

WISSENSSTAND

Editorial

ICOS zertifiziert TERENO-Standorte **2**

TITELGESCHICHTE

Warum der Wald ein Klimaproblem hat -
Interview mit Alexander Knohl **3**

Sorgenkind Wald **4**

Interview mit Staatssekretär
Uwe Feiler zur Situation der Wälder **11**

NETZWERKE / IN KÜRZE

11. TERENO-Workshop: die Dürre 2018 **12**

Messkampagne am Wüstebach **12**

Erste OZCAR-TERENO-Konferenz **13**

Grünland nachhaltig nutzen **13**

eLTER RI: neue Forschungsprojekte **14**

Neue Mitglieder im TERENO-SSC **14**

VOR ORT

Evapotranspiration: Nachts ist
mehr los, als man denkt! **15**

Unterschiede bei der Lachgas-Bildung **15**

Simulation künftiger Abflüsse
im alpinen Gelände **16**

Vergleich der Modelle: Welches stellt
Austauschprozesse realistischer dar? **17**

Potenzielle Satellitenmission
getestet **17**

Hilfe für bedrohte Bestäuber **18**



© FZ Jülich/Sascha Kreklau

Vor allem Fichten leiden unter der Trockenheit. TERENO-Wissenschaftler, wie der Jülicher Forscher Carsten Montzka, nutzen auch Drohnen, um die Folgen der Schäden zu erfassen.

© FZ Jülich/Carsten Montzka

Wälder in Not

Den deutschen Wäldern geht es schlecht. Trockenheit, Hitze, Stürme, Waldbrände und Schädlinge haben ihnen zugesetzt. Einige Baumarten werden vermutlich aus Deutschland verschwinden. TERENO-Forscher verfolgen den Wandel des Waldes und untersuchen die Auswirkungen, etwa auf den CO₂- und den Wasserkreislauf sowie auf das Wetter.

ICOS ZERTIFIZIERT TERENO-STANDORTE

Das europäische Netzwerk ICOS hat 2019 zwei TERENO-Standorten das Zertifikat als „Class 1 Station“ verliehen. Damit wird bestätigt, dass die Standorte Selhausen und Hohes Holz kontinuierlich und dauerhaft bestimmte Standards beim Messen von Treibhausgasen erfüllen.



© FZJülich/Marius Schmidt



© UFZ/André Künzelmann

Messen nach Standard: die TERENO-Standorte Selhausen (l.) und Hohes Holz

Solche Zertifizierungen sind aufwendige Prozesse, bei denen umfangreiche Qualitätstests durchgeführt werden. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass Daten nach gleichen Standards erhoben werden – das erleichtert zum Beispiel Nutzern erheblich die Verwendung von Daten unterschiedlicher Stationen. Neben den beiden Class 1-Stationen sind fünf weitere TERENO-Standorte Teil des ICOS-Netzwerkes, der Zertifizierungsprozess läuft zum Teil bereits. Die TERENO-Standorte sollen es ermöglichen, durch den Klimawandel erzeugte Trends und Reaktionen von unterschiedlichen Ökosystemen zu erkennen und Daten als wichtige Grundlage für Klimaabschätzungen und Prognosen zu liefern.

Standort Selhausen

Bei dem Standort Selhausen im TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ handelt es sich um ein knapp 10 Hektar großes Feld in der Niederrheinischen Bördelandschaft. „Aufgrund der typischen Bewirtschaftung mit Zuckerrüben im ersten Anbaujahr und Wintergetreide im zweiten und dritten Jahr können die Beobachtungen an dem Standort als repräsentativ für den Agrarraum in dieser Region gelten“, sagt Marius Schmidt vom Forschungszentrum Jülich. Am Standort stehen zwei 3 Meter hohe Messtürme, mit denen Jülicher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kontinuierlich den Austausch von Treibhausgasen wie CO₂ und Wasserdampf zwischen Boden, Pflanzen und Atmosphäre messen. Zusätzlich werden Klimavariablen wie Temperatur und Bodenfeuchte, das Pflanzenwachstum sowie Extremereignisse wie Unwetter, Überschwemmungen und Trockenphasen erfasst.

