion unserer Ökosysteme auf größere Störungen wie Hitze-wellen, Schädlinge oder Bewirtschaftungsmethoden.



### Autor\*innen

Hoffmann J., Muro J., Dubovyk O.

### Erschienen als

Predicting Species and Structural Diversity of Temperate Forests with Satellite Remote Sensing and *Deep Learning*.

Remote Sensing 14: 1631 (2022)

doi: 10.3390/rs14071631

### Abbildung

Hoffmann J., Muro J.

Niveau der Strukturvielfalt in den Wäldern des Biosphärenreservats Schorfheide-Chorin. Gelbe und hellgrünere Farben bedeuten eine größere Vielfalt an Lebensräumen.

## Kartierung von Waldbaumarten mittels Drohnenaufnahmen und künstlicher Intelligenz

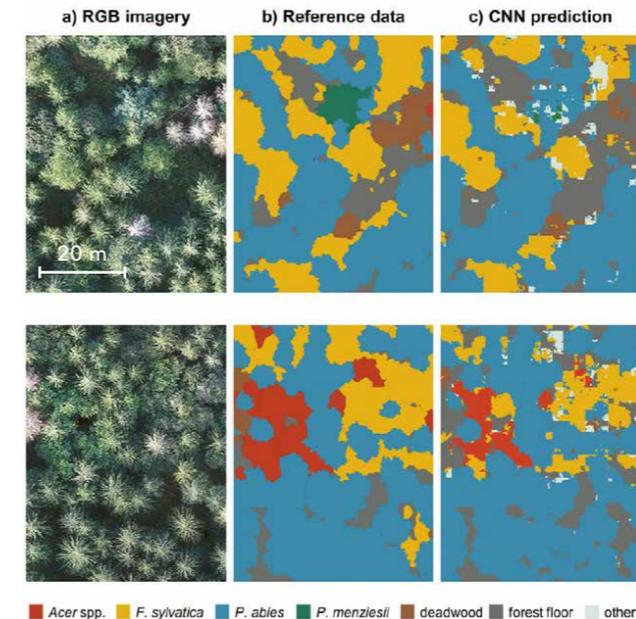
Drohnen ermöglichen eine zeitflexible und kostengünstige Aufnahme von Luftbildern in der Vegetationsfernerkundung. Solch drohnenbasierte Luftbilder erfordern keine umfangreiche Bildverarbeitung und weisen eine für Fernerkundungsdaten sehr hohe räumliche Auflösung im Zentimeterbereich auf. Häufig dienen diese Daten zur visuellen Luftbildinterpretation. Automatisierte Fernerkundungsmethoden hingegen nutzen das Potenzial der hohen räumlichen Auflösung derzeit nicht vollständig aus.

In dieser Studie untersuchten wir daher das Potenzial von Künstlicher Intelligenz – im speziellen *Convolutional Neural Networks* (CNN) – und räumlich hochauflösenden Drohnenbildern zur Kartierung von Waldbaumarten. Wir setzten Multicopter-Drohnen ein, um sehr hochauflösende (< 2 cm) RGB-Bilder über 51 ha gemäßigtem Wald im Südschwarzwald und im Nationalpark Hainich aufzunehmen. Wir verwendeten einen Ansatz, bei dem die Baumkronen in den Luftbildern gleichzeitig segmentiert und die Baumart klassifiziert wird.

In dem sehr heterogenen Datensatz (d.h. Standortbedingungen, Beleuchtungseigenschaften und jahreszeitliches Erscheinungsbild der Baumarten) konnten wir die vorkommenden neun Baumarten, drei Gattungen, stehendes Totholz und offenen Waldboden mit einer durchschnittlichen Genauigkeit von 0,73 (höchste Genauigkeit wäre = 1,0) kartieren. Die CNN-Modelle werden mit Bildausschnitten trainiert und unsere Ergebnisse zeigen, dass die Größe der Bildausschnitte keinen Einfluss auf die Modellgenauigkeit hat. Zusätzliche Werte zu Baumhöhen aus Oberflächenmodellen verbesserten die Modellgenauigkeit leicht, erhöhten jedoch auch die Rechenanforderungen aufgrund der komplexeren Modellstruktur. Mit einer Genauigkeit von nur noch 0,26 bei 32 cm Auflösung reduzierte eine gröbere räumliche Auflösung die Modellgenauigkeit erheblich.

## Theorie & Modellierung

Insgesamt betonen unsere Ergebnisse die Schlüsselrolle von Drohnen bei der Kartierung von Waldbaumarten, da die flugzeug- und satellitengestützte Fernerkundung derzeit keine vergleichbare räumliche Auflösung bietet. Die auf Bildkontext basierende Lernfähigkeit der CNN-Modelle macht eine umfangreiche Vorverarbeitung teilweise überflüssig. Die Verwendung großer und heterogener Datensätze ermöglicht einen hohen Grad der Generalisierung und somit die Übertragbarkeit der Modelle. Der kombinierte Einsatz von Drohnen und CNN-Modellen bietet eine flexible und dennoch genaue Methode zur Kartierung von Waldbaumarten.



### Autor\*innen

Schiefer F., Kattenborn T., Frick A., Frey J., Schall P., Koch B., Schmidlein S.

### Erschienen als

Mapping forest tree species in high resolution UAV-based RGB imagery by means of convolutional neural networks. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 170: 205-215 (2020)

doi: 10.5445/IR/1000125945

### Abbildung

Seifert S.

Automatisierte Kartierung von Waldbaumarten. a) hochauflösendes Luftbild einer Multicopter-Drohne, b) händisch digitalisierte Referenzdaten (einmalig notwendig für das Modelltraining), c) CNN basierte Kartierung der Waldbaumarten.

## Erkennung von Grünlandschnitten: Systematische Auswertung von Aufnahmen der Erdbeobachtungssatelliten *Sentinel-1*, *Sentinel-2* und *Landsat 8*

Die Bewirtschaftung von Grünland beeinflusst die biologische Vielfalt und Ökosystemleistungen erheblich. Die Satellitenfernerkundung hat unser Wissen über die Erdoberfläche durch den Einsatz spezieller Sensoren auf Satelliten verändert und ermöglicht es uns, verschiedene Umweltphänomene zu beobachten und zu analysieren. So kann die Überwachung der Mahdhäufigkeit im Grünland wertvolle Einblicke in diese Ökosysteme und ihre Auswirkungen auf ökologische Prozesse liefern.

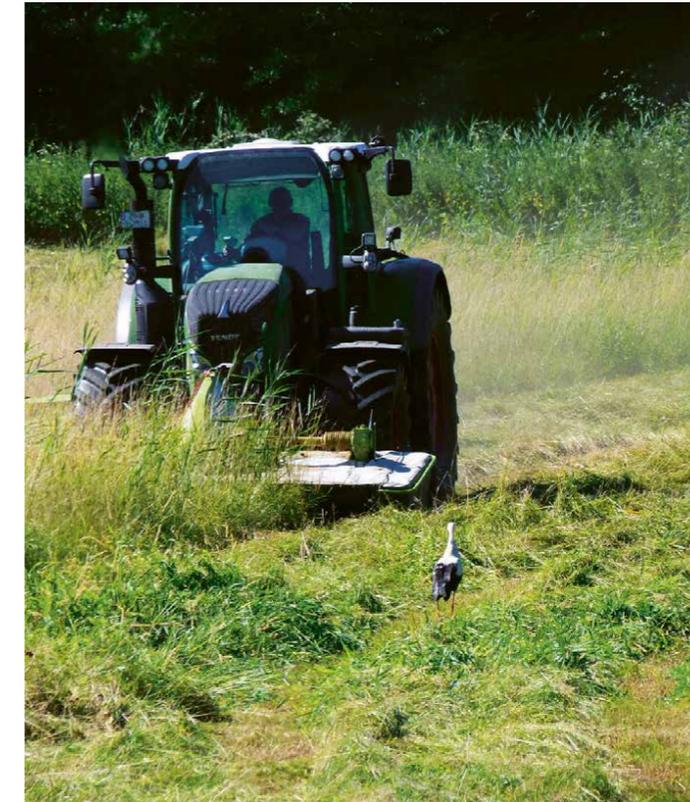
Über längere Zeiträume haben wir Aufnahmen der Satelliten *Sentinel* und *Landsat* ausgewertet. Diese Satelliten erfassen den Erdoberflächenzustand durch Bilder oder auch Radarstrahlung in Abständen von wenigen Tagen. Während Bilder bei Bewölkung keine Informationen liefern, können Radarstrahlen die Wolken durchdringen und somit bei jeder Wetterlage den Zustand einer Wiese oder Weide aufnehmen. In unserer Studie haben wir die Eignung dieser Aufnahmearten zur Erkennung der Häufigkeit und des Zeitpunktes von Grünlandschnitten getestet und verglichen. Die Daten haben wir mithilfe künstlicher Intelligenz ausgewertet.

Unsere Untersuchung hat gezeigt, dass Bildaufnahmen bei optimalen Wetterverhältnissen die besten Ergebnisse lieferten. Aufgrund der komplexen Eigenschaften von Radardaten wurden Mähereignisse in diesen Aufnahmen teilweise übersehen. Bei längerer Bewölkung lieferten Radardaten jedoch trotzdem wertvolle Informationen und erwiesen sich in solchen Zeiten als vorteilhaft. Wurden sowohl Bildaufnahmen als auch Radardaten gemeinsam ausgewertet, konnten die Unsicherheiten der jeweiligen Aufnahmearten ausgeglichen und die besten Ergebnisse erzielt werden.

Die genaue Erkennung von Mähereignissen ist für die Erhaltung der

## Theorie & Modellierung

biologischen Vielfalt im Grünland entscheidend. Ein ausgewogenes Mähen schafft Lebensräume für verschiedene Organismen und fördert widerstandsfähige Ökosysteme. Diese Studie bietet wichtige Erkenntnisse für die nachhaltige Landwirtschaft und den Erhalt der natürlichen Lebensräume.



### Autor\*innen

Lober F., Holtgrave A.-K., Schwieder M., Pause M., Vogt J., Gocht A., **Erasmí S.**

### Erschienen als

Mowing event detection in permanent grasslands: Systematic evaluation of input features from *Sentinel-1*, *Sentinel-2*, and *Landsat 8* time series.

Remote Sensing of Environment 267: 112751 (2021)

doi: 10.1016/J.RSE.2021.112751

### Foto

Runge T.

Storch auf einer Wiese, die gerade gemäht wird.

## Kartierung von Grünland-Mahdereignissen in Deutschland auf der Grundlage kombinierter *Sentinel-2*- und *Landsat 8*-Zeitreihen

Die Intensität der Grünlandnutzung hat Auswirkungen auf Ökosystemleistungen und die biologische Vielfalt. Ein wichtiger Indikator für die Nutzungsintensität ist die Häufigkeit der Mahd in Verbindung mit den Mahdzeitpunkten während einer Vegetationsperiode.

Während regionale Studien detaillierte Einblicke in die Wechselwirkungen zwischen Nutzungsintensität und Ökosystemleistungen ermöglichen, fehlen auf der anderen Seite häufig Daten, um die Erkenntnisse von Fallstudien in die Fläche zu bringen. Erdbeobachtungssatelliten können diese Lücke schließen, indem sie die komplette Landoberfläche im Abstand von wenigen Tagen erfassen.

In unserer Arbeit haben wir aus allen wolkenfreien Satellitenbildern von *Sentinel-2*- und *Landsat 8*-Daten eine dichte Zeitreihe von Daten für die Agrarlandschaft Deutschlands erstellt. Wir haben einen Algorithmus entwickelt, der aus diesen Satelliten-Zeitreihen Mahdereignisse erkennt. Die Grundlage hierfür liefern die Residuen zwischen dem beobachteten Wert und einem angenommenen idealen Verlauf der ungestörten Grünlandentwicklung. So wurden Mahdereignisse für die Jahre 2017 bis 2020 für alle Dauergrünlandflächen in Deutschland erfasst. Der mittlere absolute prozentuale Fehler zwischen den erkannten und gemeldeten Mahdereignissen lag im Durchschnitt bei 40 % (2018), 36 % (2019) und 35 % (2020). Mahdereignisse wurden im Durchschnitt 11 Tage (2018), 7 Tage (2019) und 6 Tage (2020) nach der im Feld beobachteten Mahd erkannt, wobei die Genauigkeiten zwischen den Regionen variieren und auch von der Datenverfügbarkeit (z. B. durch Wolkenbedeckung) abhängen.

Insgesamt zeigen unsere Ergebnisse eine Überschätzung der Mahdhäufigkeit bei weniger intensiv gemähtem Grünland und eine Unterschätzung bei intensiv bewirtschaftetem Grünland. Während

## Theorie & Modellierung

die räumlichen Muster über die Jahre hinweg stabil waren, zeigten die Ergebnisse eine Tendenz zu einer geringeren Bewirtschaftungsintensität im extrem trockenen Jahr 2018.

Unsere Ergebnisse liefern die Grundlage für eine jährliche flächendeckende Charakterisierung des Grünlands und für die Ableitung von Indikatoren der Lebensraumvielfalt im Rahmen von bundesweiten Monitoring- und Evaluierungsaufgaben im Kontext nationaler und europäischer politischer Rahmenbedingungen.



### Autor\*innen

Schwieder M., Wesemeyer M., Frantz D., Pfoch K., **Erasmí S.**, Pickert J., Nendel C., Hostert P.

### Erschienen als

Mapping grassland mowing events across Germany based on combined *Sentinel-2*- and *Landsat-8*- time series.

Remote Sensing of Environment 269: 112795 (2022)

doi: 10.1016/j.rse.2021.112795

### Foto

Welling M.

Heuballen im Exploratorium Schorfheide-Chorin.

## Vorhersage von Pflanzenbiomasse und Artenreichtum in gemäßigtem Grünland durch Fernerkundung und *Deep Learning* über verschiedene Regionen, Zeiträume und Landmanagement hinweg

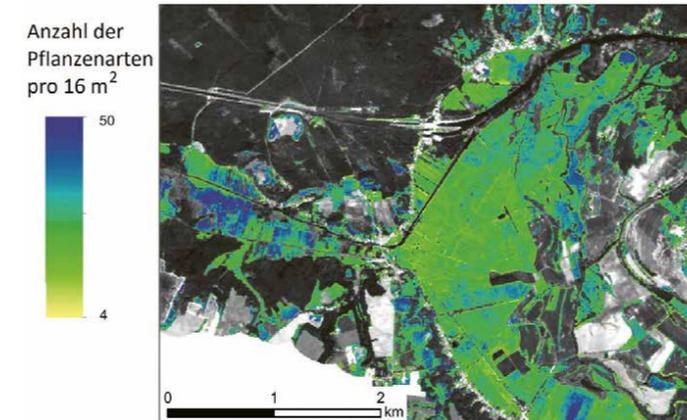
Landbewirtschaftungspraktiken im Grünland, wie Mähen, Düngen oder Beweidung, haben in Abhängigkeit von weiteren Faktoren unterschiedliche Auswirkungen auf die von der Natur bereitgestellten Ökosystemleistungen. So kann sich zum Beispiel eine Erhöhung der Landnutzungsintensität je nach Bodentyp, Topografie, Klima oder Landnutzungsgeschichte auf den Ertrag oder den Artenreichtum der Vegetation auswirken. Um die Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung auf unsere Ökosysteme wirklich zu verstehen, ist es daher unerlässlich, ihre biologische Vielfalt und Produktivität über Umweltgradienten hinweg zu messen. Dafür eignen sich Satellitenbilder besonders gut. Allerdings wurden bisher in den meisten Studien nur gleichartige Gebiete analysiert, sodass die Modelle keine guten Vorhersagen für Gebiete mit unterschiedlichen Merkmalen liefern.

In unserer Studie kombinierten wir die standortspezifischen Vegetationsdaten der Biodiversitäts-Exploratorien mit Satellitendaten des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA). Wir untersuchten, wie sich die oberirdische Biomasse und die Artenvielfalt der Pflanzen in den Grünlandgebieten dieser drei Regionen zwischen 2017 und 2021 verändert haben.

Wir konnten beweisen, dass künstliche Intelligenz, wie die neuartigen neuronalen Netzwerke, den Ertrag und die Artenvielfalt von Grünland besser vorhersagen können als herkömmliche statistische Modelle. Mit dieser Methode können Biodiversitäts-Hotspots sowie Gebiete mit hoher und niedriger Produktivität aufgedeckt werden, die bisher unbekannt waren. Außerdem haben wir herausgefunden, dass Fernerkundungsdaten in der Zeit vom Wachstumshöhepunkt der Vegetation bis zum Beginn der Verbräunung (Oktober) entscheidend sind, um präzise Vorhersagen zum Arten-

reichtum der Flächen treffen zu können. Unsere Karten und Modelle sind möglicherweise auch auf Grünlandgebiete außerhalb der untersuchten Gebiete anwendbar.

Kombinierte Karten zur Produktivität und Biodiversität können Grünlandbewirtschafteter\*innen und Forschenden helfen zu verstehen, wie die Ökosystemdienstleistungen auf unterschiedliche Bewirtschaftungsmethoden in Deutschland und im Zeitverlauf reagieren.



## Theorie & Modellierung

### Autor\*innen

**Muro J.**, Linstädter A., Magdon P., Wöllauer S., Männer F., Schwarz L.-M., Ghazaryan G., Schultz J., Malenovsky Z., Dubovky O.

### Erschienen als

Predicting plant biomass and species richness in temperate grasslands across regions, time, and land management with remote sensing and deep learning. *Remote Sensing of Environment* 282: 113262 (2022)

doi: 10.1016/j.rse.2022.113262

### Abbildung

Muro J.

Vorhergesagte Pflanzenartenvielfalt im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin.

## Kartierung der Landnutzungsintensität von Grünland in Deutschland auf der Grundlage von Satellitendaten und KI

Unser Verständnis über die Entwicklung von Artenvielfalt und Ökosystemfunktionen im Grünland hängt maßgeblich von den Informationen ab, die uns über das dortige Management zur Verfügung stehen. Mögliche Einflussgrößen sind Mahdhäufigkeit, der Einsatz von Dünger und Beweidung der Grünlandflächen.

Unsere Studie beschreibt eine Methode, die künstliche Intelligenz (KI) anwendet, um die Nutzungsintensität dieser Einflussgrößen zu ermitteln. Als Grundlage werden Daten des ESA-Satelliten *Sentinel-2* genutzt.

Um die Genauigkeit der ermittelten Werte zu evaluieren, haben wir die ermittelten Werte mit vorhandenen Bewirtschaftungsdaten aus Grünlandflächen der Schorfheide-Chorin, des Hainich-Dün und der Schwäbischen Alb ausgewertet. Im Ergebnis konnte der Vergleich unserer Methode mit den Bewirtschaftungsdaten folgende Klassifikationsgenauigkeit zeigen:

- bis zu 66 % für die Beweidungsintensität
- 68 % für die Mahdhäufigkeit
- 85 % für den Einsatz von Dünger.

Für eine korrekte Klassifikation zeigten sich Eingangsdaten wie Satellitenbeobachtungen im Frühjahr und Spektralkanäle, die den Farbstoff- und Wassergehalt der Vegetation sowie deren Struktur widerspiegeln, als entscheidend.

Zusätzlich haben wir berechnet, ob die Modelle auch auf andere Regionen in Deutschland übertragbar sind. Hierbei spielten vor allem die Anzahl und die räumliche Verteilung der zur Verfügung stehenden Managementdaten für das Training der KI-Methoden eine zentrale Rolle.



Link aus dem Text abtippen  
oder QR-Code links scannen.

## Theorie & Modellierung

Die ermittelten Daten unserer Studie können weitergehend verwendet werden, um den Einfluss der Intensität von Grünlandnutzung auf die Artenvielfalt, Kohlenstoffspeicherung, Wasserqualität und andere Ökosystemfunktionen zu untersuchen. Für die Nutzung wurde eine Web-Anwendung (<https://www.ufz.de/land-use-intensity/de>) erstellt. Dort können die erstellten Landnutzungskarten von Interessengruppen eingesehen werden.



### Autor\*innen

**Lange M.**, Feilhauer H., Kühn I., Doktor D.

### Erschienen als

Mapping land-use intensity of grasslands in Germany with machine learning and *Sentinel-2* time series.

Remote Sensing of Environment 277: 112888. (2022)

doi: 10.1016/j.rse.2022.112888

### Foto

© Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Managementvarianten im Grünland unterscheiden sich: links Weidefläche (hier Rinder), rechts Mähwiese. Die Nutzungsintensität kann variieren (z.B. Häufigkeit der Mahd, Häufigkeit der Beweidung, Art der Beweidung).

## Modellbasierte Analyse der Auswirkungen von ober- und unterirdischer Herbivorie auf die Pflanzendiversität

In unseren Grünflächen, wie Wiesen und Weiden, ist es ein gängiges Phänomen, dass Pflanzen durch zusätzliche Nährstoffe beeinflusst werden, insbesondere durch Düngung. Diese Tendenz dürfte im Anthropozän noch weiter zunehmen. Ein interessanter Aspekt dabei ist, wie Tiere, die sich von Pflanzen ernähren (Herbivore), die Vielfalt dieser Pflanzen beeinflussen. Dabei gibt es sowohl oberirdische Herbivoren (z. B. Kühe auf der Weide) als auch unterirdische (z. B. Insekten, die Wurzeln fressen).