Standort Hohes Holz

In dem Wald-Klima-Observatorium Hohes Holz im TERENO-Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“ werden innerhalb eines rund 1500 Hektar großen Laubmischwald-Gebiets auf einer Intensivmessfläche von etwa 1 Hektar mithilfe eines 50 Meter hohen Messturms die Austauschprozesse von Treibhausgasen zwischen Vegetation und Atmosphäre untersucht. „Diese Daten werden sowohl mit Ergebnissen eines Grünland- und eines Ackerstandorts im benachbarten Großen Bruch als auch mit Daten von anderen Standorten in Europa verglichen“, erläutert Dr. Corinna Rebmann vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Um die Rolle der Wälder beim Klimawandel besser verstehen zu können, forschen die UFZ-Wissenschaftler zum Beispiel daran, wie sich der Austausch von Spurengasen über einem Buchenmischwald mit klassischer Bewirtschaftung wie dem am Standort Hohes Holz von einem naturbelassenen Buchenmischwald unterscheidet.

EDITORIAL

Wald im Wandel



© FZ Jülich/Ralf-Uwe Limbach

Der Wald ist geschwächt: Vier von fünf Bäumen zeigen Schäden, so der deutsche Waldzustandsbericht 2019. Allerdings wäre es falsch, von einem Waldsterben zu sprechen. Vielmehr sind es einzelne Baumarten, die leiden und die es angesichts des Klimawandels künftig schwer in unseren Breiten haben werden. Welche Arten unsere Wälder künftig dominieren werden, ist offen. Ebenfalls offen ist die Frage, ob die Trockenheit der vergangenen Jahre das „neue Normal“ sein wird. Hier zeigt sich erneut, wie wichtig eine dauerhafte Infrastruktur zur Umweltbeobachtung ist. Die Titelgeschichte informiert darüber, wie wir mithilfe der TERENO-Observatorien und in Kooperation mit nationalen und internationalen Netzwerken wie MOSES oder ICOS den Wandel des Waldes begleiten und erforschen. Die Daten, die wir sammeln, sind die Basis für Modelle, mit denen wir künftig Vorhersagen liefern wollen, um frühzeitig handeln zu können. Lesen Sie außerdem, warum Pflanzen und Böden nachts mehr Wasser verdunsten könnten, als bislang angenommen, wie die Simulation des künftigen Wasserkreislaufes verbessert wird und was bedrohten Wildbienen helfen könnte.

Begrüßen möchte ich an dieser Stelle drei neue Mitglieder unseres Scientific Steering Committee. Ganz besonders freut es mich, dass wir mit Theresa Blume, Susanne Liebner und Nadine Rühr drei Wissenschaftlerinnen gewinnen konnten.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen beim Lesen!

Ihr Harry Vereecken

Koordinator TERENO

ICOS

ICOS steht für Integrated Carbon Observation System. Dahinter verbirgt sich eine europaweite Forschungsinfrastruktur, die aufeinander abgestimmte, europaweite Messungen des Kohlenstoffkreislaufs, der Treibhausgasemissionen sowie der atmosphärischen Konzentrationen der wichtigsten Treibhausgase liefert. Das Netzwerk unterscheidet je nach Grad der Standardisierung und Umfang des Messprogramms Class 1 und Class 2 Stationen. Stationen, die nur eine geringe Standardisierung aufweisen, werden als „Associated Sites“ geführt.

WARUM DER WALD EIN KLIMAPROBLEM HAT

Interview mit Prof. Alexander Knohl, Mitglied des TERENO Advisory Boards

Der Geoökologe Alexander Knohl ist Professor für Bioklimatologie an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie an der Georg-August-Universität Göttingen und seit 2019 Mitglied im Advisory Board von TERENO. Er beschäftigt sich mit den Interaktionen zwischen der terrestrischen Biosphäre und der Atmosphäre, insbesondere mit den Kohlenstoff- und Wasserkreisläufen und dem Einfluss von Landnutzung und Klimaveränderungen auf die Kreisläufe. Im Interview erläutert er, vor welchen Herausforderungen der Wald in Deutschland steht.

Herr Prof. Knohl, Sie betreiben eine Messstation im Nationalpark Hainich, einem alten Buchenmischwald in Thüringen, der zum UNESCO-Weltnaturerbe zählt. Wie sieht es dort aus?