Unsere Studie untersuchte, wie die unterirdische Herbivorie – also Insekten, die Wurzeln fressen – die Vielfalt der Pflanzen in Gebieten beeinflusst, in denen durch den Menschen zusätzliche Nährstoffe hinzugefügt werden.

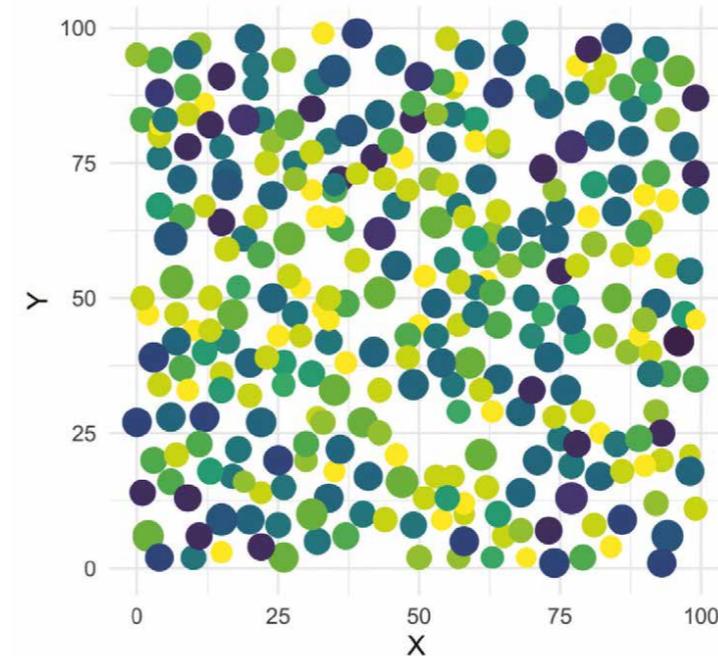
Um diese Frage zu beantworten, setzten wir ein computerbasiertes Modell ein, das eine Wiese simuliert. In diesem Modell wurden die Auswirkungen von oberirdischen und unterirdischen Herbivoren in Kombination mit der Zugabe von Nährstoffen analysiert.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Zugabe von Nährstoffen dazu beiträgt, dass die am schnellsten wachsenden und konkurrenzstärksten Pflanzen die langsameren überwachsen. Oberirdische Pflanzenfresser neigen dazu, diese größeren Pflanzen zu fressen und erhöhen somit den Lichteinfall für die schwächeren und kleineren Pflanzen, was wiederum die Artenvielfalt erhöht. Dies ist bei unterirdischen Pflanzenfressern jedoch nicht der Fall. Da ihre Fraßaktivitäten in der Regel alle Individuen gleichermaßen betreffen, können die stärksten Arten die Fraßaktivitäten leichter bewältigen und dominieren weiterhin, was die Vielfalt letztendlich verringert.

Diese Erkenntnisse sind von großer Bedeutung für Land- und Forst-

## Theorie & Modellierung

wirtschaft sowie für den Naturschutz. Sie helfen zu verstehen, wie die Interaktion zwischen verschiedenen Herbivorenarten und menschlicher Nährstoffzufuhr die Vielfalt der Pflanzen beeinflusst. Dieses Wissen ist besonders relevant, da die Anreicherung von Nährstoffen in unseren Ökosystemen durch menschliche Aktivitäten wie Landwirtschaft und Düngung weiter zunimmt.



### Autor\*innen

**Crawford M.**, Schlägel U. E., May F., Sonnemann I., Grimm V., Wurst S., Jeltsch F.

### Erschienen als

While shoot herbivores reduce, root herbivores increase nutrient enrichment's impact on diversity in a grassland model.  
Ecology 102: e03333 (2021)

doi: 10.1002/ecy.3333

### Abbildung

Crawford M.

Der räumlich explizite Wettbewerb zwischen Individuen im Modell tritt auf, wenn sich einzelne Pflanzen überschneiden und um Licht sowie Bodenressourcen konkurrieren. Jeder Punkt repräsentiert ein Individuum, und jede Farbe stellt eine andere Art dar.

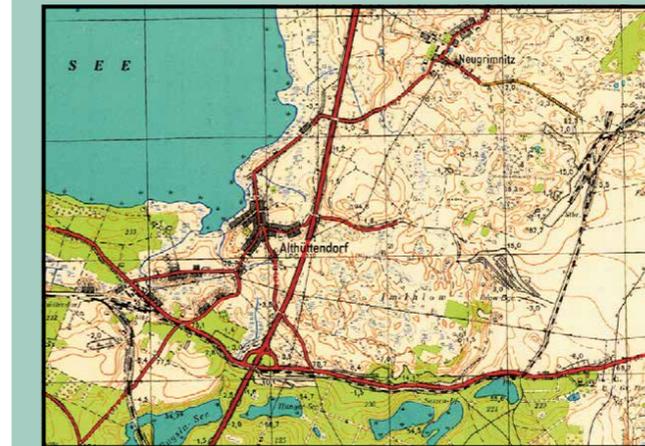
## Die gegenwärtige und historische Landschaftsstruktur prägt den aktuellen Artenreichtum im mitteleuropäischen Grünland

Die derzeitige Artenzusammensetzung ökologischer Gemeinschaften lässt sich oft nicht allein durch die gegenwärtige Landnutzung und Landschaftsstruktur erklären. Das heutige Vorkommen von Arten kann auch durch die historische Landnutzung beeinflusst worden sein, aber es gibt nur wenige Untersuchungen, die sowohl die Rolle der heutigen als auch der historischen Landnutzung untersuchen.

Für die drei Gebiete der Biodiversitäts-Exploratorien, Schorfheide-Chorin, Hainich-Dün und Schwäbische Alb, analysierten wir Karten der aktuellen und historischen Landnutzung aus drei Zeiträumen zwischen 1820 und 2016 (1820/50, 1910/30, 1960). Anschließend untersuchten wir statistisch den Einfluss der aktuellen und historischen Landschaftsstruktur auf den Artenreichtum von Pflanzen und Arthropoden (Gliederfüßern) im Grünland. Es zeigte sich, dass statistische Modelle, die eine Kombination aus aktuellen und historischen Landschaftsmetriken enthalten, die beste Anpassung für mehrere funktionelle Gruppen unter den Pflanzen und Insekten erklären. Mit anderen Worten, aktuelle Landschaftsstrukturen allein erklären nicht die beobachteten Daten der unterschiedlichen funktionellen Gruppen. Die Einbeziehung historischer Gegebenheiten ermöglicht eine vollständigere Auswertung. Beim Vergleich der historischen Zeiträume erwiesen sich Daten aus den Jahren 1820/50 als am häufigsten relevant für die Erklärung der untersuchten Arten.

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die historische Landschaftsstruktur eine wichtige Einflussgröße für den aktuellen Artenreichtum in verschiedenen Artengruppen und funktionellen Gruppen darstellt. Daher sollte die historische Landnutzung bei der Auswahl von Schutzgebieten für den Erhalt von Arten berücksichtigt werden. Zudem können historische Daten dazu beitragen,

biodiversitätsfreundliche Landnutzungspraktiken zu entwickeln, die zu einer zukünftigen Landschaftsstruktur führen, die die Biodiversität fördert.



## Theorie & Modellierung

### Autor\*innen

**Scherreiks P.**, Gossner M. M., Ambarli D., Ayasse M., Blüthgen N., Fischer M., Klaus V. H., Kleinebecker T., Neff F., Prati D., Seibold S., Simons N. K., **Weisser W. W.**, Wells K., Westphal C., Thiele J.

### Erschienen als

Present and historical landscape structure shapes current species richness in Central European grasslands.  
Landscape Ecology 37: 745-762 (2022)

doi: 10.1007/s10980-021-01392-7

### Abbildung

Topographische Karte 1:25.000, Blatt N-33-112-B-a, von 1960/61, Kartensammlung KART 1002 des Bundesarchivs  
Historischer Kartenausschnitt aus dem 20. Jahrhundert eines Teils des Biosphärenreservats Schorfheide-Chorin.

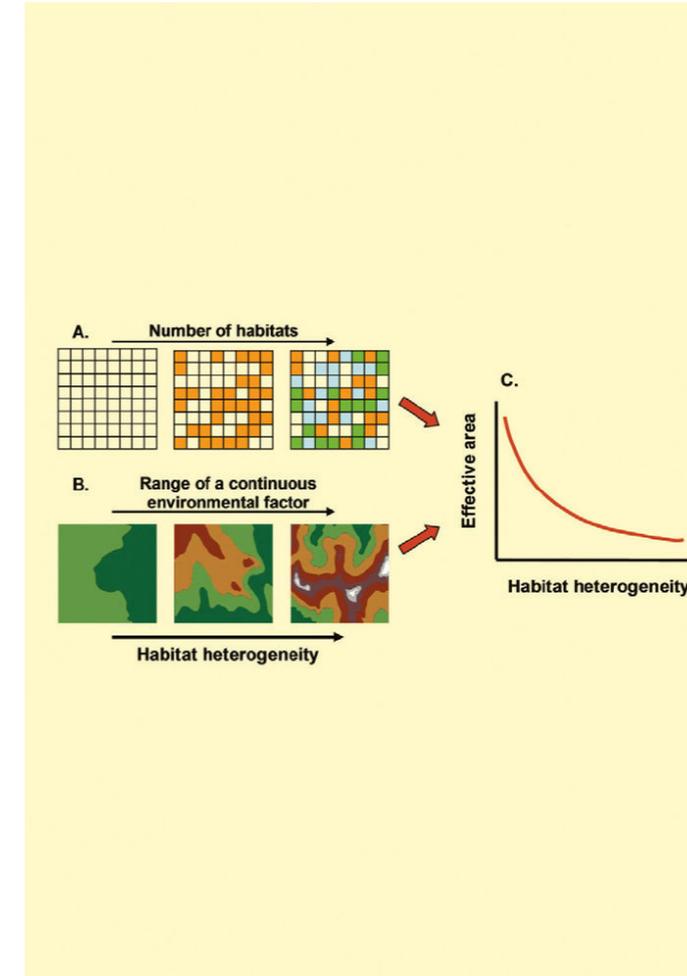
## Ein experimenteller Test des Flächen-Heterogenitäts-Kompromisses

Eine grundlegende Eigenschaft von Ökosystemen ist der Kompromiss zwischen der Anzahl und der Größe der Lebensräume: Wenn die Anzahl der Lebensräume innerhalb eines festen Gebiets zunimmt, werden sie im Durchschnitt flächenmäßig kleiner. Dies nennt man den „Flächen-Heterogenitäts-Kompromiss“ (engl. *area-heterogeneity tradeoff*). Theoretische Modelle deuten darauf hin, dass die Verringerung der Größe eines Lebensraums bei hoher Heterogenität zu einem Rückgang des Artenreichtums führen kann, weil die verfügbare Fläche für einzelne Arten verringert wird, wodurch die Wahrscheinlichkeit des stochastischen Aussterbens steigt.

In diesem Experiment haben wir genau das überprüft, indem wir die Auswirkungen der Flächenheterogenität vom Gesamteffekt der Lebensraumheterogenität trennten. Überraschenderweise hat die Verringerung der verfügbaren Fläche pro Art – trotz eines beträchtlichen Aussterbens – den Artenreichtum in den untersuchten Lebensgemeinschaften eher gefördert als verringert. Unsere Daten deuten darauf hin, dass dieser positive Effekt darauf zurückzuführen ist, dass es weniger wahrscheinlich war, dass Arten sich gegenseitig durch Konkurrenz verdrängten.

Wir kommen zu dem Schluss, dass der *area-heterogeneity tradeoff* sowohl negative als auch positive Auswirkungen auf die Biodiversität haben kann. Sein Gesamteffekt hängt von zufälligen oder festgelegten Aussterbefaktoren in dem betreffenden System ab. Unsere Erkenntnis, dass der *area-heterogeneity tradeoff* auch zur Biodiversität beitragen kann, erweitert die bestehende ökologische Theorie um eine Dimension und ist von großer Bedeutung, Reaktionen der Biodiversität auf natürliche und anthropogene Umweltveränderungen besser verstehen und vorhersagen zu können.

## Theorie & Modellierung



Autor\*innen

Ben-Hur E., Kadmon R., (Abstract bearbeitet von **Grießmeier V.**)

Erschienen als

An experimental test of the *area-heterogeneity tradeoff*.

PNAS 117: 4815-4822 (2020)

doi: 10.1073/pnas.1911540117

Abbildung

Kadmon R.

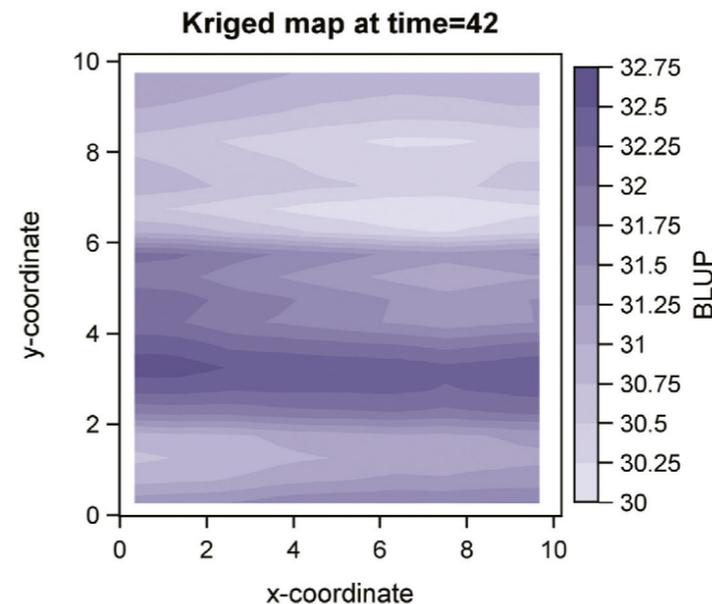
Schematische Darstellung des *area-heterogeneity tradeoffs*: (A) jede Farbe steht für einen anderen Lebensraumtyp. (B) jede Farbe steht für ein festes Intervall einer kontinuierlichen Umweltvariable. In beiden Fällen reduziert eine zunehmende Habitat-Heterogenität die Menge der effektiven Fläche, die für einzelne Arten in der Gemeinschaft verfügbar ist (C).

## Lineare gemischte Modelle und Geostatistik für geplante Experimente in der Bodenkunde – zwei völlig unterschiedliche Methoden oder zwei Seiten derselben Medaille?

Bodenwissenschaftler\*innen sind mit der Verwendung von räumlichen Statistikmethoden (Geostatistik) zur Auswertung von Beobachtungsdaten vertraut. Diese Methoden berücksichtigen die räumlichen Zusammenhänge zwischen den Datenpunkten und untersuchen diese. Die räumlichen Zusammenhänge können außerdem zur Erzeugung von Karten mittels räumlicher Interpolation (Kriging) genutzt werden (siehe Abbildung). Im Gegensatz dazu geht die Varianzanalyse (ANOVA) davon aus, dass die Beobachtungen verschiedener experimenteller Einheiten unabhängig voneinander sind. Diese Annahme ist in einem randomisierten Versuch entsprechend einer klassischen Versuchsanlage, wie einer vollständig randomisierten Anlage oder einer randomisierten vollständigen Blockanlage, gerechtfertigt. Obwohl ein randomisierter Versuch die Annahme der Unabhängigkeit der Fehler im linearen Modell rechtfertigt, kann es jedoch von Vorteil sein, eine ANOVA mit Methoden der Geostatistik zu kombinieren, die eine Korrelation der Fehler zulassen. Der potentielle Vorteil einer solchen verfeinerten Auswertung besteht vor allem in einer verbesserten Genauigkeit, beispielsweise beim Vergleich von Behandlungsmittelwerten.

In dieser Studie veranschaulichen wir anhand zweier geplanter Experimente – darunter das SCALEMIC-Experiment, das die räumlichen und zeitlichen Veränderungen von Bodenmikroorganismen in einer Wiese untersucht – die Vorteile eines solchen kombinierten Ansatzes. In der Publikation stellen wir Programmiercodes in R und SAS für beide Beispiele in zwei angehängten Begleitdokumenten zur Verfügung, damit die Leser\*innen die Auswertungen direkt nachahmen und diese erlernen können.

## Theorie & Modellierung



Autor\*innen

Slaets J., Boeddinghaus R. S., Piepho H.-P.

Erschienen als

Linear mixed models and geostatistics for designed experiments in soil science: Two entirely different methods or two sides of the same coin?

European Journal of Soil Science 72: 47–68 (2021)

doi: 10.1111/ejss.12976

Abbildung

Slaets J., Boeddinghaus R., Piepho H.P.

Interpolierte Karte für das Merkmal *Total AMF OTU richness* des Feldversuchs in einer Wiese. BLUP (*best linear unbiased prediction*) ist der geschätzte (interpolierte) Wert des Merkmals. Die beiden Achsen repräsentieren die räumlichen Koordinaten der Fläche.

## Sequentielle Monte-Carlo Algorithmen für die Bayes'sche Modellkalibrierung – Ein Überblick und Methodenvergleich

Die Bayes'sche Inferenz ist eine wichtige Methode für die Kalibrierung komplexer ökologischer und Umweltmodelle. Für eine Bayes'sche Modellkalibrierung werden vorzugsweise Markov-Chain-Monte-Carlo-Algorithmen (MCMC) benutzt. Diese sind allerdings nicht parallelisierbar und können daher moderne *multi-core* Computerarchitekturen nicht optimal nutzen.

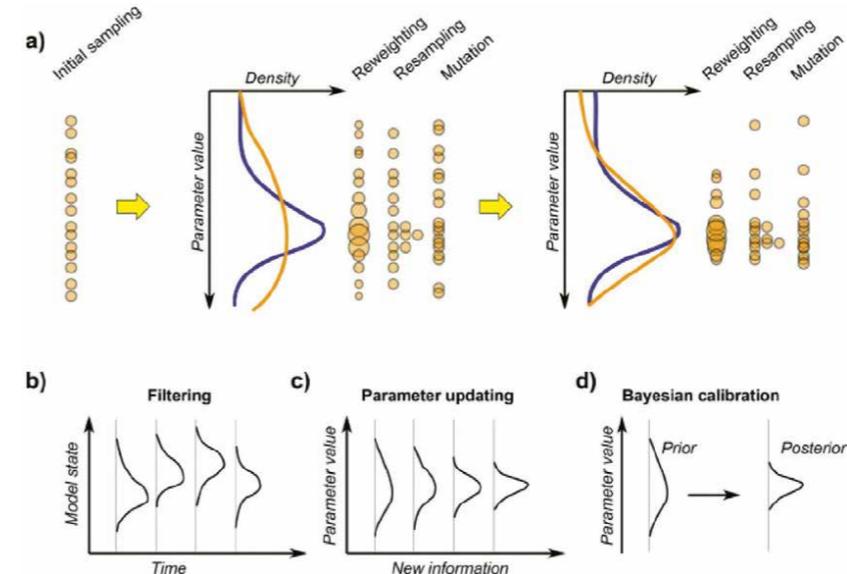
Eine mögliche Lösung dieses Problems ist die Verwendung von sequenziellen Monte-Carlo-Algorithmen (SMC). SMCs werden derzeit hauptsächlich für Bayes'sche Updates von Modellzuständen verwendet, so z. B. bei dem Update von Wettersimulationen. Sie gelten als weniger effizient für die Kalibrierung von Modellparametern als MCMCs, sind aber leicht parallelisierbar.

In diesem Artikel geben wir eine Einführung in SMC-Algorithmen für die Bayes'sche Modellkalibrierung und untersuchen den Kompromiss zwischen Effizienz und Parallelisierbarkeit für MCMC- und SMC-Algorithmen. Wir diskutieren verschiedene SMC-Varianten und vergleichen sie mit einem modernen MCMC-Algorithmus am Beispiel der Kalibration von drei ökologischen Modellen mit zunehmender Komplexität.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass gut eingestellte SMCs bei einer ausreichend hohen Anzahl paralleler Kerne eine schnellere Modellkalibration erreichen können als moderne MCMC-Algorithmen. Effiziente SMC-Einstellungen zeichneten sich durch eine ausgewogene Mischung aus SMC-Filterung und MCMC-Mutationsschritten aus, was darauf hindeutet, dass eine Mischung aus MCMC- und SMC-Prinzipien der ideale Weg hin zu effizienten und parallelisierbaren Kalibrierungsalgorithmen sein könnte. Die in dieser Studie verwendeten Algorithmen wurden in das BayesianTools

R-Paket integriert und sind so frei verfügbar und benutzbar.

## Theorie & Modellierung



Autor\*innen

Speich M., Dormann C. F., **Hartig F.**

Erschienen als

Sequential Monte-Carlo algorithms for Bayesian model calibration – A review and method comparison.

Ecological Modelling 455: 109608 (2021)

doi: 10.1016/j.ecolmodel.2021.109608

Abbildung

Speich M.

Visualisierung eines SMC-Algorithmus.

# Synthese

## Artikel

Freilandexperimente informieren verlässlich über den Einfluss der Biodiversität auf Ökosysteme [S.282](#)

Die Intensität der Landnutzung verändert die Netzwerkbeziehungen zwischen biologischer Vielfalt, Ökosystemfunktionen und -leistungen [S.284](#)

Landnutzung hat unterschiedlichen Einfluss auf ober- und unterirdische Biodiversität [S.286](#)

Bewertung der Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung auf die Multifunktionalität der Landschaft [S.288](#)

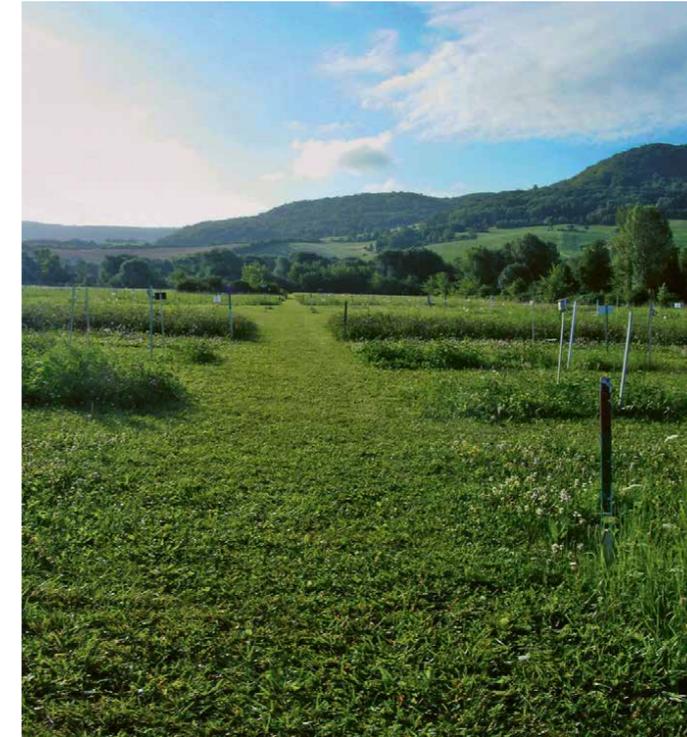
## Freilandexperimente informieren verlässlich über den Einfluss der Biodiversität auf Ökosysteme

Wir wissen schon lange, dass der Verlust der biologischen Vielfalt die Funktion von Ökosystemen beeinträchtigen kann. Dieses Wissen entnehmen wir in erster Linie aus Freilandexperimenten, sogenannten Biodiversitätsexperimenten, wie zum Beispiel dem Jena Experiment (siehe Foto). In solchen Experimenten wird der Verlust der biologischen Vielfalt durch die zufällige Zusammenstellung von Gemeinschaften unterschiedlicher Artenzahl simuliert und dann verschiedene Ökosystemfunktionen gemessen. Da solche Experimente jedoch zwangsläufig relativ künstlich wirken, stellt sich die Frage, wie realistisch ihre Ergebnisse sind.

Um diese Frage zu beantworten, haben wir Daten aus realen Grünland-Pflanzengemeinschaften (u. a. den Grünlandflächen der Biodiversitäts-Exploratorien) zusammen mit Daten aus zwei der bekanntesten Biodiversitätsexperimenten (Jena Experiment und BioDIV aus den USA) neu analysiert. Wir konnten zeigen, dass die Pflanzengemeinschaften der Biodiversitätsexperimente fast die gesamte Bandbreite der realen Gemeinschaften abdecken, aber auch Gemeinschaftstypen enthalten, die in der realen Welt derzeit nicht beobachtet werden. Anschließend analysierten wir einen Teil der experimentellen Daten, der nur realistische Pflanzengemeinschaften enthielt (also solche, die mit realen Gemeinschaften vergleichbar sind). Für den Großteil der untersuchten Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Ökosystemfunktionen gab es keinen Unterschied zwischen den vollständigen Datensätzen und solchen mit nur realistischen Gemeinschaften.

Unsere Arbeit zeigt, dass die Ergebnisse von Biodiversitätsexperimenten weitgehend unempfindlich gegenüber dem Ausschluss unrealistischer Gemeinschaften sind und dass die aus Biodiversitätsexperimenten gezogenen Schlussfolgerungen im Allgemeinen robust

sind. Wir können uns also auf die Ergebnisse von Biodiversitätsexperimenten weitgehend verlassen, obwohl nicht alle experimentellen Pflanzengemeinschaften realistisch sind. Eine pauschale 1:1 Übertragung experimenteller Ergebnisse auf Zusammenhänge in landwirtschaftlichen Systemen ist dennoch mit Vorsicht zu genießen. Dafür sind ökologische Systeme und die auf sie wirkenden Kräfte schlicht zu komplex.



## Synthese

### Autor\*innen

**Jochum M.**, Fischer M., Isbell F., Roscher C., van der Plas F., Boch S., Boenisch G., Buchmann N., Catford J. A., Cavender-Bares J., Ebeling A., Eisenhauer N., Gleixner G., Hölzel N., Kattge J., Klaus V. H., Kleinebecker T., Lange M., Le Provost G., Meyer S. T., Molina-Venegas R., Mommer L., Oelmann Y., Penone C., Prati D., Reich P. B., Rindisbacher A., Schäfer D., Scheu S., Schmid B., Tilman D., Tschirntke T., Vogel A., Wagg C., Weigelt A., Weisser W. W., Wilcke W., Manning P.

### Erschienen als

The results of biodiversity-ecosystem functioning experiments are realistic.  
Nature Ecology & Evolution 4: 1485-1494 (2020)

doi: 10.1038/s41559-020-1280-9

### Foto

Jochum M.

Das Jena Experiment, eines der bekanntesten Freilandexperimente, das untersucht, wie sich Biodiversität auf die Funktion von Ökosystemen auswirkt.

## Die Intensität der Landnutzung verändert die Netzwerkbeziehungen zwischen biologischer Vielfalt, Ökosystemfunktionen und -leistungen

Die Intensivierung der Landnutzung kann die Bereitstellung von Ökosystemleistungen wie Nahrungsmittel- und Holzproduktion erhöhen, führt aber auch zu Veränderungen der Ökosystemfunktionen und zum Verlust biologischer Vielfalt, was letztlich das menschliche Wohlergehen beeinträchtigen kann.

Um zu verstehen, wie sich Veränderungen der Landnutzungsintensität auf die Beziehungen zwischen biologischer Vielfalt, Ökosystemfunktionen und -leistungen auswirken, haben wir Netzwerke erstellt, die die Beziehungen zwischen dem Artenreichtum von 16 trophischen Gruppen, zehn Ökosystemfunktionen und 15 Ökosystemleistungen abbilden. Wir untersuchten, wie sich die Eigenschaften dieser Netzwerke je nach Landnutzungsintensität für 150 Wälder und 150 Grünlandflächen veränderten.

Die Intensität der Landnutzung beeinflusste die Netzwerkstruktur in beiden Lebensräumen erheblich. Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine zunehmende Landnutzungsintensität in beiden Lebensräumen zu ähnlicheren Netzwerken mit einem geringeren Vernetzungsgrad führt. Im Grünland ist dies durch Bodenorganismen bedingt.

Unser Ansatz bietet einen umfassenden Überblick über die Beziehungen zwischen den verschiedenen Komponenten der biologischen Vielfalt, den Ökosystemfunktionen und den Ökosystemleistungen sowie darüber, wie sie auf die Landnutzung reagieren. Dies kann genutzt werden, um allgemeine Veränderungen im Ökosystem zu identifizieren, mechanistische Hypothesen abzuleiten und auf weitere Treiber des globalen Wandels anzuwenden.

## Synthese

### Autor\*innen

Felipe-Lucia, M., Soliveres S., Penone C., **Fischer M.**, Ammer C., Boch S., Boeddinghaus R., Bonkowski M., Buscot F., Fiore-Donno A. M., Frank K., Goldmann K., Gossner M. M., Hölzel N., Jochum M., Kandeler E., Klaus V. H., Kleinebecker T., Leimer S., Manning P., Oelmann Y., Saiz H., Schall P., Schloter M., Schöning I., Schrumpf M., Solly E. F., Stempfhuber B., Weisser W. W., Wilcke W., Wubet T., Allan E.

### Erschienen als

Land-use intensity alters networks between biodiversity, ecosystem functions, and services.

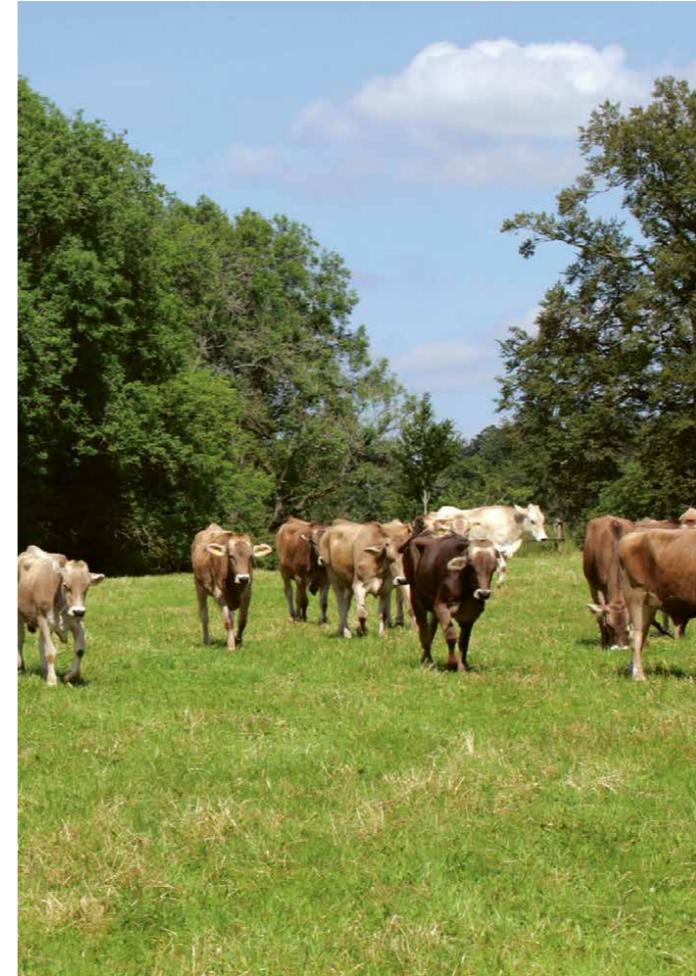
PNAS 117: 28140–28149 (2020)

doi: 10.1073/pnas.2016210117

### Foto

Mai I.

Kühe neben einem Plot auf dem Grünland im Exploratorium Schwäbische Alb.



## Landnutzung hat unterschiedlichen Einfluss auf ober- und unterirdische Biodiversität

Die biologische Vielfalt auf Wiesen und Weiden ist in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen. Maßnahmen, die diesen Verlust aufhalten sollen, konzentrieren sich bislang meist auf oberirdisch lebende Arten, wie beispielsweise Vögel und Bienen. Doch auch im Boden von Wiesen und Weiden wimmelt es vor Leben.

Wir haben Daten zur ober- und unterirdischen Artenvielfalt damit verknüpft, wie intensiv die Flächen landwirtschaftlich genutzt werden, also wie viel Düngemittel ausgebracht oder wie oft gemäht wird. Wir haben uns auch angeschaut, wie die Landschaft im Umkreis von zwei Kilometern um die Grundstücke aussieht. Wir haben beispielsweise untersucht, wie lange es in dieser Umgebung schon Wälder und natürliche Grünlandschaften gibt.

Die Artenvielfalt der meisten Bodenlebewesen auf den Wiesen- und Weideflächen hängt stark von der Beschaffenheit der weiteren Umgebung ab. Konkret haben wir herausgefunden, dass die Artenvielfalt im Boden der Parzellen umso höher ist, je mehr Waldflächen es in der Landschaft gibt. Die Wälder bieten einen stabilen Lebensraum für Bodenorganismen und scheinen daher ein Zufluchtsort zu sein, von dem aus die Tiere und Pilze den Boden von Wiesen und Weiden wieder besiedeln können. Wie intensiv die Parzellen genutzt werden, hat nur geringen Einfluss auf deren Artenreichtum im Boden. Im Gegensatz dazu haben wir festgestellt, dass der Artenreichtum von Pflanzen, Vögeln, Insekten, Weichtieren und anderen Organismen, die auf den Wiesen und Weiden leben, durch eine intensive Landnutzung negativ beeinflusst wird.

Aktuelle Maßnahmen zum Schutz der biologischen Vielfalt im Agrarland, wie ein geringerer Einsatz von Düngemitteln und das Anpflanzen von Blühstreifen, kommen vor allem der oberirdischen

### Autor\*innen

**Le Provost G.**, Thiele J., Westphal C., Penone C., Allan E., Neyret M., van der Plas F., Ayasse M., Bardgett R., Birkhofer K., Boch S., Bonkowski M., Buscot F., Feldhaar H., Gaulton R., Goldmann K., Gossner M. M., Klaus V., Kleinebecker T., Krauss J., Renner S., Scherreiks P., Sikorski J., Baulechner D., Blüthgen N., Bolliger R., Börschig C., Busch V., Chisté M., Fiore-Donno A. M., Fischer M., Arndt H., Hoelzel N., Jung K., Lange M., Marzini C., Overmann J., Pašalić E., Perović D., Prati D., Schäfer D., Schöning I., Schruppf M., Sonnemann I., Steffan-Dewenter I., Tschapka M., Türke M., Vogt J., Wehner K., Weiner C., Weisser W. W., Wells K., Werner M., Wolters V., Wubet T., Wurst S., Zaitsev A. S., Manning P.

## Synthese

Artenvielfalt zugute. Für die Artenvielfalt im Boden von Wiesen und Weiden dürften diese Maßnahmen jedoch kaum von Nutzen sein. Die gegenwärtigen biodiversitätsfördernden Bewirtschaftungsstrategien für Agrarlandschaften sollten daher, insbesondere für die Artenvielfalt im Boden, überarbeitet werden.



### Erschienen als

Contrasting responses of above- and below-ground diversity to multiple components of land-use intensity.

Nature Communications 12: 3918 (2021)

doi: 10.1038/s41467-021-23931-1

### Foto

Manning P.

Ein Bovist, ein Pilz mit kugelförmigem Fruchtkörper.

## Bewertung der Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung auf die Multifunktionalität der Landschaft

Die Intensivierung der Landnutzung hat gegensätzliche Auswirkungen auf verschiedene Ökosystemleistungen, was häufig zu Landnutzungskonflikten führt. Während Strategien auf Landschaftsebene den Zielkonflikt zwischen landwirtschaftlicher Produktion und dem Erhalt der biologischen Vielfalt minimieren können, ist nur wenig darüber bekannt, welche Landnutzungsstrategien das gleichzeitige Angebot an mehreren Ökosystemleistungen auf Landschaftsebene maximieren (Multifunktionalität der Landschaft). Wir kombinieren umfassende Daten von 150 deutschen Grünlandstandorten mit einem Simulationsansatz.

Unser Ziel ist es, Landschaftskompositionen zu identifizieren, die unterschiedliche Anteile von Grünland geringer, mittlerer und hoher Nutzungsintensität aufweisen. Dabei möchten wir die Zielkonflikte zwischen den sechs wichtigsten Ökosystemleistungen von Grünland minimieren, die von lokalen Interessengruppen als vorrangig angesehen werden: Erhaltung der biologischen Vielfalt, ästhetischer Wert, Produktivität, Kohlenstoffspeicherung, Futterproduktion und regionale Identität. Die Ergebnisse werden über ein Online-Tool zugänglich gemacht, das Informationen darüber liefert, welche Zusammensetzungen einer beliebigen Kombination von benutzerdefinierten Prioritäten am besten gerecht werden ([https://neyret.shinyapps.io/landscape\\_composition\\_for\\_multifunctionality](https://neyret.shinyapps.io/landscape_composition_for_multifunctionality)). Die Ergebnisse zeigen, dass für jedes Muster von Ökosystemleistungsprioritäten eine optimale Landschaftszusammensetzung ermittelt werden kann. Die Multifunktionalität war bei allen Landschaftskompositionen recht ähnlich. In Fällen jedoch, in denen es starke Zielkonflikte zwischen den Leistungen gibt (z. B. ästhetischer Wert versus Futterproduktion), in denen viele Leistungen priorisiert wurden und in denen andere Faktoren als die Landnutzung eine wichtige Rolle spielten, war die Multifunktionalität gering.



Link aus dem Text abtippen  
oder QR-Code links scannen.

## Synthese

### Autor\*innen

**Neyret M.**, Fischer M., Allan E., Hölzel N., Klaus V. H., Kleinebecker T., Krauss J., Le Provost G., Peter S., Schenk N., Simons N. K., van der Plas F., Binkenstein J., Börshig C., Jung K., Prati D., Schäfer M., Schäfer D., Schöning I., Schrupf M., Tschapka M., Westphal C., Manning P.

### Erschienen als

Assessing the impact of grassland management on landscape multifunctionality. *Ecosystem Services* 52: 101366 (2021)

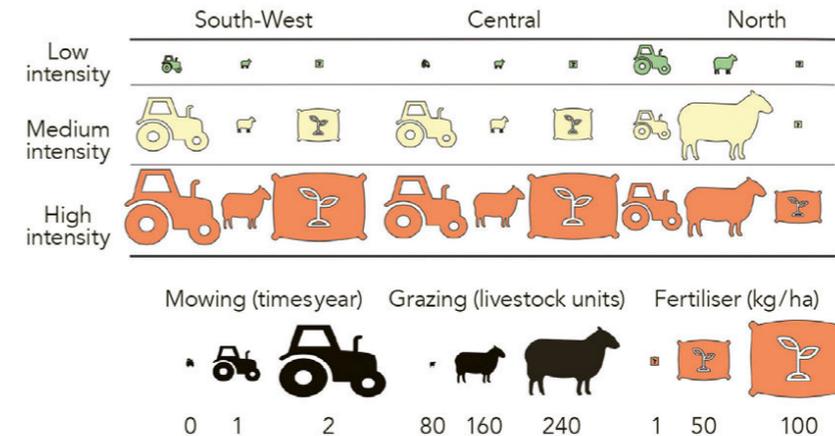
doi: 10.1016/j.ecoser.2021.101366

### Abbildung

Neyret M.

Jeder Plot in den Biodiversitäts-Exploratorien wird in drei Intensitätsklassen eingeteilt, abhängig von der jährlichen Düngemenge, der Anzahl der Mähvorgänge und der Beweidungsintensität des Grünlands. Die Abbildung zeigt den Durchschnittswert dieser drei Parameter für die Grünlandflächen mit niedriger, mittlerer und hoher Intensität in den drei Regionen.

Wir haben auch festgestellt, dass Strategien, die sowohl Grünland mit hoher als auch mit niedriger Nutzungsintensität umfassen, die Multifunktionalität der Landschaft sicherstellen können, wenn ein moderates Niveau an Ökosystemleistungen als akzeptabel betrachtet wird. Das vorgestellte Instrument kann eine fundierte Entscheidungsfindung unterstützen und es ermöglicht Wissenschaftler\*innen und Praktiker\*innen, die relative Rolle der verschiedenen Prioritäten von Interessengruppen und naturwissenschaftlich gebener Zielkonflikte zu verstehen.



# Biodiversität & Gesellschaft

## Artikel

Die Integration zentraler Erkenntnisse der soziologischen Risikotheorie in das Konzept der Ökosystemleistungen [S.292](#)

Was bestimmt die individuelle Nachfrage nach Ökosystemleistungen? Erkenntnisse aus einer sozialwissenschaftlichen Studie über drei deutsche Regionen [S.294](#)

Steuerung von anthropogenen Ökosystemleistungen durch *Governance*-Prozesse auf unterschiedlichen Ebenen [S.296](#)

Kulturelle Weltanschauungen erklären durchweg die Priorisierung bestimmter Bündel von Ökosystemleistungen im deutschen ländlichen Raum [S.298](#)

**S.290 – 299**

## Die Integration zentraler Erkenntnisse der soziologischen Risikotheorie in das Konzept der Ökosystemleistungen

In einer Zeit, die von multiplen Krisen und damit verbundenen Risiken geprägt ist, ist es notwendig, ein Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen Gesellschaft und Natur zu entwickeln. Das Konzept der Ökosystemleistungen (ÖSL) beschreibt die Natur im Hinblick auf die Funktionen, die sie für den Menschen erfüllt. Diese Perspektive ermöglicht daher eine Analyse der Wechselbeziehungen zwischen der Ressourcenbereitstellung durch die Natur und der Nachfrage durch den Menschen.

In diesem Zusammenhang untersuche ich, wie die Einbeziehung zentraler soziologischer Risikotheorien dieses Verständnis im Kontext des Biodiversitätsverlustes als Risiko fördern kann. Die Systemtheorie analysiert Risiken im Kontext gesellschaftlicher Strukturen, die ‚Weltrisikogesellschaft‘ betrachtet globale Risiken, und die kulturelle Risikotheorie untersucht den Einfluss von Werten und Normen auf die Wahrnehmung von Risiken.