An sonnigen Südhängen sehen wir viele abgestorbene Buchen. Es ist nicht so gravierend wie bei Fichten, die etwa im Harz kilometerweit abgestorben sind. Dennoch: Gerade von Buchen dachte man lange, sie wären eine für die Zukunft geeignete Baumart. Jetzt wird deutlich, dass auch sie Probleme bekommen, je nach Region weniger oder – wie in Hainich – mehr.

Woran zeigt sich das?

Seit 20 Jahren wird in Hainich ein Messturm betrieben, der zum europaweiten Netzwerk ICOS (Integrated Carbon Observation System) gehört. Die Werte für die CO₂-Aufnahme durch den Buchenwald waren weitgehend stabil – bis 2018 die extreme Trockenheit begann. Die CO₂-Aufnahme ist regelrecht eingebrochen, um rund ein Drittel. Dabei steht unser Messturm an einem Nordhang, an dem die Bäume zumindest äußerlich weniger Schäden aufweisen. Im August und September nahm der Wald um unsere Messstation an einigen Tagen gar kein CO₂ auf, sondern gab sogar welches ab. So etwas habe ich in unseren Daten noch nie gesehen. Es gab zwar 2003 schon einmal einen Rückgang infolge von Trockenheit, aber im Gegensatz zu heute hatte sich der Wald damals recht schnell erholt.

Was ist heute anders?

In den letzten Jahren gab es eine ungewöhnlich dichte Folge von klimatischen Extremereignissen. Im Winter 2018 wütete „Friederike“, einer der stärksten Stürme der letzten Jahre, der in Norddeutschland große Schäden verursachte und viele Bäume schwächte. Dann folgte im Sommer 2018 eine extreme Trockenheit, auch 2019 war ein sehr warmes und trockenes Jahr und schließlich kam der Winter 2019/2020, der als der wärmste Winter seit Beginn der Temperaturaufzeichnung in Europa gilt.

Wie reagieren die Buchen?

Da der Bodenwassergehalt durch die Trockenperioden gesunken ist, können die Buchen nicht mehr so viel Wasser

aufnehmen. Sie sterben nicht sofort ab. Zunächst werden die Spaltöffnungen der Blätter geschlossen, um Wasser zu sparen, dadurch kommt weniger CO₂ in die Blätter und es findet weniger Photosynthese statt. Die Pflanze wächst weniger und wenn die Trockenheit anhält, verfärben sich die Blätter früher. Eine weitere Reaktion: Da die Buchen die Spaltöffnungen verengen, verdunsten sie weniger Wasser über ihre Blätter. Bekommt der Baum nun viel Sonnenstrahlung ab – wie in einem heißen und trockenen Sommer –, erwärmen sich seine Blattoberflächen. Die Wärme geben diese an die Atmosphäre ab, was zu Rückkoppelungen auf regionaler Ebene führen kann. So haben Kollegen von der ETH Zürich nachgewiesen, dass durch diese Rückkoppelungen Trockenperioden verstärkt werden. Für viele Details besteht aber noch Forschungsbedarf. Dazu benötigen wir langfristige Infrastrukturen – wie ICOS und TERENO, dessen Standorte zum Teil zum ICOS-Netzwerk gehören.

Wie können solche Infrastrukturen helfen?

Sie sind die Pfründe, um die Prozesse zu verstehen. Dank ihrer Daten können wir Veränderungen über lange Zeiträume betrachten und feststellen, welche Rückkoppelungen es etwa zwischen Böden, Pflanzen und Atmosphäre gibt oder was im Frühjahr passiert und welche Auswirkungen das für den Sommer hat. So sammeln wir gerade über ICOS verschiedene Datensätze zum außergewöhnlichen Winter 2019/2020. Gerade die TERENO-Standorte sind besonders wichtig, weil sie etwa den Wasserkreislauf komplett erfassen. Hinzu kommt die Modellierung durch die an TERENO beteiligten Helmholtz-Institute. Sie ermöglicht es, künftig Vorhersagen und sogar Warnsysteme zu entwickeln. Diese wären für Waldbesitzer, aber auch für die Landwirtschaft ein wichtiger Input.