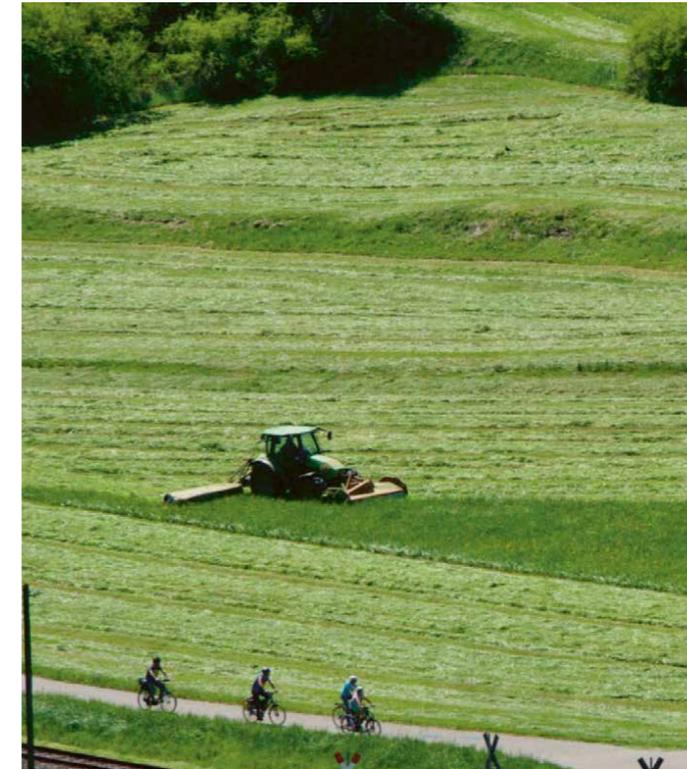
Dadurch konnten die folgenden Erkenntnisse gewonnen werden:

(1) Die Analyse gesellschaftlicher Strukturen und der Wahrnehmung von Risiken trägt dazu bei, die typischen Bedürfnisse einer Gesellschaft für die Ökosystemleistungen besser zu verstehen.

(2) In der soziologischen Forschung zu ÖSL müssen wissenschaftliche Disziplinen interdisziplinär zusammenarbeiten und einen engen gesellschaftlichen, transdisziplinären Austausch schaffen, um die ursächlichen Faktoren für die ÖSL-Nachfrage und die Risikowahrnehmung zu verstehen. Dieses Verständnis muss mit naturwissenschaftlichem Wissen über Faktoren, die das ÖSL-Angebot beeinflussen, verknüpft werden, um neue, einflussreiche Instrumente der Umweltpolitik zu identifizieren.

## Biodiversität & Gesellschaft

(3) Das auf die menschliche Nachfrage fokussierte ÖSL-Konzept erlaubt es, (ergänzt um das Konzept des Risikos) darüber nachzudenken, wie die Gesellschaft eine aktive Rolle in einem sozial-ökologischen System spielen kann, anstatt passiv den Launen der Natur ausgeliefert zu sein. Dieser Perspektivenwechsel kann sich als wichtiger Schritt hin zur nachhaltigen Entwicklung erweisen.



Autor\*in

**Peter S.**

Erschienen als

Integrating Key Insights of Sociological Risk Theory into the Ecosystem Services Framework.

Sustainability 12: 6437 (2020)

doi: 10.3390/su12166437

Foto

Manning P.

Unsere Bindung an die Natur: Kulturelle Einflüsse auf die Nachfrage nach Ökosystemleistungen und die Risiken des Biodiversitätsverlusts.

## Was bestimmt die individuelle Nachfrage nach Ökosystemleistungen? Erkenntnisse aus einer sozialwissenschaftlichen Studie über drei deutsche Regionen

Der menschliche Bedarf an natürlichen Ressourcen übersteigt tendenziell das natürlich vorhandene Angebot. Um ein besseres Verständnis für die Wechselwirkung von Bedarf und Angebot zu entwickeln, dominiert in der Literatur zu Ökosystemleistungen (ÖSL) eine eher rationale Perspektive.

Dieser Beitrag erweitert diesen Ansatz, indem er die ÖSL-Nachfrage aus der Perspektive der soziologischen Risikotheorie betrachtet. In drei deutschen Regionen wurden Interviews durchgeführt und aus der Perspektive der Risikotheorie interpretiert. Diese hilft, die individuelle Wahrnehmung von Natur und Risiken im gesellschaftlichen Kontext besser zu verstehen.

Die gewonnenen Ergebnisse deuten darauf hin, dass die ÖSL-Nachfrage durch verschiedene Faktoren erklärt werden kann. Erstens müssen individuelle Entscheidungen und deren Hintergründe beachtet werden, wenn es darum geht, ein besseres Verständnis über die Nutzung von natürlichen Ressourcen in Zeiten des Biodiversitätsverlusts zu erhalten. Genauer geht es hierbei um das Lebens- und Arbeitsumfeld, die Naturwahrnehmung sowie die individuelle Wahrnehmung von Umweltrisiken. Die Interviews zeigen, dass die Befragten reflektiert und offen für neue Entwicklungen sind, aber dennoch ihre Traditionen bewahren wollen. Zudem zeigen die Interviews ein starkes und positives Verhältnis zur Natur der Interviewpartner\*innen, das nicht funktionalistisch oder materialistisch ausgerichtet ist.

Es zeigt sich aber auch, dass in der Naturwahrnehmung regulierende (z. B. Hochwasser- & Klimaregulierung) und versorgende ÖSL (z. B. Nahrungsmittel, Trinkwasser) eher mit den Lebensgrundlagen verbunden sind, während kulturelle ÖSL (z. B. Freizeit, Erholung) eher

## Biodiversität & Gesellschaft

mit einer Lebenseinstellung assoziiert werden. Zweitens müssen gesellschaftliche und soziokulturelle Einflüsse in die Forschung miteinbezogen werden, denn diese prägen auf lange Zeit das individuelle Handeln. Diese beziehen sich beispielsweise auf politische und ökonomische Rahmenbedingungen.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Integration einer konstruktivistischen Perspektive auf Gesellschaft, Natur und Risiken in die ÖSL-Forschung als zukünftiger Ansatz von zentraler Bedeutung ist, um ein besseres Verständnis der Nachfrage zu erlangen. Durch diese Erkenntnisse erreichen wir ein besseres Verständnis der soziokulturell geprägten Nachfrage, das in zukünftigen inter- und transdisziplinären Forschungsansätzen gestärkt werden muss, um eine nachhaltige Gesellschaft-Natur-Beziehung zu gestalten. Dies wiederum kann das Management und die Steuerung sowie Kommunikationsstrategien zu Kulturlandschaften beeinflussen, um eine nachhaltige ÖSL-Nachfrage zu fördern.



Autor\*in

**Peter S.**

Erschienen als

What Determines Individual Demand for Ecosystem Services? Insights from a Social Science Study of Three German Regions. *Nature and Culture* 17: 26-57 (2022)

doi: 10.3167/nc.2022.170102

Foto

Peter S.

Der Bedarf und das Angebot von Ökosystemleistungen ist von Risiken geprägt, die gesellschaftlich unterschiedlich wahrgenommen und bewertet werden.

## Steuerung von anthropogenen Ökosystemleistungen durch Governance-Prozesse auf unterschiedlichen Ebenen

Die Natur unterstützt das menschliche Leben auf vielfältige Weisen, die als Ökosystemleistungen bekannt sind. Die Lebensqualität des Menschen wird jedoch nicht ausschließlich durch die Natur unterstützt, sondern auch durch menschliches Zutun. Dieser Prozess wird als Koproduktion von Ökosystemleistungen bezeichnet und zeigt sich beispielsweise in der körperlichen Arbeit, dem Einsatz von Maschinen oder in bestimmten Fähigkeiten, die Menschen nutzen, um Grünland zu bewirtschaften oder Wälder zu nutzen und gleichzeitig ihre Biodiversität zu erhalten. Ein weiteres Beispiel ist die Naherholung in Wäldern und Wiesen, die durch angelegte Wanderwege ermöglicht wird.

Die Interaktionen von Menschen mit der Natur werden durch verschiedene Entscheidungsprozesse in formellen und informellen Regeln und Institutionen beeinflusst. Diese Entscheidungsprozesse werden als *Governance* bezeichnet und finden auf mehreren miteinander verbundenen Ebenen statt, beispielsweise auf lokaler, Landes- oder Bundesebene. Zudem gibt es diverse Möglichkeiten, wie diese Entscheidungsprozesse gestaltet werden. Dies kann von oben herab durch Gesetze und Regulierungen, wie beispielsweise im Naturschutz geschehen, aber auch durch Kooperationen von Menschen vor Ort, wie beispielsweise in Produktionszusammenschlüssen oder lokalen Initiativen. Des Weiteren beeinflussen wissenschaftliche Erkenntnisse und technische Vorgaben, wie Entscheidungen bezüglich Mensch-Natur-Interaktionen getroffen werden.

Durch eine umfassende Analyse der bestehenden wissenschaftlichen Literatur konnten wir in unserer Studie zeigen, dass menschliche Beiträge zur Koproduktion von Ökosystemleistungen meist gleichzeitig von verschiedenen Arten der Entscheidungsprozesse

## Biodiversität & Gesellschaft

beeinflusst werden. Ein besonderer Fokus der wissenschaftlichen Literatur liegt hierbei auf der Koproduktion von materiellen Ökosystemleistungen, wie beispielsweise der Lebensmittelproduktion oder der Nutzung von Holz als nachwachsendem Rohstoff. Unsere Studie offenbart zudem eine Forschungslücke, da es derzeit noch keine Erkenntnisse gibt, wie genau Entscheidungsprozesse die Interaktion von Menschen mit der Natur in der Bereitstellung bestimmter Ökosystemleistungen beeinflussen. Weitere Forschung ist somit notwendig, um festzustellen, welche Entscheidungsprozesse eine nachhaltige Bereitstellung von Ökosystemleistungen fördern können.



### Autor\*innen

**Isaac R.**, Kachler J., Winkler K. J., Albrecht E., Felipe-Lucia M., Martin-Lopez B.

### Erschienen als

*Governance to manage the complexity of nature's contributions to people co-production.* *Advances in Ecological Research* 66: 293–321 (2022)

doi: 10.1016/bs.aecr.2022.04.009

### Foto

Isaac R.

Hinweisschild für Besucher\*innen des Naturchutzgebiets Randecker Maar mit Zipfelbachschlucht auf der Schwäbischen Alb.

## Kulturelle Weltanschauungen erklären durchweg die Priorisierung bestimmter Bündel von Ökosystemleistungen im deutschen ländlichen Raum

Unterschiedliche Priorisierungen von Ökosystemleistungen (ÖSL) auf einem begrenzten Flächenbereich können zu Konflikten zwischen Interessensgruppen führen. In der ÖSL-Forschung wurde dies häufig beschrieben, jedoch wurden die soziokulturellen Faktoren, einschließlich der Weltanschauungen, die diese Priorisierung beeinflussen, bisher nicht ausreichend berücksichtigt. Hierzu kann eine kulturtheoretische Betrachtung von Risiken mit Hilfe der „Grid-Group-Typologie“, die Menschen als Individualisten, Hierarchisten, Egalitaristen und Fatalisten klassifiziert, als konzeptioneller Rahmen dienen.

Wir haben die Zusammenhänge zwischen der Priorisierung von ÖSL, kulturellen Aspekten (wie kulturelle Weltanschauungen und damit zusammenhängende Umwelt- und Risikowahrnehmungen), soziokulturellen Faktoren (Region, Interessensgruppe, politische Präferenz) und soziodemografischen Faktoren untersucht. Hierfür nutzten wir Daten einer Umfrage mit 321 Teilnehmenden aus 14 Interessensgruppen in drei deutschen Regionen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Mehrheit der Befragten gleichzeitig verschiedene Ökosystemleistungen priorisiert, wobei diese Priorisierung deutlich mit ihrer Zugehörigkeit zu einer bestimmten Interessensgruppe verknüpft ist. Darüber hinaus konnten wir vier „Bündel von ÖSL-Priorisierungen“ identifizieren: kulturelle Leistungen, Versorgungsleistungen des Freilands, Umweltschutzleistungen und Versorgungsleistungen aus dem Wald.

Jedes „Bündel von ÖSL-Priorisierungen“ wurde mit den oben genannten kulturellen Aspekten sowie soziokulturellen und soziodemografischen Faktoren in Verbindung gebracht. Dadurch war es uns möglich, sogenannte „kulturelle Typen“ zu identifizieren. Zwei

## Biodiversität & Gesellschaft

Typen waren besonders ausgeprägt: Die Priorisierung von Versorgungsleistungen des Freilands war hoch für die Interessensgruppe der Landwirtschaft und wurde mit dem Kulturtyp des Individualisten in Verbindung gebracht. Sie nahmen die Natur als beständig, aber auch unvorhersehbar wahr und bevorzugten die Unterstützung wirtschaftsliberaler, konservativer politischer Parteien. Im Gegensatz dazu neigten diejenigen, die den Umweltschutz priorisierten, zu einer egalitären kulturellen Weltanschauung und der Wahrnehmung der Natur als tolerant und sensibel. Sie gehörten oft den Interessensgruppen Forschung und Naturschutzverbände an und bevorzugten politisch meistens linksgerichtete Parteien.

Die Identifizierung „kultureller Typen“ mit konsistenten ÖSL-Priorisierungen und kultureller Weltanschauung könnte der zukünftigen ÖSL-Forschung nützlich sein. Darüber hinaus könnte dies die Möglichkeit bieten, die Kommunikation in Bezug auf ÖSL so anzupassen, dass sie effektiver wird und möglicherweise zur Förderung nachhaltiger Managementstrategien beiträgt.



### Autor\*innen

**Peter S.**, Le Provost G., Mehring M., Müller T., Manning P.

### Erschienen als

Cultural worldviews consistently explain bundles of ecosystem service prioritisation across rural Germany.

People and Nature 4: 218–230 (2022)

doi: 10.1002/pan3.10277

### Abbildung

Peter S., Rosso V.

Beispiele von Ökosystemleistungen (ÖSL) auf einem begrenzten Raum, die von bestimmten Interessensgruppen priorisiert werden.

# Anhang

<u>Schlagwortverzeichnis</u>	<u>S.302</u>
<u>Glossar</u>	<u>S.308</u>
<u>Impressum</u>	<u>S.335</u>

**S.300 – 335**

## Schlagwortverzeichnis

<u>Schlagwort</u>	<u>Seite</u>		
<u>A</u>		- kronen	122
Aas	086, 088, 092	- höhlen	094, 096
Agrarlandschaft	286	Bestandsstruktur	220
Algen	038	Bewirtschaftung(s)	040
- Mikro-	200	- intensität	030, 246
Alkaloide	150	- systeme	214
Altersklassenwald	214, 224, 226	Bienen	128, 132
Ansaat	050	- gesundheit	132
Antibiotikum	196	Bild- und Beschriftungs-	008
Antibiotikaresistenzgen	192, 194	analysen	
Archaeen	242	Biodiversitätsexperimente	282
Arten		Biokruste	038, 040, 042, 200
- gemeinschaften	102, 118, 210	Biomasse	
- vielfalt	140, 266, 286	- mikrobiell	244
- reichtum	286	- oberirdisch	258
- seltene -	124	Blattfraß	116
Arthropoden	272	Blühzeitpunkt	070, 074
		Boden	066, 154, 192, 194, 196, 276, 286
<u>B</u>		- atmung	026
Bakterien	038, 042, 094, 128, 166, 172, 174, 184, 186, 190, 242	- bakterien	028, 174, 176, 182, 186, 190, 196
- gemeinschaften	092, 168, 182, 204, 248, 254	- eigenschaften	062, 158, 202, 244
Baum		- kohlenstoff	046
- arten	122, 220	- krusten	034, 044, 200
- artenzusammensetzung	022, 028, 260	- lebewesen	098, 100, 102, 104, 286
		- mikroorganismen	032, 168, 180
		- organismen	286

## Anhang

- schichten	166	Epichloë-Pilze	150
- substanz	022, 034, 046	<u>F</u>	
- tiefe	066	Fadenwurm	094, 114, 202, 242
- trockenheit	024, 026	Fernerkundung	260, 014
- typ	172	Fichte	254
- vegetation	236	Flächenverfügbarkeit	274
Buchen	108, 156, 162, 254	Flechten	238
- springrüssler	108	Frühblüher	070
- wald	038, 224, 230		
- waldlandschaften	214	<u>G</u>	
		Gesellschaft	292, 294
<u>C</u>		Gewächshaus	056
CO <sub>2</sub> -Fixierung	028, 034	Governance	296
CO <sub>2</sub> -Freisetzung	026, 252	Gräser	060, 078
		Grünland	024, 030, 060, 066, 126, 150, 154, 168, 172, 262, 268, 272, 282
<u>D</u>		- arten	064, 076
Datenmanagementsystem	010	- bewirtschaftung	026, 032, 046, 152, 288
Datenbank	014	- böden	036, 046, 068, 176
Diagramme	008	<u>H</u>	
Drohnen	260	Herbivorie	270
Duftstoffe	126, 086	Heterogenität	222
Dung		historisch	272
- abbau	116, 120	Hummeln	126
Düngung	024, 026, 114		
<u>E</u>			
Endophytische Pilze	150, 162		
Enzyme	164, 250		

## Schlagwortverzeichnis

<u>I</u>		<u>L</u>	
Infektionskrankheiten	140	Lachgas	178
Infiltrationskapazität	036	Landnutzung(s)	054, 106, 112, 142, 166, 272, 286
Insekten	086, 092, 188, 270	- intensität	050, 068, 106, 268, 284, 286
- gemeinschaften	094, 110	Landschaftsebene	288
Isotope, -stabile	028, 052	Landschaftsstruktur	138, 272
<u>J</u>		Landwirtschaft	134
<u>K</u>		Laserscanner	216, 218, 220, 226
Käfer	090, 142, 144	Lebensraum	274
- Aas-	090	Leitfähigkeit, hydraulische	036
- Dung-/Mist-	086, 088	Licht	236
- Totholz-	122, 240	<u>M</u>	
- gemeinschaft	124, 144	Mahd	054, 058
Kamerabilder	014	- häufigkeit	232, 262, 264
KI/ Künstliche Intelligenz	260, 262, 268	- zeitpunkt	232, 264
Klee	058	Metadaten	018
Klima	012	Methan	180, 198, 246
- wandel	040, 070, 072, 134, 198, 234	Mikrobiom,	152, 172, 204
- erwärmung	074	pflanzenassoziiertes	
Kohlenstoff	022, 052	Milben	112
Konkurrenzdruck	228	Mineralien	168, 170
Krankheitserreger	140	Mischbestand	210
Kräuter	070, 072, 074, 078	Mischwald	220
Kulturelle Weltanschauung	298	Modell	270
		-kalibrierung	278

## Anhang

Monitoring	212	Pflanzen	
Multifunktionalität	230, 288	- blätter	166
Mykorrhizapilze	032, 062, 064, 154, 158	- diversität	032, 036, 270
- Ekto-	100, 160	- gemeinschaften	066, 172, 282
<u>N</u>		- Insekten-Netzwerke	110
Nagetiere	140	- merkmale	062, 064, 072
Nährstoff	022, 024, 098, 270	- parasiten	206
- auswaschung	022, 030	- pathogen	108
- kreislauf	100	- vielfalt	050, 066, 236
Nahrungsnetz	098, 100, 104	- wurzel	060, 062, 152
Netzwerke	284	Phänotypische	056
Niederschlag	040	Veränderung	
Nitrat	178	Phosphorkreislauf	032, 038
		pH-Präferenzen	190
		Pilze	038, 152, 156, 158, 160, 132, 242, 248, 250, 254
<u>O</u>		- holzabbauende	164, 240
Ökosystem		Plenterwald	210, 214, 224
- funktionen	120, 124, 284	Pollen	128
- leistungen	220, 230, 248, 264, 266, 284, 288, 292, 294, 296, 298	Protisten	200, 206
- prozesse	116		
ökologische Nische	176	<u>Q</u>	
organische Bodensubstanz	022, 034, 046	<u>R</u>	
<u>P</u>		Reinbestand	210
Parasiten	136	Resistenzgene	192, 194
		Rotbuche	226, 228, 234, 248

## Schlagwortverzeichnis

<u>S</u>		<u>U</u>	
Samenverbreitung	116	Untersuchungsmethode	232
Satelliten	258, 262, 266	- ansprüche	112
- zeitreihen	264	- daten	010
Schädlingsbekämpfung	134	- modelle	278
Schnecken	112	<u>V</u>	
Sequenzierung	182	Verteilung	182
Skala, räumliche	118	Verwesung	086
Software	012	Vielfalt	
Soundscape	138	- akustische	138
Spinnen	134	- biologische	232, 258
Springschwänze	104	- strukturelle	222, 258
Stickstoff	038, 052, 188	Vögel	136
- kreislauf	178	<u>W</u>	
Stoffkreisläufe	248	Wachstum(s)	054
Störung	050, 052	- dynamik	228
Streu	068	Wald	022, 072, 088, 094, 098, 104, 124, 142, 162
<u>I</u>		- bewirtschaftung	044, 070, 102, 122, 136, 202, 232, 246
Temperatur	248	- boden	042, 160, 184, 186
Tiergemeinschaft	106	- entwicklungsphasen	224
Totholz	144, 188, 242, 240, 242, 244, 252	- inventur	212
- abbau	242, 246, 250, 254	- ökosystem	238
Trockenheit(s)	024, 072, 076, 078		
- stress	052		
- resilienz	076, 078		

## Anhang

- struktur	070, 136, 212, 216, 222, 226
- Wirtschafts-	210
- käfergemeinschaften	124
Weide	286
Wiese	286
Wildblumen	074
Wirbeltiere	096
Wurzel	060, 064, 098, 152, 166, 168
- merkmale	158
<u>X</u>	
<u>Y</u>	
<u>Z</u>	
Zeitreihe	084
Zersetzer	088, 102, 120, 248
Zersetzungsprozesse	090, 092, 188

## Glossar

### A

#### Abbaurrate

Geschwindigkeit des Abbaus unter festgelegten Rahmenbedingungen.

*Quelle* www.spektrum.de

#### abiotisch

unbelebt; auf das Nichtorganismische und seine Wirkungen bezogen.

Gegenteil: biotisch.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### abiotische Faktoren

Wirkungen der unbelebten Natur (z. B. Klima, Boden, Landschaftsrelief) auf die Organismen. Gegenteil: biotische Faktoren.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### Abundanz

Anzahl von Organismen in Bezug auf eine Flächen- oder Raumeinheit.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### Agroforstsysteme

Landnutzungssysteme, die den Anbau von

Gehölzen (Bäumen und Sträuchern) räumlich mit Ackerkulturen, Grünlandbewirtschaftung oder Tierhaltung kombinieren.

*Quelle* www.lfl.bayern.de

#### Alkaloide

Gruppe basisch reagierender sekundärer Pflanzenstoffe, die in der Regel stickstoffhaltige Verbindungen aufweisen.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### Altersklassenwälder

Bezeichnung einer Betriebsform von Wäldern, bei der die Bäume in einem wiederkehrenden Zyklus wie folgt bewirtschaftet werden: Pflanzung, Pflege, Ernte (Kahlschlag) und erneutem Pflanzen.

*Quelle* www.wikipedia.de

#### anthropogen

Vom Menschen beeinflusst oder geschaffen, durch menschliche Einwirkung verursacht.

*Quelle* www.spektrum.de

#### Anthropozän

Entstand als Vorschlag zur Benennung einer neuen geochronologischen Epoche: nämlich des Zeitalters, in dem der Mensch zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren auf die biologischen, geologischen und

atmosphärischen Prozesse auf der Erde geworden ist.

*Quelle* www.wikipedia.de

#### Archaea

Eine Gruppe der zellulären Lebewesen, die den Bakterien ähneln, sich in ihrem Aufbau aber unterscheiden. Sie sind auch unter dem Begriff Urbakterien bekannt.

*Quelle* spektrum - Lexikon der Biologie

#### Arthropoden

Gliederfüßer. Ein sehr umfangreicher Stamm des Tierreichs, zu dem die Tiergruppen Insekten, Tausendfüßer, Krebstiere und Spinnentiere gehören.

*Quelle* www.wikipedia.de

### B

#### Baumhöhlen (wassergefüllte)

Hohlraum in einem Baum, der bei muldenartiger Beschaffenheit mit Wasser gefüllt sein kann und dann als Mikrogewässer eine spezifische Lebenswelt enthält.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### Bayes'sche Inferenz

Bayes'sche Inferenz, bzw. Bayes'sches Lernen ist in der Bayes'schen Statistik ein An-

satz zur statistischen Inferenz bzw. Maschinellen Lernen, der es ermöglicht, die Überzeugungen über eine Hypothese oder ein Modell durch die Integration neuer Daten zu aktualisieren.

*Quelle* www.wikipedia.de

#### Bdellovibrio

Zellen der Bakteriengattung *Bdellovibrio* sind klein und bewegen sich mithilfe eines Flagellums mit hoher Geschwindigkeit. Sie kommen im Wasser und im Boden vor und befallen (gramnegative) Bakterien und sind daher bakteriovor. *Bdellovibrio* dringt in die Wirtszelle ein und vermehrt sich in dieser. Einige Stunden nach Befall werden die Tochterzellen von *Bdellovibrio* freigesetzt.

*Quelle* Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

#### Beta-Lactam-Resistenz

Beta-Laktam-Antibiotika sind eine Gruppe von Antibiotika (zu ihnen gehören zum Beispiel Penicilline). Einige Bakterien sind in der Lage, ein Enzym namens Beta-Laktamase zu bilden. Dieses Enzym spaltet den Beta-Laktam-Ring des Antibiotikums und inaktiviert es dadurch. Dadurch sind diese Mikroorganismen resistent gegenüber Beta-Laktam-Präparaten.

*Quelle* https://flexikon.doccheck.com

#### BioDIV

„Cedar Creek Biodiversity Experiment“ (BioDIV, gepflanzt zwischen 1994-1995). Das Cedar Creek Ecosystem Science Reserve ist eine ökologische Forschungsstätte, die hauptsächlich in East Bethel, Minnesota, liegt. Auf einer Fläche von 22 km<sup>2</sup> mit einheimischen Bergwäldern und Prärien sowie Tieflandsümpfen und -wiesen befinden sich mehr als 900 Versuchsflächen, auf denen die Pflanzenkonkurrenz und die Artenvielfalt untersucht werden.

*Quelle* www.pflanzenforschung.de, www.wikipedia.de

#### Biokruste

siehe Bodenkruste.

*Quelle* www.biodiversity-exploratories.de

#### Biomasse

Biomasse ist die durch Pflanzen oder Tiere erzeugte oder anfallende organische Substanz. Die Masse (das Gewicht) einzelner Organismen, Organismengruppen oder der zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhandenen Lebewesen je Flächen- oder Volumeneinheit einer Lebensstätte.

*Quelle* www.um.baden-wuerttemberg.de

#### Bioregion

Großlebensraum; Bereich der Erde mit meist gleichartigem Klima, in dem ein phy-

## Anhang

siognomisch einheitlicher Vegetationstyp (Biom) vorkommt.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### biotische Faktoren

die Wirkungen der belebten Natur auf die Organismen, z. B. Nahrung, Bevölkerungsdichte, Feinde, Konkurrenten. Gegenteil: abiotische Faktoren.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### Bodenkrusten

Biologische Bodenkrusten (engl. *biological soil crust*; BSC) sind eine komplexe Gemeinschaft aus photosynthetisch aktiven Grünalgen, Cyanobakterien, Moosen und Flechten, heterotrophen Pilzen, Protozoen und Bakterien, die die obersten Millimeter des Bodens bedecken.

*Quelle* www.biodiversity-exploratories.de

### C

#### Cellulose

Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände. Die Hauptprodukte der pflanzlichen Photo-

## Glossar

synthese sind die sichtbaren faserigen und verholzten Strukturen der Pflanze, die hauptsächlich aus Zuckern entstanden sind. Die wichtigsten sind die Strukturpolysaccharide der Pflanzenzellwand: Cellulose (30-50%), Hemicellulose (20-30%) und Pectin (3-5%).

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Chitin

Aus Chitin bestehen die Zellwandfasern von Pilzen und einigen Algen, aber auch das Exoskelett von Arthropoden (Insekten, Spinnen und Krebstieren). Im Exoskelett werden die Polysaccharide nach der Häutung mit Phenolen quervernetzt oder es wird Kalk eingelagert. Diese Prozesse haben ähnliche Auswirkungen wie die Verholzung von Cellulose, sowohl was die Stabilität der Struktur als auch den erschwerten Abbau betrifft.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Chloramphenicol

Chloramphenicol ist ein Breitbandantibiotikum, ist außerordentlich stabil und wirkt gegen viele gramnegative Bakterien, aber auch gegen Spirochaeten, Rickettsien, Actinomy-

ceten und große Viren. Es verhindert den Einbau von Aminosäuren in Proteine. Aufgrund einer seltenen, aber lebensbedrohlichen Nebenwirkung wird es heute nur noch als Reserveantibiotikum beim Menschen eingesetzt.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### C/N-Verhältnis

Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff.

### Cyanobakterien

Das Phylum Cyanobacteria ist das einzige Phylum, in dem sich oxygen photosynthetische Mikroorganismen befinden. Die Zellgröße reicht von 0,5-1 µm bei der Gattung *Synechococcus* bis zu mehr als 100 µm Durchmesser bei der Art *Oscillatoria princeps*. Sie kommen an sehr unterschiedlichen Orten vor, z. B. an Orten mit direkter und hoher Sonneneinstrahlung (z. B. in der Gezeitenzone) oder bei hohen Salzkonzentrationen und Temperaturen, in arktischen Breiten, endolithisch in Gesteinen oder als Symbionten.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

## D

### d<sup>13</sup>C/<sup>13</sup>C-Isotope

Delta-C-13; δ<sup>13</sup>C Kohlenstoff existiert in

zwei stabilen Isotopen, <sup>13</sup>C und <sup>12</sup>C. Sie unterscheiden sich in ihrer Atommasse und können daher mit Hilfe der Massenspektrometrie (MS) getrennt erfasst werden (Isotopenverhältnis-MS). Das leichtere Isotop <sup>12</sup>C kommt mit 98,9% deutlich häufiger in der Umwelt vor als <sup>13</sup>C mit nur 1,1%.

In der Natur hängt das Verhältnis von <sup>13</sup>C zu <sup>12</sup>C wesentlich von der Photosyntheseleistung von Pflanzen ab. Da das leichtere Isotop schneller reagiert beziehungsweise schneller enzymatisch umgesetzt wird, reichert sich das schwerere Isotop <sup>13</sup>C dabei im Vergleich zum <sup>12</sup>C im Organismus an. In der Nahrungskette setzt sich diese Anreicherung fort.

Quelle www.umweltprobenbank.de

### d<sup>15</sup>N/<sup>15</sup>N-Isotope

Delta-N-15; δ<sup>15</sup>N Maß für die Anreicherung des stabilen Stickstoff-Isotops <sup>15</sup>N in der Nahrungskette.

Stickstoff kommt in der Umwelt in Form zweier stabiler Isotope vor, <sup>14</sup>N und <sup>15</sup>N, die sich in ihrer Atommasse unterscheiden. Mit Hilfe der Massenspektrometrie (MS) können die Isotope getrennt bestimmt werden (Isotopenverhältnis-MS). In Organismen hat <sup>15</sup>N eine höhere Retentionszeit, d.h. es wird langsamer umgesetzt und ausgeschieden.

Die Anreicherung von <sup>15</sup>N wird als Verhältnis <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N in der δ-Notation angegeben. Im Nahrungsnetz lässt sich eine Zunahme von <sup>15</sup>N beobachten: Fleischfresser haben einen höheren δ<sup>15</sup>N-Wert als Pflanzenfresser und Pflanzenfresser einen höheren als Pflanzen. Mit jeder Ernährungsstufe (Trophiestufe) nimmt der Wert um etwa 3 bis 4 Promille (‰) zu. Anhand des δ<sup>15</sup>N Wertes kann daher die Trophiestufe von Organismen im Nahrungsnetz relativ zueinander bestimmt werden.

Quelle www.umweltprobenbank.de

### Deep Learning

*Deep Learning* ist eine spezielle Methode zur Informationsverarbeitung und ein Teilbereich von *Machine Learning* und Künstlicher Intelligenz. *Deep Learning* verwendet zur Analyse großer Datensätze neuronale Netze. Diese von *Deep Learning* angewandte Funktionsweise agiert ähnlich wie das menschliche Gehirn. Dabei werden Daten zuerst extrahiert, anschließend analysiert, um im Anschluss eine Schlussfolgerung bzw. Prognose zu erstellen. Innerhalb der Praxis wird *Deep Learning* hauptsächlich zum Erkennen von Bildern, dem Verständnis von Texten oder zur besseren Entscheidungsfindung genutzt.

Quelle www.datasolut.com

### Denitrifikation

Die Denitrifikation ist ein Teil des Stickstoffkreislaufs. Liegt Nitrat unter Sauerstoffabschluss vor, „atmen“ die beteiligten Bakterien mit Nitrat anstelle von Sauerstoff, man spricht daher auch von „Nitratatmung“. Bei der Denitrifikation wird somit Nitrat über mehrere Zwischenprodukte (Nitrit, NO, N<sub>2</sub>O) zu molekularem Stickstoff (N<sub>2</sub>) reduziert. Die Denitrifikation führt zu Stickstoffverlusten im Boden. Diesem Prozess kommt große ökologische und praktische Bedeutung zu, so z. B. bei der Stickstoffentfernung bei der Abwasserbehandlung. Allerdings setzen die Mikroorganismen auch ungewollt Stickstoff aus landwirtschaftlich genutzten Böden frei. Nach Nitratdüngung kann es so zu großen Stickstoffverlusten kommen, besonders wenn der Boden durch stehende Nässe anaerob wird.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Detritus

Zerreibsel, Zerfallsprodukt pflanzlichen (Phytodetritus) oder tierischen Ursprungs (Zoodetritus) auf dem Land und im Wasser. Ganz allgemein beschreibt es die abgestorbene organische Substanz aus allen trophischen Ebenen (→ Ernährungsstufe) eines Ökosystems. Detritus bildet eine wichtige Nah-

rungsquelle für viele Organismen.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Detritusphäre

Bereich des Bodens mit Streu und Humus. Es dominieren Vorgänge der Zersetzung.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Diptera

Die Zweiflügler (Diptera) bilden eine der artenreichsten Ordnung der Insekten. Zu den Zweiflüglern gehören knapp 140.000 Arten, wobei in Mitteleuropa ca. 9.450 Arten zu finden sind.

Quelle www.zsm.mwn.de

### dissimilatorische Nitrat-/

### Nitritreduktion (DNRA)

Die Denitrifikation (DEN) und die dissimilatorische Nitratreduktion zu Ammonium (DNRA) sind zwei wichtige Reduktionsprozesse, durch die aus Nitrat über verschiedene Reduktionsschritte N<sub>2</sub> (DEN) oder Ammonium (DNRA) gebildet wird.

Quelle www.biodiversity-exploratories.de

## Anhang

## Glossar

### Diversität (alpha, beta, gamma)

Beschreibt die Vielfalt unterschiedlichen Lebens in einem bestimmten Landschaftsraum. Man unterscheidet zwischen  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Diversität. Die  $\alpha$ -Diversität ist das Maß für die Artenvielfalt eines Lebensraums. Sie beschreibt die Anzahl der in einem Habitat oder Biotop vorkommenden Arten.  $\beta$ -Diversität ist das Maß für den Unterschied in der Artenvielfalt zwischen verschiedenen, räumlich in einer Landschaft verteilten Lebensgemeinschaften. Die  $\gamma$ -Diversität beschreibt die Artenvielfalt einer Landschaft, beginnend von ca. 1.000 ha bis hin zu ca. 1.000.000 ha. Demnach beinhaltet die  $\gamma$ -Diversität meist eine Vielzahl von  $\alpha$ -Diversitäten, die sich jedoch nicht zwingend bedeutend durch ihre  $\beta$ -Diversitäten unterscheiden müssen.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

## E

### Einzelstammweise Bewirtschaftung

Im Plenterwald erfolgt die Nutzung einzelstammweise. Es werden dabei nur Stämme entnommen, die einen vorher definierten

Zieldurchmesser erreicht haben. Die wichtigste Voraussetzung, um diese Form der Einzelstammnutzung durchführen zu können ist, dass bereits ein Plenterwaldgefüge besteht. Dies bedeutet, dass ein bereits ungleichaltriger Bestand vorhanden ist, in dem alle Altersklassen, vom Keimling bis zum Altbaum, auf der ganzen Fläche verteilt, vorkommen.

*Quelle* www.lko.at

### Elektroantennographie

Methode zur Messung olfaktorischer Reaktionen eines Insektes durch die Ableitung elektrischer Signale an seinen Antennen.

*Quelle* www.uni-goettingen.de

### Ellenberg Zeigerwerte

ein von Heinz Ellenberg Mitte der 1970er-Jahre etabliertes Klassifikationsverfahren für mitteleuropäische Pflanzen, das sich auf ökologische und botanische Beobachtungen stützt. Beobachtet wird das tatsächliche Vorkommen der Art im Gelände in Abhängigkeit von der Ausprägung verschiedener Bioindikatoren: Licht, Temperatur, Grad der Kontinentalität, Feuchte, Boden-pH-Wert und Stickstoffgehalt.

*Quelle* spektrum - Lexikon der Geowissenschaften

### Emergenzfalle

Kasten oder zeltförmige Falle zum Nachweis der aus einer bestimmten Boden- oder Wasserfläche schlüpfenden Insekten. Auch bezeichnet als Eklektor.

*Quelle* Frei nach: Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Endophyt

Im Inneren von Pflanzen lebender pflanzlicher Organismus; auch jede Pflanze oder Pilze, die im Inneren anderer Organismen (Pflanzen und Tiere) lebt.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Endosphäre

Zusammenfassender Begriff für alle Schalen und Bestandteile der Erde unterhalb der Gesteinsphäre.

*Quelle* www.spektrum.de

### Enzymkinetik

Die Enzymkinetik beschreibt, wie schnell enzymkatalysierte chemische Reaktionen verlaufen.

*Quelle* www.chemie.de/

### Epichloë

Eine Pilzgattung, die zur Familie der Mutterkornpilzverwandten (Clavicipitaceae) ge-

hört. Sie lebt endophytisch und in Symbiose in verschiedenen Süßgräsern, da sie durch die Produktion von Alkaloiden der Pflanze einen Fraßschutz verleiht. Die Wirtspflanze versorgt im Gegenzug den Pilz mit Nährstoffen und kontrolliert sein Wachstum.

*Quelle* www.wikipedia.de, modifiziert

### ESA Satelliten Sentinel

Erdbeobachtungssatelliten des Copernicus-Programms.

*Quelle* www.d-copernicus.de

### Eukaryoten/ Eukaryonten

Das Reich der Eukaryonten zeichnet sich durch das Vorhandensein eines membranumhüllten Zellkerns aus. Sowohl Pflanzen als auch Tiere gehören ins Reich der Eukaryonten.

*Quelle* Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Exsudate

Bei Pflanzen: Ausgeschiedene Stoffwechselprodukte der Wurzel.

*Quelle* www.pflanzenforschung.de

## F

### Fernerkundung

Begriff für die kontaktlose Beobachtung

und Vermessung der Erde aus der Luft oder dem Weltraum mit Hilfe von Flugzeugen und Satelliten sowie für die Methoden der Verarbeitung der dabei gewonnenen Daten (digitale Bildverarbeitung, Bildanalyse).

*Quelle* www.spektrum.de

### forensische Entomologie

ist ein Teilgebiet der Forensik, bei der die Insekten zur Aufklärung von Rechtsfällen, hauptsächlich von Tötungsdelikten, herangezogen werden. Aufgrund der Abfolge der Larvenstadien und der Besiedlung durch verschiedene Insektenarten können beispielsweise Hinweise auf die Leichenliegezeit gesammelt werden.

*Quelle* www.wikipedia.de

### Fosfomycin

Das Antibiotikum Fosfomycin wird seit vielen Jahrzehnten in der EU zur Behandlung eines breiten Spektrums von Infektionen angewendet.

*Quelle* www.bfarm.de

### funktionale Diversität

ist die Vielfältigkeit an ökologischen Funktionen und Prozessen, die in einem Ökosystem ablaufen. Die funktionale Biodiversität ist grundsätzlich hoch, wenn es viele verschiedene Arten gibt, die unterschiedlichste Ak-

## Anhang

tivitäten entfalten. Zur Bestimmung der funktionalen Diversität werden Organsimen oft in Gruppen, sogenannte funktionale Gruppen, eingeteilt, die ihre Hauptfunktion umschreiben.

*Quelle* www.thuenen.de

### funktionelle Merkmale (Traits)

Funktionelle Merkmale sind Eigenschaften von Organismen, die wichtige Prozesse wie das Wachstum oder die Verbreitung beeinflussen. Sie lassen sich unterteilen in morphologische, anatomische, physiologische, biochemische und phänologische Merkmale. Funktionelle Merkmale helfen dabei, die Funktion von Organismen in Ökosystemen zu untersuchen.

*Quelle* Abstractband 2017-2019

### funktionelle Pflanzengruppe

Gruppe einer Pflanzenart, die ihre Nahrungsenergie auf ähnliche Weise gewinnt und daher im Ökosystem eine bestimmte Rolle einnimmt. In der Regel ist auch die Wuchsform vergleichbar.

*Quelle* www.pflanzenforschung.de

### funktionelle Rolle

Arten erfüllen innerhalb einer funktionellen

## Glossar

Gruppe funktionelle Rollen. Arten, die innerhalb ihrer funktionellen Gruppe keine funktionelle Rolle spielen werden als redundant eingestuft. Die Struktur und Funktion der Lebensgemeinschaft liegt schwerpunktmäßig bei den funktionellen Gruppen und weniger bei den einzelnen Arten. Bei Verlust eines Schlüsselräubers würde nach dem Redundanzmodell eine andere Art die Rolle übernehmen.

[Quelle](#) [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

## G

### Generalisten/Generalismus

Tier- oder Pflanzenart, die geringe Ansprüche an Bedingungen ihrer Umwelt stellt und einen breiten Ausschnitt aus dem Ressourcenspektrum (z. B. Nahrung) nutzt.

[Quelle](#) Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Gibberelline

Gibberelline sind Phytohormone, die eine wichtige Rolle bei vielen pflanzlichen Prozessen spielen, insbesondere bei dem Pflanzenwachstum. Einige Gibberelline wer-

den auch von Pilzen als Sekundärmetabolite produziert.

[Quelle](#) [www.pflanzenforschung.de](http://www.pflanzenforschung.de)

### Glykogen

Aus Glucose-Monomeren aufgebaute Vielfachzucker, der Zellen von Tieren, Bakterien und Pilzen als kurz- bis mittelfristiger Energiespeicher dient (Pendant zur Stärke in Pflanzen).