Gibt es Maßnahmen, die bereits heute ergriffen werden sollten?

Zunächst muss man sich klar machen, dass das eigentliche Problem nicht die Veränderungen im Wald sind, sondern die Veränderungen des Klimas. Die aktuellen Probleme des Waldes haben dazu beigetragen, das noch einmal zu verdeutlichen. Es gilt, die



© Universität Göttingen

Prof. Alexander Knohl

Klimaveränderungen so gering wie möglich zu halten und innerhalb des 1,5- oder des 2-Grad-Zieles zu bleiben. Es müssen also die CO₂-Emissionen drastisch reduziert werden. Was den Wald angeht, müssen Arten gefunden werden, die in der Lage sind, mit dem künftigen Klima umzugehen. Die seit Jahrzehnten gängige Praxis, den Anteil von Mischwäldern zu erhöhen, ist ein hilfreicher Ansatz.

Sollte eher auf heimische oder auf fremde Arten gesetzt werden?

Diese Frage wird kontrovers diskutiert und ist angesichts fehlender Erfahrung schwierig zu beantworten. Sicherlich macht es keinen Sinn, eine einheitliche Lösung vorzugeben. Stattdessen muss von Standort zu Standort entschieden werden, denn jeder Standort ist anders. Und auch die Ansprüche und Erwartungen der vielen verschiedenen Waldbesitzer und der Gesellschaft sind unterschiedlich. Es muss auch berücksichtigt werden, dass Wald heute mehr als der Rohstofflieferant für Holz ist. Wälder dienen auch als Naherholungsgebiet, bieten Trinkwasserschutz, erhalten die Artenvielfalt und betreiben gleichzeitig Klimaschutz. Es gilt, diese Funktionen lokal angepasst zu erhalten, auch wenn die Rahmenbedingungen schwieriger werden.



© FZ Jülich / Sascha Kreklau

SORGENKIND WALD

Es ist das dritte Jahr in Folge zu trocken und warm in Deutschland – das hat massive Folgen für den Wald. Milde Winter begünstigen zudem das Überleben von Schädlingen wie dem Borkenkäfer. TERENO-Forscher verfolgen, wie Fichten, Buchen und Co. Dürreperioden, Hitzerekorde und Schädlingsbefall managen. Und sie untersuchen die Folgen: etwa auf den CO₂-Gehalt in der Atmosphäre, auf die Verdunstung und auf das Wetter.

Wenn Nicolas Brüggemann von einer seiner Untersuchungsflächen in Kleinhau über die Nordeifel blickt, macht er sich Sorgen: „Früher konnten wir vor lauter Bäumen keine 100 Meter weit sehen, inzwischen sehe ich bei guter Sicht das Siebengebirge – und das sind immerhin 60 Kilometer Luftlinie.“ Für den Professor für Terrestrische Biogeochemie an der Universität Bonn und Leiter der Forschungsgruppe Plant-Soil-Atmosphere Exchange Processes am Forschungszentrum Jülich steht außer Frage: Der Wald in der Nordeifel verändert sich seit Jahren, er wird zunehmend lichter. „Das liegt vor allem an einer Kombination von Schadfaktoren, die es so noch nicht gegeben hat: Sie reichen von Trockenheit und Hitze über Waldbrände und Stürme bis zu Schädlingsbefall“, erklärt Brüggemann.

Am schlimmsten betroffen sind in der Nordeifel die Fichten. Andauernde Trockenheit und der Borkenkäfer machen dieser Baumart besonders zu schaffen. Das Erschreckende: Der Borkenkäfer wandert mit den mildereren Wintern allmählich die Höhenmeter im Mittelgebirge nach oben. Noch sind die Schäden am TERENO-Standort Wüstebach im Nationalpark Eifel auf rund 600 Metern Höhe überschaubar. Anders sieht es weiter unten in der Voreifel aus: Abgestorbene Fichten mit braunen Ästen und bleichen Stämmen prägen das Bild.

Aber nicht nur Fichten haben erhebliche Probleme: „Die Buchen im Nationalpark Eifel haben im August 2020 farblich schon so ausgesehen wie sonst im Herbst. Und auch die Eichen leiden – entweder unter Insekten oder Pilzen“, sagt Brüggemann.