[Quelle](#) [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

### Goethit

Auch als Nadeleisenerz oder Brauner Glaskopf bekannt, ist ein weit verbreitetes Mineral aus der Mineralklasse der Oxide und Hydroxide.

[Quelle](#) [www.chemie.de](http://www.chemie.de)

### Governance

Die Interaktionen von Menschen mit der Natur werden durch verschiedene Entscheidungsprozesse in formellen und informellen Regeln und Institutionen beeinflusst. Diese Entscheidungsprozesse werden als *Governance* bezeichnet.

[Quelle](#) Abstract

### Grampositive/Gramnegative Bakterien

Grampositive und gramnegative Bakterien unterscheiden sich im Aufbau ihrer Zellwand (diese besteht meistens

aus Peptidoglykan, auch Murein genannt). Die Anzahl der Mureinschichten, aus denen sich die Zellwand zusammensetzt, ist ein wichtiges Charakteristikum zur Unterscheidung von Bakterien mit Hilfe der Gram-Färbung. Grampositive Bakterien haben bis zu 25 Schichten, während gramnegative ein nur ein- bis zweischichtiges Petidoglykan besitzen.

[Quelle](#) Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Grassode

Eine Grassode, Plagge bzw. ein Rasenziegel (lat. Caespites) ist ein ausgestochenes, viereckiges Stück Grasnarbe. Speziell in feuchten Gegenden wurden diese Stücke auch als Baustoffe für Bauten wie Grassen- und Erdhäuser verwendet. Größere zusammenhängende Stücke werden auch als Rollrasen oder Fertigrasen genutzt.

[Quelle](#) [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

## H

### Habitat

Charakteristischer Lebensraum einer Art (evtl. mehrere Teilhabitate für Eiablage, Larvenstadium, Imaginallebensraum, Paarungsraum).

[Quelle](#) [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

### Haubeninfiltrometer

Ein Gerät, welches die hydraulische Leitfähigkeit von Böden im nahe gesättigten Bereich im Feldversuch misst.

[Quelle](#) [www.ugt-online.de](http://www.ugt-online.de)

### Herbarium/Herbarien

Sammlung konservierter Pflanzen bzw. Pflanzenteile.

[Quelle](#) <https://www.herbarien.uzh.ch/>

### Herbarienbeleg

Konserviertes Exemplar einer Pflanze bzw. Pflanzenteils, das ein möglichst vollständiges und detailgetreues Abbild wiedergibt.

[Quelle](#) <https://www.herbarien.uzh.ch/>

### Herbivore

Pflanzen fressend; Bezeichnung für Tiere, die lebende Pflanzensubstanz als Nahrung aufnehmen.

[Quelle](#) Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### heterogen

Andersartig, verschieden. Gegensatz: homogen.

[Quelle](#) [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

### heterotroph

Heterotroph bezeichnet eine Form der Er-

nährung und bedeutet, dass ein Lebewesen die lebensnotwendigen organischen Stoffe nicht selbst herstellen kann. Heterotrophe Lebewesen sind auf die Zufuhr organischer Stoffe von außen in Form von pflanzlicher oder tierischer Nahrung angewiesen. Der Mensch, Tiere, Pilze und die meisten Bakterien ernähren sich heterotroph.

[Quelle](#) [www.sign-lang.uni-hamburg.de](http://www.sign-lang.uni-hamburg.de)

### Hochdurchsatz-Sequenzierung/

### Next generation sequencing (NGS)

Sammelbegriff für eine Gruppe neuer Sequenzierungsmethoden, bei denen mehrere DNA-Abschnitte in einem Durchgang parallel sequenziert werden können (engl. *Next Generation Sequencing*, NGS).

[Quelle](#) Frei nach: [www.hpe.com](http://www.hpe.com)

### Horizonte (Boden)

#### *A-Horizont - Oberboden*

Hier vermischen und verbinden sich organische Substanz (Humus) mit mineralischen Bestandteilen. Die organische Substanz besteht aus zersetzten Tier- und Pflanzenteilen. Sie wird von Pilzen und Bakterien ab- und umgebaut sowie durch die unermüdliche Tätigkeit der Regenwürmer mit den mineralischen Bestandteilen vermischt.

#### *B-Horizont - Unterboden*

Hier finden wir hauptsächlich verwittertes

## Anhang

Gestein. Aus dem Oberboden eingewaschene Stoffe verändern Farbe und Beschaffenheit des Unterbodens. Je weiter man nach unten vordringt, desto weniger Humus enthält diese Schicht.

#### *C-Horizont - Ausgangsgestein*

Er enthält fast ausschließlich unverwittertes Gestein. Dieser Untergrund bildet den Nachschub für die Bodenentwicklung.

[Quelle](#) [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Hornmilben

Sind eine Ordnung der Milben, die überwiegend im Humus und Boden, aber auch in feuchtem Moos und selten in Wasser leben. Hornmilben spielen bei der Streuzersetzung eine wichtige Rolle.

[Quelle](#) [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

### Hutewald

Ein Hutewald, auch Hudewald oder Hutung (früher Huth) genannt, ist ein vormaliger (Ur-)Wald, der auch oder ausschließlich als Weide zur Viehhaltung genutzt wird – anstelle der aufwendigen Rodung und Anlage von Grünland.

Bei dieser auch als Waldweide bezeichneten Form der Nutzung wird das Vieh in

## Glossar

den Wald getrieben, um dort sein Futter zu suchen.

*Quelle* [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

### hydraulische Leitfähigkeit

Die hydraulische Leitfähigkeit  $K$  ist ein Maß für die Fähigkeit des Bodens, eine bestimmte Menge Wasser bei gegebenem Druckgefälle zu transportieren. Den größten Wert erreicht die hydraulische Leitfähigkeit bei vollständiger Wassersättigung des Bodens. Bei abnehmenden Wassergehalten verkleinert sich der Querschnitt, der im Boden für die Wasserbewegung zur Verfügung steht und die hydraulische Leitfähigkeit nimmt ab.

*Quelle* [www.landwirtschaft.sachsen.de](http://www.landwirtschaft.sachsen.de)

### Hyperspektraldaten

Hyperspektraldaten erfassen die Reflexion über einen sehr weiten Wellenlängenbereich, u. a. der Vegetation. In der Fernerkundung der BGR werden Hyperspektraldaten zur flächenhaften Kartierung und Quantifizierung von Daten genutzt.

*Quelle* [www.fe-lexikon.info](http://www.fe-lexikon.info)

## I

### Illit

Illit ist die Bezeichnung für eine Serie von Tonmineralen. Der Name stammt von dem US-amerikanischen Bundesstaat Illinois, wo Illit erstmals beschrieben wurde. Es sind dreischichtige Schichtsilikate, bestehend aus einer Aluminium (Al)-Oktaeder-Schicht und zwei umgebenden Silikat (Si)-Tetraederschichten.

*Quelle* [www.geothermie.de](http://www.geothermie.de)

### Illumina (Sequenzierung)

Der in den USA ansässige Gentechnikgerätehersteller Illumina hat eine führende Rolle in der Sequenzierung von DNA. Die sogenannte Illumina-Sequenzierung zählt zum *Next Generation Sequencing*. Die DNA wird bei diesem Ansatz fragmentiert auf einer Platte aufgetragen und über eine Brücken-PCR vervielfältigt. Durch Verwendung von fluoreszierenden dNTPs kann die Sequenzierung in Echtzeit verfolgt werden (*Sequencing-by-Synthesis*). Die dNTPs sind reversible Terminatoren, es wird also immer nur ein Nukleotid eingebaut, bevor die Sequenz gemessen wird.

*Quelle* [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de),  
<https://flexikon.doccheck.com>

### Index des Biodiversitäts-Potentials

Ist ein einfaches Diagnoseinstrument, das

Waldbewirtschafter\*innen helfen soll, eine biodiversitätsfreundliche Waldbewirtschaftung zu betreiben.

Dieser Indikator basiert auf einer schnellen Bewertung von zehn Merkmalen (oder Schlüsselfaktoren), die die Fähigkeit von Waldbeständen beeinflussen, Tier-, Pflanzen- und Pilzarten zu beherbergen.

*Quelle* [www.cnpf.fr](http://www.cnpf.fr)

### Infiltrationskapazität

Wasservolumendifferenz zwischen dem aktuellen Wassergehalt im Boden und dem Wassergehalt bei Wassersättigung; entspricht der Niederschlagsmenge, die pro Flächeneinheit in den Boden infiltrieren kann, bis Oberflächenabfluß einsetzt.

*Quelle* [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

### in situ

(lateinisch) am natürlichen Standort; der Begriff wird vor allem im Artenschutz und Naturschutz verwendet.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### interannuell

Zwischenjährlich, z. B. Breitenunterschiede von Jahrringen.

*Quelle* [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

### interoperabel

Als Interoperabilität bezeichnet man die Fähigkeit zum Zusammenspiel verschiedener Systeme, Techniken oder Organisationen. Wenn zwei Systeme miteinander vereinbar sind, nennt man sie auch interoperabel.

*Quelle* [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

### Interpolation

Interpolationsmethoden sind mathematische Verfahren, die dazu verwendet werden, unbekannte Werte in einem bestimmten Intervall zu berechnen, basierend auf einer gegebenen Menge von Datenpunkten.

*Quelle* [www.studysmarter.de](http://www.studysmarter.de)

### intraspezifische Beziehungen

Bezeichnung für eine Beziehung zwischen Individuen einer Art.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### interspezifische Beziehungen

Bezeichnung für eine Beziehung zwischen Arten.

*Quelle* Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Isotope, -stabile

Arten von Atomen, deren Atomkerne gleich viele Protonen (gleiche Ordnungszahl), aber

verschieden viele Neutronen enthalten. Sie haben dann verschiedene Massenzahlen, stellen aber das gleiche Element dar (zum Beispiel im Falle des Kohlenstoffs gibt es die beiden natürlichen Isotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$ ). Die Isotope eines Elements verhalten sich chemisch fast identisch. Im Gegensatz zu radioaktiven Isotopen sind stabile Isotope natürliche Bestandteile der meisten chemischen Elemente. Stabile Isotope sind also allgegenwärtig und strahlen nicht.

Sie dienen deshalb unter anderem dazu, Stoffwechselwege aufzuklären, Stoffquellen und Stoffströme zu kennzeichnen oder Umsetzungsprozesse anzuzeigen. Von besonderer Bedeutung in der Umweltforschung sind stabile Isotope des Wasserstoffs ( $^2\text{H}$ ), des Kohlenstoffs ( $^{13}\text{C}$ ), des Stickstoffs ( $^{15}\text{N}$ ), des Sauerstoffs ( $^{18}\text{O}$ ) und des Schwefels ( $^{34}\text{S}$ ).

*Quelle* [www.umweltprobenbank.de](http://www.umweltprobenbank.de)

### ITS (Pilz-Markerregion Genetik)

Die RNA des Ribosoms (rRNA) besteht aus verschiedenen RNA-Molekülen, die in Eukaryoten aus unterschiedlichen Transkripten der rRNA-Gene (rDNA) erzeugt wurden. Innerhalb dieser Sequenzen liegen die ITS, die als spacer im Gegensatz zur rRNA nicht im fertigen Ribo-

som vorkommen. Die 5,8 S rRNA von Eukaryoten und die umgebenden ITS werden zur Untersuchung der Phylogenetik verwendet, da ITS vergleichsweise häufig mutieren und die Gene der rRNA in vielen Kopien im Genom vorkommen und dadurch tendenziell weniger zu falsch negativen Ergebnissen führen. Innerhalb der ribosomalen DNA der Pilze sind die ITS die Sequenzen mit der deutlichsten Unterscheidbarkeit innerhalb einer Art oder zwischen Arten.

*Quelle* [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

## J

### Jena Experiment

Das Jena Experiment ist eines der längsten Biodiversitätsexperimente Europas und untersucht Diversitätseffekte im Grasland. Eine umfassende Quantifizierung von Zyklen wichtiger chemischer Elemente sowie die Untersuchung von über- und unterirdischen Prozessen werden genutzt, um all jene Mechanismen aufzudecken, die den beobachteten Biodiversitätseffekten zugrunde liegen.

*Quelle* [www.idiv.de](http://www.idiv.de)

## Anhang

## Glossar

### K

#### Kohlenstoff(dioxid)fixierung (autotroph/heterotroph)

Auch Kohlendioxidassimilation genannt, bezeichnet die wichtigste Reaktion im globalen Kohlenstoffkreislauf und zwar die Umwandlung von atmosphärischem Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in organische Materie. Die photosynthetische Kohlenstofffixierung von Pflanzen (Calvin-Zyklus) steht am Anfang unserer Nahrungskette. Neben Pflanzen nutzen auch Algen und Bakterien den Calvin-Zyklus. In den letzten Jahren wurden fünf weitere, alternative Stoffwechselwege zur Kohlenstofffixierung in Mikroorganismen entdeckt. Man unterscheidet zwischen heterotropher und autotropher Kohlenstofffixierung. Bei autotrophen Lebewesen ist Kohlenstoffdioxid die einzige Kohlenstoffquelle für den Aufbau körpereigener Baustoffe. Heterotrophe Lebewesen verwenden hingegen hauptsächlich organische Kohlenstoffverbindungen und assimilieren Kohlenstoffdioxid nur zu einem geringen Anteil.

Quelle [www.mpi-marburg.mpg.de](http://www.mpi-marburg.mpg.de)

Quelle [www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de)

Kurzflügler (Staphylinidae), Familie der polyphagen Kä-

fer. Weltweit gibt es ca. 25.000 Arten, in Mitteleuropa ist sie mit 2.000 Arten die artenreichste Käferfamilie. Leicht an den stark verkürzten Flügeldecken (Elytren, Deckflügel) erkennbar, die den größten Teil des Hinterleibs unbedeckt lassen.

Quelle [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

#### Kurzumtriebsplantagen

Unter Kurzumtriebsplantagen versteht man Anpflanzungen von schnellwachsenden und stockausschlagfähigen Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen mit einer sehr kurzen Umtriebszeit. Die erzeugte Biomasse kann stofflich verwertet werden, beispielsweise in der Papier-, Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie, meist wird sie aber als Holzhackschnitzel zur Energiegewinnung genutzt.

Man spricht deshalb auch von Energiewäldern. Kurzumtriebsplantagen (Abkürzung: KUP) werden weiterhin auch Kurzumtriebskulturen genannt.

Quelle [www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de)

### L

#### Landschaftsmetrik

Die Landschaft, die wir wahrnehmen, besteht aus verschiedenen Elementen wie Hecken, Baumgruppen und Ackerflächen.

Solche Landschaftstrukturen dienen seit mehr als 20 Jahren dazu, ländliche Räume zu beschreiben, wie sie auch für die Agrarpolitik wichtig sind. Dort geht es um Winderosion oder Biodiversität. Die Landschaftsmetrik setzt Größe und Zahl von Landschaftselementen in mathematische Funktionen um. Damit wird die Verschiedenheit einer Landschaft „berechenbar“.

Quelle [www.herd-und-hof.de](http://www.herd-und-hof.de)

#### Laserscanning

Beim Laserscanning wird die Erdoberfläche von einem Flugzeug aus mit einem Laserstrahl abgetastet. Anhand der Zeit und Richtung der Reflexion des Laserstrahls sowie der Position des Flugzeuges wird der Geländeverlauf bestimmt.

Quelle [www.lgln.niedersachsen.de](http://www.lgln.niedersachsen.de)

#### Laubhölzer (zerstreutporig und ringporig)

Aufgrund der Zellstrukturen unterscheiden wir zwischen Nadel- und Laubhölzern. Im Gegensatz zu Laubhölzern haben Nadelhölzer keine Poren (Gefäße). Die Laubhölzer mit Poren können ringporig oder zerstreutporig sein. Unter zerstreutporigem Holz versteht man Hölzer, bei denen im Gegensatz zu ringporigem Holz große leitende Gefäße (Tracheen) sowohl im Frühholz als auch im Spätholz in etwa gleichmäßig ge-

bildet werden. Beispiel für zerstreutporige Hölzer sind die Linde, Ahorn, (Hain)buche, Pappel. Beispiel für ringporige Laubhölzer sind Eiche, Esche, Kastanie, Ulme.

Quelle [www.ngw.ch](http://www.ngw.ch)

#### Lignin

Ein in der pflanzlichen Zellwand eingelagertes Biopolymer, welches die Verholzung der Zelle bewirkt (Lignifizierung). Es ist nach den Kohlenhydraten der mengenmäßig zweitwichtigste Naturstoff, der 10-30% der Masse der Gefäßpflanzen ausmacht.

Quelle [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de),  
Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

#### Linked Open Data (LOD)

Als LOD werden im *World Wide Web* frei verfügbare Daten bezeichnet, die identifiziert sind und direkt abgerufen werden können. Weiterhin verweisen sie auf andere Daten und sind auch mit semantischen Metadaten verknüpft.

Quelle [Nach Andreas Ostrowski](#)

### M

#### Makrofauna

Als Makro- oder Megafauna bezeichnet man bodenlebende Tiere, deren Körperdurch-

messer zwischen 2 mm und 20 mm liegt. Zur Makrofauna gehören Weberknechte, Asseln, Hundertfüßer, Doppelfüßer, Regenwürmer, Käfer, Spinnen, Schnecken.

Quelle Blume, H.-P. et al. (2010) Lehrbuch der Bodenkunde (16. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

#### Makrolid

Zu den Makroliden rechnet man Antibiotika verschiedener Herkunft mit verhältnismäßig hoher Molekülmasse. Zu dieser Gruppe gehören zum Beispiel Erythromycin, Carbomycin A, Actinomycin. Es hemmt die Proteinbiosynthese verschiedener Bakterien.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

#### Markergerne/

#### DNA-Marker/molekulare Marker

Als Markergerne bezeichnet man in der Molekularbiologie eindeutig identifizierbare, kurze DNA-Abschnitte, deren Ort im Genom bekannt ist. Sie spielen eine wichtige Rolle in der molekularbiologischen Forschung und Analytik und werden z. B. genutzt, um zu überprüfen, ob eine Transformation – also die Einführung eines Gens in eine neue Zelle – erfolgreich war.

Quelle [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

## Anhang

#### Markov-Chain-Monte-Carlo-Algorithmen

Markov-Chain-Monte-Carlo-Verfahren (kurz MCMC-Verfahren; seltener auch Markov-Ketten-Monte-Carlo-Verfahren) wird angewendet, um die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten zukünftiger Ereignisse anzugeben. Dieses Verfahren steht für eine Klasse von Algorithmen, die zufällige Stichproben aus Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Monte-Carlo-Algorithmus) ziehen. Dies geschieht auf der Basis der Konstruktion einer Markov-Kette, welche die erwünschte Verteilung als ihre stationäre Verteilung aufweist. Der Zustand der Kette nach einer großen Zahl von Schritten wird dann als Stichprobe der erwünschten Verteilung benutzt. Die Qualität der Stichprobe steigt mit zunehmender Zahl der Schritte. Wird angewendet, um die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten zukünftiger Ereignisse anzugeben.

Quelle [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

#### Matrixpotential

Das Matrixpotential umfasst alle Kräfte, mit denen Wasser von der Bodenmatrix, d.h. der Gesamtheit der Bodenpartikel,

## Glossar

festgehalten wird. Es entspricht im Prinzip der Bodenwasserspannung.

Quelle [www.chemie-schule.de](http://www.chemie-schule.de)

### Mesofauna

Als Mesofauna bezeichnet man bodenlebende Tiere, deren Körperdurchmesser zwischen 0,1 mm und 2 mm liegt. Zur Mesofauna gehören Milben, Collembolen, Beintaster, Enchytraeen, Pseudoskorpione, Doppelschwänze.

Quelle Blume, H.-P. et al. (2010) Lehrbuch der Bodenkunde (16. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Mesokosmen

In der naturwissenschaftlichen Forschung bezeichnet man eine teilgeschlossene, experimentelle, im Freiland stehende Anlage als Mesokosmos.

Quelle <https://analytik.news/glossar/mesokosmos.html>

### Metabarcoding

DNA-Metabarcoding wird eingesetzt, um bis zu tausende Individuen bis auf Artebene gleichzeitig zu bestimmen. Dies geschieht durch die parallele Sequenzierung kleiner standardisierter Genfragmente (dem

DNA-Barcoding-Fragment). Die erhaltenen DNA-Sequenzen werden mithilfe bioinformatischer Algorithmen sortiert und durch den Abgleich mit der Referenzdatenbank den verschiedenen Arten zugeordnet. Im Gegensatz zur herkömmlichen DNA-Barcodierung kann dies mit der gesamten Artengemeinschaft eines Habitats durchgeführt werden, um die Artenvielfalt nahezu vollständig zu erfassen. Daneben können auch semiquantitative Aussagen zur Häufigkeit von Arten auf der Untersuchungsfläche gemacht werden.

Quelle [www.pflanzenforschung.de](http://www.pflanzenforschung.de)

### Metabolite (polare, semipolare)

Der Metabolit ist ein Zwischenprodukt in einem meist biochemischen Stoffwechselvorgang. Stoffwechselwege bestehen aus Serien enzymatischer Umsetzungen, die spezifische Produkte liefern. Diese Zwischenprodukte (jedem Reaktionsschritt kommt ein Substrat und ein Produkt zu) werden als Metaboliten bezeichnet. Polare Metabolite sind zum Beispiel Aminosäuren, Nukleotide, Kofaktoren und Verbindungen des zentralen Stoffwechsels.

Quelle [www.chemie.de](http://www.chemie.de)

### Metagenom / Metagenomik

Das Metagenom stellt die Gesamtheit der

genomischen Information (meist Mikroorganismen) eines Lebensraums zum Zeitpunkt der Untersuchung dar. Bei metagenomischen Verfahren wird daher die Gesamtheit der genomischen DNA aus einer Umweltprobe als Ausgangspunkt für die Sequenzierung verwendet. Sie haben das ambitionierte Ziel, ein Biotop soweit wie möglich hinsichtlich der darin vorhandenen (Mikro-)Organismen zu charakterisieren. Realistisch betrachtet können sie nur Bruchteile der Gesamtheit der genomischen DNA in komplexen Umweltproben zutage fördern.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Metaproteom

Metaproteomik ist ein Bereich der Proteomik, der sich mit der Untersuchung des gesamten Proteingehalts einer Gemeinschaft von Organismen in einer Umweltprobe befasst. Ähnlich wie beim Metabarcoding für DNA analysiert die Metaproteomik die Proteine, die in einer Probe vorhanden sind, um Informationen über die funktionelle Zusammensetzung und Aktivität der Mikroorganismen in diesem Lebensraum zu erhalten. Die Metaproteomik verwendet hochentwickelte Massenspektrometrie-Techniken, um die Proteine in einer Probe zu identifizieren und zu quantifizieren. Indem sie die Proteine

analysiert, die von den verschiedenen Organismen in einer Gemeinschaft exprimiert werden, kann die Metaproteomik Einblicke in die Stoffwechselwege, die Ökologie und die Interaktionen innerhalb der Gemeinschaft bieten.

Quelle Nach Harald Kellner

### Metatranskriptom

Funktionale Einblicke in mikrobielle Gemeinschaften. Als Bindeglied zwischen Genomforschung und Proteomforschung kann die Transkriptomik die fehlende Information zwischen einem stabilen und einem veränderten Zustand in der Zelle beleuchten. Durch die Untersuchung aller vorhandenen Transkripte in einer mikrobiellen Gemeinschaft, Metatranskriptom-Analyse genannt, können funktionelle Veränderungen sowie Verschiebungen in der taxonomischen Gemeinschaftsstruktur infolge von Umwelteinflüssen abgeschätzt werden.

Quelle [www.ufz.de](http://www.ufz.de)

### Methanogene

Als Methanbildner oder Methanogene werden Mikroorganismen bezeichnet, bei deren Energiestoffwechsel Methan gebildet wird (Methanogenese). Sie sind strikt anaerob und stehen am Ende der Kette des anaeroben Stoffabbaus. Das gebildete Methan stammt zu etwa 70% aus Acetat, der Rest aus H<sub>2</sub> und

CO<sub>2</sub>. Alle methanogenen Mikroorganismen sind miteinander verwandt und gehören zu den Archaea. An natürlichen Standorten sind Methanogene meist vergesellschaftet mit gärenden Bakterien, die sie mit Gärungsprodukten H<sub>2</sub> oder Acetat versorgen.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Methanotrophe Bakterien

Methanotrophe Bakterien sind aerob und verwenden Methan als Elektronendonator. Methan wird über Methanol, Formaldehyd und Formiat zu CO<sub>2</sub> oxidiert.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Mikrobiom

Gesamtheit aller Mikroorganismen eines Lebensraumes.

Quelle <https://www.dzif.de/>

### Mikrobiota

Mikrobiota bezeichnet die Gesamtheit aller Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Viren). Das Mikrobiom umfasst die Mikrobiota und zum Beispiel auch ihre Gene, Stoffwechselprodukte und Umweltbedingungen. Die beiden Begriffe werden oft synonym verwendet.

Quelle [www.bzfe.de](http://www.bzfe.de)

## Anhang

### Mikrofauna

Als Mikrofauna bezeichnet man bodenlebende Tiere, deren Körperdurchmesser kleiner als 0,1 mm ist. Zur Mikrofauna gehören Protozoen, Fadenwürmer (Nematoden).

Quelle Blume, H.-P. et al. (2010) Lehrbuch der Bodenkunde (16. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Mikroklima

Kleinklima; das Klima auf kleinstem Raum, z. B. in der bodennahen Luftschicht an der Süd- oder Nordseite eines Baumstammes oder unter lockerer Baumrinde.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Mikroben

Mikroorganismen.

### Mineralisation (Mineralisierung)

Abbau abgestorbener organischer Substanz zu anorganischen Stoffen durch die Tätigkeit von Mikroorganismen (Mineralisierer). Diese legen einen Teil der Stoffe im Körper fest (Immobilisation), ein Teil bleibt für höhere Pflanzen nutzbar.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

## Glossar

### Mineralisierungsrate

Rate der Freisetzung anorganischer Stoffe (wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen) aus organischen Materialien durch die Tätigkeit von Mikroorganismen.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Mineralosphäre

Mineraloberflächen werden von einer Vielzahl an Mikroorganismen besiedelt. Somit entsteht ein einzigartiger Lebensraum, die sogenannte Mineralosphäre.

Quelle <https://bodenbiologie.uni-hohenheim.de/>

### mobile genetische Elemente

Auch transponierbare Elemente [von latein. transponere = versetzen] genannt, sind DNA-Bereiche, die ihre Position innerhalb des Genoms ändern können (Transposition).

Quelle [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

### molekularbiologisch

Beschäftigung mit der Struktur und Funktion biologischer Makromoleküle; befasst sich als solche mit der Struktur, Biosynthese und Funktion von DNA und RNA auf

molekularer Ebene und untersucht, wie diese untereinander und mit Proteinen interagieren.

Quelle [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

### Monooxygenase

Eine Monooxygenase ist ein Enzym, das an der Einführung eines einzelnen Sauerstoffatoms in eine organische Verbindung beteiligt ist. Dieser Prozess wird auch als Monooxygenierung oder Monooxygenierungsreaktion bezeichnet. Monooxygenasen sind eine Art von Oxidoreduktasen, die in der Lage sind, Sauerstoff (O<sub>2</sub>) zu verwenden, um eine Vielzahl von Substraten zu oxidieren.

Monooxygenasen katalysieren die Reaktion, indem sie das Sauerstoffmolekül in Form von zwei Wasserstoffatomen (H) und einem Sauerstoffatom (O) auf das Substrat übertragen. Das Sauerstoffatom wird in das Substrat eingefügt, während die beiden Wasserstoffatome mit Elektronen und Protonen aus einem Cofaktor wie NAD(P)H oder Flavoproteinen reagieren.

Diese Enzymklasse spielt eine wichtige Rolle in zahlreichen biologischen Prozessen, einschließlich des Metabolismus von Arzneimitteln, der Biosynthese von Hormonen und Neurotransmittern, des Abbaus von Umweltschadstoffen und der Synthe-

se von wichtigen Molekülen in lebenden Organismen. Monooxygenasen sind auch in der biotechnologischen Industrie von Interesse, da sie bei der Herstellung von pharmazeutischen Wirkstoffen, Feinchemikalien und anderen industriellen Verbindungen eingesetzt werden können.

Quelle Nach Harald Kellner

### Monte-Carlo-Algorithmen

eine Methode, um Unsicherheiten in mathematischen Simulationsmodellen zu prüfen. Dafür werden Werte für Modellparameter nach einem Zufallsmuster aus Häufigkeitsverteilungen entnommen. Aus den Simulationsläufen lässt sich die Wahrscheinlichkeit für die Ausprägung bestimmter ökologischer Größen erschließen.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Monitoring

Regelmäßige oder kontinuierliche Beobachtung von biotischen und/oder abiotischen Komponenten der Umwelt, um schädliche Einflüsse oder Stoffe zu erkennen und zu quantifizieren.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Monokultur

Pflanzenbestand, in dem nur eine Pflanzenart angebaut wird, z. B. künstlicher Fichtenwald, Reisfeld, Apfelplantage.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Multifunktionalität

Auf Landschaften bezogen, sind es viele verschiedene Funktionen, die die Landschaft gleichzeitig erfüllt. Haben diese Funktionen einen ökologischen, kulturellen oder ökonomischen Stellenwert für die Gesellschaft, spricht man auch von Ökosystemleistungen.

Quelle [www.esp-de.de](http://www.esp-de.de)

### Mykorrhiza

Das Wort Mykorrhiza bedeutet „Pilzwurzel“ und beschreibt somit diese Interaktion bzw. Symbiose von Pilzen mit Pflanzen sehr gut. Alle Mykorrhiza fördern das Wachstum der Pflanze durch eine bessere Versorgung mit Wasser und Nährstoffen. Über 90% aller Landpflanzen sind in der Lage mit geeigneten Pilzpartnern Mykorrhiza auszubilden. Die Pilze profitieren von den Photosyntheseprodukten der Pflanze, wobei bis zu 30% des netto fixierten Kohlenstoffs an die Wurzelsymbionten abgegeben werden. Je nachdem,

ob der Pilz in die Zellen der Wirtspflanze eindringt oder im Gewebe zwischen den Pflanzenzellen wächst, unterscheidet man zwischen Endomykorrhiza oder Ektomykorrhiza.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### - Ektomykorrhizapilze

Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen, bei welcher die Pilzhyphe zwischen den Zellen der Wurzel wachsen. Die Pilze, die Ektomykorrhiza bilden, sind keine obligaten Symbionten, sondern Saprotrophe, die leicht auch ohne Wirt zu kultivieren sind. Kommt hauptsächlich bei Waldbäumen vor und ist somit besonders wichtig für das Ökosystem des Waldes. Ein Baum kann mit mehreren Pilzen gleichzeitig Mykorrhiza bilden und jeder Pilz verbindet über sein Mycel im Boden mehrere Baumpartner miteinander.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### - arbuskuläre Mykorrhizapilze

Sie sind die verbreitetsten und ältesten Mykorrhizapilze und leben im Erdreich. Die meisten krautigen Pflanzen bilden Endomykorrhiza-Symbiosen mit Pilzen. Die Pilze sind obligate Symbionten und

## Anhang

damit für ihr Überleben auf den Wirt angewiesen. Nachdem der Pilz in die Pflanzenzelle eingedrungen ist, wächst er intrazellulär und bildet Strukturen aus, die an kleine Bäumchen (Arbuskel) erinnern. An dieser vergrößerten Oberfläche erfolgt der Stoffaustausch zwischen Pilz und Pflanze.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Mykotoxin

Pilze können als Sekundärstoffwechselprodukte Mykotoxine bilden und ausscheiden. Als Beispiel greifen Schimmelpilze als Vorratsschädlinge die Nahrungsreserven der Menschen an und können auch gesundheitliche Schäden verursachen.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

## N

### neophytisch

Aus anderen Regionen eingeführte Pflanzenarten, die fester Bestandteil der einheimischen Flora geworden sind.

Quelle [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

## Glossar

### Nekrophagen

Tiere, die von den Leichen anderer Tiere leben, z. B. der Aaskäfer *Nicrophorus*. Auf toten Organismen lebende Pflanzen werden als Nekrophyten bezeichnet. Nekrophagen sind wichtige ökologische Bindeglieder im Stoffkreislauf, da sie die Nährstoffe toter Organismen für den Abbau durch Bakterien und Pilze verfügbar machen.

Quelle www.spektrum.de

### Nekrose

Gewebetod; Absterben einzelner Gewebeteile des tierischen oder pflanzlichen Organismus.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### nekrotrophe Pilze

Pilze, die sich parasitär von den abgestorbenen Zellen ihres Wirtes ernähren und sich auf den toten Zellen fortpflanzen.

Quelle www.pflanzenforschung.de

### nifH-Gen

Die nif-Gene sind Gene, die für Enzyme kodieren, die an der Fixierung von elementarem, molekularem Stickstoff ( $N_2$ ) in der At-

mosphäre beteiligt sind.  $N_2$  wird dabei in reduzierte Verbindungen (Ammonium) umgewandelt, das dann von Tieren und Pflanzen verwendet werden kann. In der Natur erfolgt die Fixierung durch Mikroorganismen und ist ein Prozess, der sehr viel Energie benötigt. Die technische Fixierung von  $N_2$  ist als so genanntes „Haber-Bosch Verfahren“ bekannt.

Quelle www.wikipedia.de

### Nischenaufteilung / Nischendifferenzierung

Aufteilung von lebenswichtigen Umweltgegebenheiten (Ressource) durch zwei oder mehr Arten entlang der Achse einer ökologischen Nische, vor allem als Folge von Konkurrenzwirkungen.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Nischenbreite

Unter Nischenbreite versteht man die Summe der verschiedenen Ressourcen, die von einer Art genutzt werden. Arten mit großer Nischenbreite nennt man Generalisten, solche mit geringer Nischenbreite Spezialisten.

Quelle www.spektrum.de

### Nitratreduktase

(dissimilatorisch, assimilatorisch)

Nitratreduktasen sind Enzyme, die die Re-

duktion von Nitrat zu Nitrit katalysieren. Nitrat ist unter aeroben Bedingungen die häufigste N-Quelle. Das Nitrat wird in die Zelle aufgenommen und durch zwei lösliche Enzyme zu Ammoniak reduziert. Eines davon ist die Nitrat-Reduktase. Dabei spricht man von assimilatorischer Nitratreduktion. Ammonium reprimiert die Synthese dieser Enzyme. Bei der anaeroben Atmung hingegen kommt die membrangebundene Nitratreduktion zum Einsatz (dissimilatorisch), die der Energiegewinnung dient und durch Sauerstoff reprimiert wird.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

## O

### Offenland / offene Landschaft

Landschaft, die nicht aus zusammenhängenden, großflächigen Waldungen besteht.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### ökologische Nische

Der Begriff wird in unterschiedlicher Bedeutung gebraucht. (1) (engl. *spatial niche, habitat niche*) der Raum, in dem eine Art lebt („Adresse“); in diesem Sinne definieren nur wenige Ökologen die Nische. (2) die funktionale Bedeutung, das Wirkungs-

feld, die Stellung einer Art im Ökosystem (als „Beruf“); hier sind vor allem trophische Beziehungen gemeint (engl. *trophic niche*). (3) Minimalumwelt, (4) (engl. *fundamental niche, Hutchinsonian niche*) als fundamentale Nische nach Hutchinson der Teil eines Nischenraumes, in dem eine Art leben kann („*population-persistence niche*“). Der Nischenraum wird dabei abstrahiert als ein aus Dimensionen (ökologischen Faktoren, z. B. Raum, Zeit, Nahrung, Temperatur) zusammengesetztes n-dimensionales Gebilde, ein „Hypervolumen“ aufgefasst. Von dieser Fundamentalnische wird die bei biotischen Interaktionen in einem konkreten Ökosystem „realisierte“ Nische unterschieden. (5) das Konzept der Nutzung von Ressourcen führt zu der Modellvorstellung von einer dynamischen Nische („*resource-utilization niche*“). Ausgehend von dieser Nischendefinition lassen sich Nischenbreite und Nischenüberlappung berechnen. Als leere N. wird eine nicht ausgebildete, nicht „besetzte“ Nische bezeichnet. -> eingeschlossene Nische.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Ökosystemleistungen

bezeichnet die „Nutzenstiftungen“ bzw.

„Vorteile“, die Menschen von Ökosystemen beziehen. Beispiele für Ökosystemleistungen sind das Bestäuben von Obstblüten durch Insekten, die Bereitstellung von nutzbarem Bewässerungs- und Trinkwasser durch natürliche Filtration von Niederschlag, die Reproduktion von Fischpopulationen als Nahrungsmittel sowie die Bereitstellung von frischer Luft und einer ansprechenden Umwelt für Freizeit, Erholung und ästhetische Erbauung.

Quelle www.biologie-seite.de

### Ökosystemfunktionen

ein allgemeiner Begriff für jede Interaktion und jeden Prozess in einem Ökosystem.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Ontologie / ontologiebasierte Pipeline

Ontologien sind im Datenmanagement eine Sammlung einer Menge von Begriffen und der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen inkl. bestehender Regeln in einem bestimmten Wissensbereich, wie z. B. die physikalischen Größen und deren Einheiten, inkl. deren Umrechnungen (1 m = 100 cm) und Verknüpfungen (km/h). Diese Informationen werden formal zusammengestellt und sind maschinenverarbeitbar. Als Pipeline wird hier

## Anhang

eine kettenartige Verknüpfung von computerbezogenen Befehlen und Arbeitsabläufen verstanden.

Quelle Nach Andreas Ostrowski

### organische Substanz / organic matter

In der Bodenökologie die Biomasse lebender Organismen (ohne Wurzeln über 2 cm Durchmesser und ohne höhere Tiere), die Nekromasse toter Organismen und die aus der Nekromasse entstandenen organischen Bestandteile des Bodens. Letztere umfassen als organische Substanz des Bodens (engl. *soil organic matter, SOM*) zelluläre Komponenten und aus Zellen von Organismen entstandenen Humus.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### (flüchtige) organische Verbindungen

Sammelbezeichnung für die von Kohlenstoff abgeleiteten chemischen Verbindungen (auch als organische Stoffe, organisches Material bezeichnet), deren Eigenschaften, Strukturen und Umsetzungen Gegenstand der organischen Chemie sind.

Unter flüchtigen organischen Verbindungen (engl. Abk. VOC: *Volatile Organic Compounds*) versteht man gas- und dampf-

## Glossar

förmige Stoffe organischen Ursprungs in der Luft. Dazu gehören zum Beispiel Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren. Es gibt zahlreiche organische Verbindungen, die in biologischen Prozessen gebildet werden.

Quelle [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

### Oxygenierungsreaktionen

Oxygenierungsreaktionen sind chemische Reaktionen, bei denen Sauerstoff (O<sub>2</sub>) in eine Verbindung eingefügt wird. Diese Reaktionen führen zur Bildung von neuen sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppen in organischen Molekülen oder zur Oxidation von Verbindungen.

Es gibt verschiedene Arten von Oxygenierungsreaktionen, darunter:

1. Hydroxylierung: Bei dieser Reaktion wird ein Hydroxyl-Radikal (-OH) in ein Molekül eingeführt, typischerweise durch die Übertragung eines Sauerstoffatoms aus einem Sauerstoffträger wie Wasser (H<sub>2</sub>O) oder Peroxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

2. Epoxidierung: Hierbei wird ein dreigliedriger Sauerstoffring (Epoxid) in das Molekül eingefügt. Dies geschieht oft durch die Reaktion eines Alkens mit einem

Oxidationsmittel wie Peroxycarbonsäuren oder Peroxiden.

3. Oxidation: Diese Reaktion führt zur Zunahme des Oxidationszustands eines Moleküls, oft durch die direkte Übertragung von Sauerstoffatomen oder durch die Entfernung von Wasserstoffatomen.

Oxygenierungsreaktionen sind in vielen biologischen Prozessen wie der Atmung und der Biosynthese von wichtigen Molekülen von großer Bedeutung. Sie werden auch in der organischen Synthese und der Herstellung von Pharmazeutika, Agrochemikalien und feinen Chemikalien eingesetzt.

Quelle Nach Harald Kellner

## P

### Parthenogenese

eingeschlechtliche Fortpflanzung. Entstehung von Nachkommen aus unbefruchteten Eiern, wobei die Zygote durch Verschmelzung von Kernen gebildet wird, die von derselben Meiose stammen. Aus der Zygote entstehen entweder Weibchen oder Männchen.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4.Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### phytopathogene Pilze

Pilze, die in eine intakte Pflanzenzelle eindringen u. eine Infektion der Pflanze hervorrufen.

Quelle Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Peroxidase

Peroxidasen sind Enzyme, die in der Lage sind, Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) zu verwenden, um eine Vielzahl von Substraten zu oxidieren oder zu reduzieren. Diese Enzyme gehören zur Klasse der Oxidoreduktasen und katalysieren verschiedene Reaktionen unter Verwendung von Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel.

Peroxidasen katalysieren typischerweise Reaktionen, bei denen Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel wirkt, um andere Substrate zu oxidieren, wobei Wasser als Nebenprodukt entsteht. Diese Enzyme spielen eine wichtige Rolle in verschiedenen biologischen Prozessen, einschließlich des Abbaus von toxischen Verbindungen, des Schutzes vor oxidativem Stress und der Abwehr von Krankheitserregern.

Quelle Nach Harald Kellner

### Pflanzenpathogene

sind Pflanzenparasiten, die ihre Wirtspflanze letztendlich zum Absterben bringen.

Quelle Nach Michael Bonkowski

### Pflanzenparasiten

Obligate Pflanzenparasiten sind solche, die zum Überleben unbedingt auf ihre Wirtspflanze angewiesen sind. Fakultative (hemibiotrophe) Pflanzenparasiten können sich sowohl als Zersetzer von abgestorbenen Pflanzen ernähren, sie können aber auch eine lebende Wirtspflanze infizieren.