Im Vergleich zum Waldsterben in den 1980er Jahren nimmt für Brüggemann das aktuelle Baumsterben deutlich dramatischere Ausmaße an: „Die Schäden damals waren durchaus massiv, konnten aber durch entsprechende Maßnahmen wie Abgasreinigung bei Kraftwerken und Fahrzeugen reduziert werden.“ Den in der Presse aktuell viel zitierten Begriff „Waldsterben“ empfindet er als irreführend: „Nicht der Wald als Ökosystem stirbt, sondern bestimmte Baumarten verschwinden und werden durch andere allmählich ersetzt.“

Nadelbäume unter Trockenstress

2018, 2019 und 2020 – drei Trockenjahre in Folge fordern ihren Tribut: Experten haben berechnet, dass allein in den Jahren 2018 bis 2020 durch Dürre, Waldbrände, heftige Stürme und Borkenkäferbefall geschätzt mehr als 160 Millionen Kubikmeter Holz auf einer Fläche von rund 245.000 Hektar angefallen sind. Und vor allem die Nadelhölzer wie Kiefer, Fichte und Tanne haben zu kämpfen.

In der Eifel macht die Fichte rund zwei Drittel des Baumbestandes aus, sie zählt allerdings nicht zu den heimischen Baumarten der Region. Wie in vielen Waldgebieten Deutschlands wurden dort nach Ende des Zweiten Weltkrieges in großer Zahl Fichten angepflanzt, die natürlicherweise nur in den Hochlagen Mitteleuropas sowie in der borealen Nadelwaldzone wachsen. Ihre schnell und gerade hochwachsenden Stämme waren sehr gefragt, um den Bedarf an Bau- und Brennholz rasch zu decken. An den Klimawandel dachte damals niemand. Als Flachwurzler leidet die Fichte aber extrem schnell unter Trockenstress: „Dürre kommt in höheren Lagen eher selten vor, aber in unseren gemäßigten Breiten haben wir in den vergangenen drei Jahren genau das geballt erlebt“, sagt Brüggemann. Auch das Frühjahr 2020 startete in der Nordeifel erneut mit extremer Trockenheit, sodass die Bäume keine Zeit mehr hatten, sich zu erholen – geschwächte Bäume bieten wiederum dem Borkenkäfer gute Voraussetzungen, sich zu vermehren.

Auch Buchen leiden

Ebenfalls nicht gut steht es in der Nordeifel um die Rotbuche. Sie ist auf ein gemäßigtes ozeanisches Klima angewiesen, spricht: relativ viel Niederschlag und wenig Temperaturschwankungen.

Brüggemann hatte schon im Dürrejahr 2018 auf dem Campus des Forschungszentrums Jülich Buchen beobachtet, die einen Sonnenbrand hatten und im Folgejahr abgestorben sind. „Damit ist nun auch in der Eifel zu rechnen“, befürchtet der Wissenschaftler. Es war und ist zu warm und viel zu trocken. Viele Förster wissen inzwischen nicht mehr, welche heimischen Baumarten sie überhaupt noch anpflanzen sollen – und entscheiden sich zunehmend für nordamerikanische Baumarten wie die Roteiche, da diese weniger anfällig sind für Schädlinge, Hitze und Trockenheit.

Erkenntnisse einer Renaturierung

Der Standort Wüstebach im TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ bietet außergewöhnliche Voraussetzungen, um die Folgen der aktuellen Entwicklung einzuschätzen. Nicht nur, weil das Gebiet mit diversen Messinstrumenten ausgestattet ist: Bereits im Herbst 2013 hatte die Nationalparkverwaltung in der Nordeifel ein etwa 11 Hektar großes Areal im Untersuchungsgebiet entforstet. Die Idee: die Regeneration eines naturnahen Laubwaldes im Nationalpark zu beschleunigen. Für die Kohlendioxidbilanz des entforsteten Stücks zunächst ein herber Schlag, da Wälder der Atmosphäre CO₂ entnehmen. Ohne Wald wurde die Fläche von einer Kohlenstoffsenke zu einer Quelle, denn der Boden



© FZ Jülich/Sascha Kreklau

Alexander Graf erfasst den CO₂-Austausch zwischen Boden und Atmosphäre.

verarbeitet weiterhin den Humus aus abgestorbenen Tier- und Pflanzenteilen und gibt auf diese Weise CO₂ ab.