Quelle Nach Michael Bonkowski

### phagotroph

Bezeichnung für niedere Pflanzen wie Schleimpilze (Myxomycetes) und für Tiere, die sich durch Aufnahme fester Partikel in das Zellplasma (-> Phagozytose) ernähren.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4.Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Phänologie (phänologisch)

wörtlich übersetzt Erscheinungslehre. Wissenschaft, die den Einfluss von Klima und Witterung auf die Wiederkehr des jährlichen Erscheinens pflanzlichen und tierischen Lebens behandelt, denen aber auch endogene Rhythmen und Steuerungsmechanismen zugrunde liegen können. Zu den relevanten Phänomenen gehören bei Pflanzen z.B. Daten der Knospung, Blattbildung, Blüte, Frucht.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4.Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### phänotypische Plastizität

Eigenschaft von Organismen, unter verschiedenen Umweltbedingungen unterschiedliche Merkmale auszubilden, obwohl sie genetisch identisch sind.

Quelle [www.mpg.de](http://www.mpg.de)

### Photosynthese

Ein biochemischer Prozess, bei dem Kohlenstoffdioxid und Wasser durch Sonnenlicht in grünen Pflanzen und Cyanobakterien zu Sauerstoff und Zucker umgewandelt wird.

Quelle Zitation aus dem Abstractband der Biodiversitäts-Exploratorien, 2016 -2019

### phototroph

Phototrophie ist die Nutzung von Licht als Energiequelle durch Lebewesen. Organismen, die dazu fähig sind, werden als phototroph (Adjektiv) oder als Phototrophe (Substantiv im Plural) bezeichnet.

Quelle [www.bionity.com](http://www.bionity.com)

### Phytohormone

Phytohormone sind biochemisch wirkende pflanzeneigene organische Verbindungen, die als Signalmoleküle Wachstum und Entwicklung der Pflanzen regulieren. Weil sie nicht alle Kriterien echter Hormone erfüllen, werden sie auch als Wachstumsregulatoren bezeichnet.

Quelle [www.pflanzenforschung.de](http://www.pflanzenforschung.de)

## Anhang

### Phytometerpflanzen/-versuch

Als Phytometer werden Pflanzen bezeichnet, die genetisch homogen und gleichaltrig sind, also z. B. aus den Samen einer Mutterpflanze stammen, und die als Messinstrumente für Umweltbedingungen gelten können.

Quelle Zitation aus dem Abstractband der Biodiversitäts-Exploratorien, 2016 -2019

### Pilzhyphen

Bei Pilzhyphen handelt es sich um mikroskopisch dünne, fadenähnliche Geflechtstrukturen, die der Ausbreitung des Pilzes im Wirtsgewebe dienen. Diese durchziehen meist schon das ganze Nährmedium, bevor der Pilz dann austritt und an der Oberfläche als Fruchtkörper oder Konidienträger sichtbar wird.

Quelle [www.pflanzenforschung.de](http://www.pflanzenforschung.de)

### Plenterwälder

Sich stetig verjüngende Dauerwälder, in welchen Bäume aller Dimensionen kleinstflächig vermischt sind. Im Plenterbetrieb werden einzelne Bäume gefällt und so ein permanenter Hochwald geschaffen.

Quelle [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

## Glossar

### Populationsdynamik

alle Wandlungen der Strukturelemente einer Population, z. B. Abundanz, Mortalität Verhalten, Alterstruktur. Populationsdynamik umfasst sowohl den Verlauf der Populationsänderungen als auch den Komplex ihrer Ursachen.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Primärproduzenten

Lebewesen, die anorganische Grundstoffe über Photosynthese oder Chemosynthese in organische Bindung überführen und sie damit auf ein höheres Energieniveau heben.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Proteom

Proteom bezeichnet die Gesamtheit der (exprimierten) Proteine, die durch das Genom einer Zelle oder eines Organismus kodiert werden.

**Quelle** www.spektrum.de

### Protisten

Die Protisten sind eine Gruppe nicht näher verwandter mikroskopischer Lebewesen, die

lange als Taxon (systematische Einheit) betrachtet wurde. Es handelt sich um einzelne Lebewesen oder Mikroorganismen, die einen echten Zellkern besitzen.

Cercozoa und Endomyxa gelten als dominante Gruppen von Protisten in Boden-Ökosystemen. Sie sind morphologisch und ökologisch äußerst vielfältig und umfassen nackte Amöben, Flagellaten und Amöboflagellaten, die autotroph, heterotroph und parasitisch sein können. Von den meisten terrestrischen Vertretern ist bekannt, dass sie sich von Bakterien ernähren, aber einige Taxa unter ihnen ernähren sich von Eukaryoten wie Pilzen und Algen.

**Quelle** www.wikipedia.de, www.ncbi.nlm.nih.gov

**Pyrolyse-Feldionisations-Massenspektrometrie**  
Py-FIMS: Pyrolyse-Feldionisations-Massenspektrometrie zur temperaturaufgelösten Analyse der organischen Inhaltsstoffe in Böden, Pflanzenmaterial und Kunststoffen.

**Quelle** www.auf.uni-rostock.de

## Q, R

### räumliche Modellierung

Eine Methode oder eine Gruppe analytischer Verfahren zur Ableitung von Informationen über räumliche Beziehungen zwi-

schen geographischen Merkmalen.

**Quelle** support.esri.com

### Redundanz

bezeichnet in Ökosystemen das Vorhandensein von Kapazität, die im betrachteten Moment nicht für Funktionen oder Prozesse benötigt wird. Bei Veränderungen oder Störungen können redundante Arten auch wichtige Funktionen übernehmen.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Residuen

Residuen sind die Differenz zwischen den tatsächlichen beobachteten Werten und den vorhergesagten Werten einer statistischen Analyse. Sie werden verwendet, um zu überprüfen, ob die Annahmen einer statistischen Analyse erfüllt sind und um Ausreißer oder fehlerhafte Datenpunkte zu identifizieren.

**Quelle** www.novostat.com

### Resistenz

Widerstandsfähigkeit der Organismen gegen Schaderreger oder sonstige extreme Umwelteinflüsse oder Stressfaktoren (wie Hitze, Kälte, Gifte).

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### RGB-Bild

Luftbild, welches über fernerkundliche Methoden in den Spektralbereichen Rot, Grün und Blau aufgenommen wird.

**Quelle** https://www.fe-lexikon.info/

### Rhizosphäre

Die Rhizosphäre ist der Bereich des Bodens, der unmittelbar durch eine lebende Wurzel beeinflusst wird.

**Quelle** spektrum - lexikon der Biologie, modifiziert

### (soziologische) Risikotheorie

Die deutsche Risikosoziologie ist stark gekoppelt mit gesellschaftlichen Ereignissen der 1980er Jahre. Die damalige ökologische Wende durch Tschernobyl, dem Ozonloch, etc. haben zu einem veränderten Umgang mit Risiken geführt. Damals veröffentlichten der Soziologe Ulrich Beck sein Buch „Risikogesellschaft“ sowie der Soziologe Luhmann die „Ökologische Kommunikation“. Daraus ergaben sich drei große Forschungsbereiche, so Grundmann (1999): die Betrachtung von sozialen Bewegungen; die Wahrnehmung von Risiken; theoretische Einordnung und normative Orientierung.

**Quelle** Grundmann, R. (1999). Wo steht die Risikosoziologie? Zeitschrift für Soziologie, 28(1), 44–59., modifiziert nach Sophie Peter

## Anhang

## S

### saprotroph/Saprophyt/Saprobiont

Bezeichnung für Organismen (Bakterien, Pilze, höhere Pflanzen, Tiere), die tote organische Substanzen als Nahrung nutzen, indem sie organische Verbindungen in ihre elementaren Grundbausteine zerlegen. Bakterien, Pilze und Oomyceten scheiden hierzu Enzyme aus, die die Moleküle außerhalb der Zelle verdauen, sodass die Nährstoffe dann durch die Zellwand aufgenommen werden können. Zersetzer treiben daher alle Nährstoffkreisläufe auf der Erde an. Ohne Nährstoffrecycling durch Zersetzer würden die Nährstoffe in organischer Substanz gebunden bleiben und stünden z. B. für das Wachstum von Pflanzen nicht zur Verfügung.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Semantische Annotation

Um die Zusammenarbeit von Menschen und Computern zu erleichtern, werden Informationen wohldefinierte Bedeutungen zugeordnet. Die Informationen liegen meist als digitale Dokumente, wie bspw. Webseiten, Daten in Datenbanken, Videos oder Audiodateien vor. Die Bedeutungen, auch Semantik genannt, werden formalisiert festgehalten. Diese Formalisierungen wieder-

rum werden Metadaten genannt und liegen in maschinenverarbeitbarer Form vor. Als „Semantische Annotation“ bezeichnet man den Prozess des Hinzufügens von semantischen Metadaten zu Dokumenten.

**Quelle** Nach Andreas Ostrowski

### Sequenzierung/DNA-Sequenzierung

Ein molekularbiologisches Analyseverfahren, bei dem die Reihenfolge der molekularen Bausteine der DNA (Nukleotide) bestimmt wird.

**Quelle** https://flexikon.doccheck.com/

### 16S-rRNA Gen-Sequenzierung

Sequenzvergleiche der 16S-rRNA-Gene bei Prokaryonten: Sequenzveränderungen werden als Maß der evolutionären Distanz zwischen zwei Organismen verwendet. Die ribosomale RNA (rRNA) bietet dabei Vorteile: sie ist universell verbreitet, hat dieselbe Funktion in jeder Zelle, unterliegt einem ähnlichen Selektionsdruck, ist strukturell und in der Sequenz hoch konserviert. Die 16S-rRNA-Gene bakterieller Isolate werden sequenziert und deren Sequenz mit den rRNA-Sequenzen anderer Organismen aus Datenbanken verglichen und mit speziellen

## Glossar

Algorithmen die am nächsten verwandten Organismen festgestellt.

**Quelle** Fuchs G. (2014): Allgemeine Mikrobiologie (9. Aufl.), Thieme Verlag

### Simpson-Index

Der Simpson-Index ist ein Diversitätsindex in der Ökologie. Simpsons Diversitätsindex (D) ist ein Maß für den Artenreichtum und die relative Häufigkeit der Arten. Der Simpson-Index ist auch ein Maß für die Dominanz. D liegt normalerweise zwischen 0 und 1. Je näher D bei 1 liegt, desto höher ist die Diversität.

**Quelle** www.geomar.de

### Shannon-Index

Der Shannon-Wiener-Index bildet die Diversität einer Lebensgemeinschaft ab. Er steigt mit zunehmender Artenzahl und zunehmender Gleichverteilung der relativen Abundanz der einzelnen Arten an und gibt den Informationsgehalt einer Artengemeinschaft an.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Solitärbienen

Die meisten Bienenarten leben – wie auch

die meisten Wespenarten – alleine. Es sind solitäre Bienen beziehungsweise Wespen. Es gibt keine hilfreichen Arbeiterinnen, sondern nur Männchen und Weibchen, von denen nur die Weibchen Nestbau und Brutpflege betreiben. In der Erde oder Ritzen in Holz oder Lehmgefach werden die mit Pollen verproviantierten Eier in einzelnen Kammern deponiert.

**Quelle** www.nabu.de

### Soundscape-Ökologie

untersucht, inwieweit ökologische Prozesse auf Landschaftsebene durch die Variabilität der akustischen Vielfalt erklärt werden können.

**Quelle** www.biodiversity-exploratories.de

### soziodemografisch

soziodemografische Merkmale sind z. B. Alter, Geschlecht, Bildung, und Religionszugehörigkeit.

**Quelle** www.gesis.org

### stochastisch

vom Zufall bedingt, vom Zufall abhängig. In ökologischen Systemen spielt Stochastizität auf vielen Ebenen eine Rolle: genetisch, in Populationen, in der Umwelt.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Strukturgleichungsmodelle

Mit einem Strukturgleichungsmodell (engl.: *structural equation modeling*, kurz SEM) können mehrere komplexe Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen gleichzeitig analysiert werden. Im Gegensatz zu einfacheren Modellen wie der linearen Regression kann man beim SEM mehrere abhängige und unabhängige Variablen einbeziehen.

Strukturgleichungsmodelle helfen, Theorien zu testen oder zu entwickeln. Dadurch kann herausgefunden werden, ob Annahmen über bestimmte Zusammenhänge in der Realität auch wirklich stimmen.

**Quelle** studyflix.de

### Sulfonamid

Sulfonamide sind eine Gruppe von Antibiotika, die gegen viele grampositive und gramnegative Bakterien wirksam sind. Sie greifen wie Trimethoprim die Folsäuresynthese der Bakterien an. Diese Verbindungen werden nicht von Mikroorganismen, sondern chemisch hergestellt und zählen somit zur Gruppe der antibakteriellen Chemotherapeutika.

**Quelle** www.msmanuals.com

### Symbiose

Beschreibt das enge Zusammenleben zwei-

er verschiedener Organismen, das im Allgemeinen für beide Partner lebensnotwendig geworden ist.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### symbiotroph

sich über Symbiose ernährend.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

## T

### Taxon

Als Taxon wird in der Biologie eine Einheit bezeichnet. Dieser Einheit werden anhand bestimmter Kriterien eine Gruppe von Lebewesen zugeordnet.

**Quelle** www.wikipedia.de, modifiziert

### terrestrisch

das Land betreffend.

**Quelle** Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Terrestrisches Laserscanning

Terrestrisches Laserscanning (TLS) ist eine bodengestützte Vermessungstechnik, die die hochauflösende Aufzeichnung und Visualisierung von komplexen Strukturen und topographischen Oberflächen aller Art erlaubt. Grundlage

dieser optischen, berührungslosen Vermessungsmethodik sind laserbasierte Entfernungsmessungen zwischen dem Messgerät und einem Messobjekt, die auch als ‚LiDAR‘ (*Light Detection And Ranging*) bezeichnet werden. Durch direkte Ablenkung des Laserimpulses wird ein rasterartiges Abtasten des Beobachtungsbereiches erreicht, das eine flächenhafte und räumliche Aufzeichnung der Zielobjekttoberfläche erlaubt.

**Quelle** https://www.bgr.bund.de/

### Tonfraktion

Körnungsgrößenklasse <2µm (Tonminerale, Eisenoxide).

**Quelle** www.wikipedia.de

### topographischer Feuchteindex (TWI)

Der TWI beschreibt das reliefbedingte Abflussverhalten und gilt als Maß für die reliefbedingte Bodenfeuchte. Er ist eine Funktion der Neigung und des Wassereinzugsgebietes.

Der TWI wurde auf Basis des Digitalen Geländemodells mit einer Gitterweite von 10m (DGM10) abgeleitet.

**Quelle** https://flf.julius-kuehn.de/

### Transkriptom

Das Transkriptom ist die Summe der zu

einem bestimmten Zeitpunkt in einer Zelle transkribierten, das heißt von der DNA in RNA umgeschriebenen Gene, also die Gesamtheit aller in einer Zelle hergestellten RNA-Moleküle.

**Quelle** www.pflanzenforschung.de

### Translokation

Unter Translokation versteht man allgemein die Umlagerung bzw. Verlagerung einer Struktur oder eines Stoffs von einem Ort an einen anderen Ort.

**Quelle** https://flexikon.doccheck.com

### Trimethoprim

Trimethoprim ist ein Antibiotikum, das in der Behandlung von bakteriellen Infektionen eingesetzt wird. Es hemmt das Wachstum von Bakterien durch den Angriff auf den Folsäurestoffwechsel, wodurch die Synthese von DNA, RNA und Proteinen gestört wird. Diese Verbindungen werden nicht von Mikroorganismen, sondern chemisch hergestellt und zählen somit zur Gruppe der antibakteriellen Chemotherapeutika.

**Quelle** www.gelbe-liste.de

## Anhang

## Glossar

### trophisch

die Nahrung bzw. Ernährung eines Organismus betreffend.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### trophische Ebene

Trophieebene, Trophiestufe, Ernährungsstufe, Nahrungsstufe (*trophic level*): eine Stufe in der Nahrungskette oder im Energiefluss in einem Ökosystem. Sie fasst alle Organismen gleicher Ernährungsweise als Großgruppe („trophische Gruppe“) zusammen.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### trophische Gruppe

Ernährungsgruppe. Gruppe von Organismen (meist mehrerer Arten), die eine ähnliche Stellung in einer Nahrungskette oder einem Nahrungsnetz haben.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

### Turgor/Turgorverlustpunkte

Als Turgor bezeichnet man den osmotischen Druck eine Zelle (Zellinnendruck).

Durch den Turgor wird die Zellwand

einer Pflanzenzelle gespannt. Es entsteht die Gewebespannung. Somit stabilisiert der Turgor die Pflanze. Herrscht in der Umgebung der Pflanze ein geringerer osmotischer Druck als im Zellsaft, strömt Wasser in die Zellsafträume, das Cytosol, ein.

Erst wenn der Druck der elastisch dehnbaren Zellwand gleich dem osmotischen Druck ist, stoppt dieser Fluss. Mit dem Wasser können auch passiv Nährstoffe und andere Moleküle in die Zellen verlagert werden. Im Umkehrschluss schrumpft eine Zelle bei Flüssigkeitsverlust. Wenn Trockenheit andauert, schließen sich die Stomata der Pflanze irgendwann vollständig. Die Pflanze erreicht dann  $\Psi$ -Werte, an denen die Zellen ihren Turgor verlieren und schlaff werden, was dazu führt, dass die Blätter zu welken beginnen. Dieser Punkt wird als „Turgorverlustpunkt“ (*turgor loss point*,  $\Psi$ TLP) bezeichnet.

Quelle www.pflanzenforschung.de

## U, V

### Variation (intraindividuell, interindividuell)

In der Regel zeigt sich Variation bei verschiedenen Individuen (interindividuelle Variation), dagegen liegt intraindividuelle Variation vor, wenn mehrfach auftretende Eigenschaften an einem Individuum un-

terschiedlich ausgebildet sind, z. B. Blüten unterschiedlicher Farbe oder Kronblattzahl an der gleichen Pflanze.

Quelle www.spektrum.de

### Variationskoeffizient

ist eine statistische Kenngröße in der Statistik. Er ist ein relatives Streuungsmaß, das heißt, er hängt nicht von der Maßeinheit der statistischen Variable ab.

Quelle www.wikipedia.de

### Varianzanalyse

bezeichnet eine große Gruppe datenanalytischer und strukturprüfender statistischer Verfahren, die zahlreiche unterschiedliche Anwendungen zulassen. Die englische Bezeichnung lautet *analysis of variance* (kurz ANOVA).

Quelle www.wikipedia.de

### Vektor

Ein Tier als Überträger von Krankheitserregern (einschließlich Parasiten), wobei besonders Milben und Insekten mit stechenden Mundwerkzeugen in der Übertragung von Viren, Bakterien und Protozoen auf Pflanzen, Tiere und Menschen eine große Bedeutung haben.

Quelle Schaefer, M. (2003) Wörterbuch der Ökologie (4. Aufl.). Spektrum - Akademischer Verlag

## Anhang

## W

### Wald, gemäßigt

Gemäßigte Wälder können in Laubwälder, Nadelwälder, Mischwälder und immergrüne Laubwälder unterteilt werden.

Diese Wälder kommen hauptsächlich zwischen dem 30. und 50. Grad nördlicher Breite vor und umfassen den Osten der Vereinigten Staaten, Europa, die Westtürkei, den Ostiran, Westchina und Japan.

Quelle www.forestprotection.com/de

### Waldinventur

Zustandsbericht des Waldes in zeitlichen Abständen.

Quelle www.forstbw.de

### Wassersättigung

beschreibt, in welchem Ausmaß die Hohlräume des Untergrundes (Bodens) mit Wasser erfüllt sind. Die Wassersättigung wird über die Sättigungszahl quantifiziert.

Quelle www.spektrum.de

### Wurzelexsudate

Ausscheidungen aus Wurzeln; ausgeschieden werden organische Verbindungen wie z. B. Hormone, Aminosäuren. Exsudate bestehen aus organischen Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht aus dem Primär- und Sekundärstoffwechsel, die ein

breites Spektrum an Polaritäten aufweisen. Beispiele für ausgeschiedene Primärmetaboliten sind Alkohole, Aminosäuren, organische Säuren, Kohlenhydrate, Nucleinbasen und Nucleotide; ausgeschiedene Sekundärmetaboliten sind zum Beispiel Alkaloide, Phenylpropanoide und Terpene. Aufgrund des breiten Polaritätsspektrums müssen verschiedene Analysemethoden angewandt werden, um ein breites Spektrum an nachgewiesenen Verbindungen abzudecken.

Quelle www.spektrum.de

## X, Y, Z



#### Fotos links

Neyret M. (1), Hinderling J. (2),  
Martin-Lopez B. (3), Fellendorf  
M. (4), Kellner H. (5), Parreno  
A. (6)

## Impressum

#### Biodiversitäts-Exploratorien

BEO - Biodiversity Exploratories Office

Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung  
Senckenberganlage 25  
60325 Frankfurt

beo@senckenberg.de  
www.biodiversity-exploratories.de



Gefördert durch die  
Deutsche Forschungsgemeinschaft

Projektsprecher:  
Prof. Dr. Markus Fischer

#### Texte:

Autor\*innen der Publikationen  
(Hauptautor\*innen fett markiert)

#### Textüberarbeitung:

Biodiversity Exploratory Office (BEO)  
Local Management Teams (LMT)  
Zentrales Datenmanagement

#### Gestaltung & Illustration:

Helene Uhl | Design & Illustration

#### Editorial Design zur Verfügung gestellt von:

Bureau Mitte, Frankfurt

#### Druck:

dieUmweltDruckerei GmbH

Oktober 2024