TERENO-Forscher wie Nicolas Brüggemann oder sein Kollege Dr. Alexander Graf vom Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3) begleiten den Waldumbauprozess von Anfang an wissenschaftlich. „Die starken Auswirkungen dieses Eingriffs auf Boden, Wasserqualität, Austauschprozesse und die Zusammensetzung von Flora und Fauna bieten einen Einblick in die Regeneration des Waldbestandes“, erklärt Graf. Er misst zum Beispiel den CO₂-Austausch,

den Wasserdampfaustausch und den Energieaustausch zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre. Die Motivation: Am Ende rechnen die Wissenschaftler die Daten für größere Flächen hoch und bekommen eine Vorstellung davon, wie viel Kohlendioxidaufnahmefähigkeit durch den starken Eingriff in den Wald verloren geht – zusätzlich zu den Folgen der Renaturierung können die Forscher nachvollziehen, wie sich Schäden durch Trockenheit und Borkenkäfer auswirken. Und die sind mehr als komplex: „Wir sehen etwa Auswirkungen auf die Verdunstung, das Klima und Wetterverhältnisse“, so Brüggemann.

Dürre im Wald

Wälder leiden unter der zunehmenden Trockenheit. Dabei hat die Dürre bei verschiedenen Baumarten (z.B. Fichte und Buche) unterschiedliche Auswirkungen.

Infografik: helengrubler.de

Heiße Tage pro Jahr
Mittlere Anzahl der Tage mit Höchsttemperatur von mehr als 30°C in Deutschland (Gebietsmittel)

Jahr	1961-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Werte	3,6	3,9	4,5	7,0

Niederschlagsmittel im Frühling

Jahr	1961-1990	2010-2019
Werte	166 mm	153 mm

Seit 2010 waren die meisten Jahre zu trocken. Der Wassermangel ist im Frühling besonders ausgeprägt.

Borkenkäferbefall bei der Fichte erkennen

1. Kleine Löcher und Bohrmehl
2. Frischer Harzfluss
3. Spechleinschläge am Stamm
4. Rottfärbung der Nadeln
5. Der Borkenkäfer fliegt aus
6. Größere Rindenstücke, grüne Nadeln fallen ab

Der Käfer vermehrt sich unter der Rinde und lockt mithilfe von Pheromonen weitere Artgenossen an. Aus einer befallenen Ästliche schwärmen etwa 10 000 Männchen aus. Diese befallen etwa 20 weitere Bäume. Mehr als 400 000 Käfer, von denen etwa 200 000 Männchen neue Bäume befallen.

Buche im Trockenstress

Bäume benötigen Wasser für die Photosynthese. 1. Trockenheit führt zu Spannung in den Leitungsbahnen, was zum Abreißen der Wasserfäden 2 und zum Eindringen von Luft 4 führt. Diese Embolien verhindern den Wassertransport. Der Baum verdurstet.

Laub fällt ab

Um Wasserverlust zu verringern, schließen sich Spaltöffnungen der Blätter. Zum Schutz wirft der Baum bereits im Sommer die Blätter ab.

Äste brechen ab

Das Holz verliert seine Elastizität. Dadurch können plötzlich (auch belaubte) Äste abbrechen.

Sonnenbrand

Durch die intensive Sonneneinstrahlung wird die relativ dünne Rinde geschädigt. Pilze und andere Schadereger dringen ein.

Herzwurzler

Die Buche kann, je nach Boden, auch tieferliegende Wasserreserven erschließen.

Insectenschadholz (Fichte, Tanne, Douglasie)

Jahr	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2018	2019
Werte	32975	4373	3730	1384	101	1599	9179	5590	10781

Von Bodentrockenheit betroffene Fläche in Deutschland

Zeitraum	März 2018	Sept. 2018	März 2019	Sept. 2019	März 2020
Prozent	~10%	~20%	~40%	~60%	~80%

Legende: ungewöhnlich trocken, moderate Dürre, schwere Dürre, extreme Dürre, außergewöhnliche Dürre

Gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Problem Wasserdampf

Wird weniger Kohlendioxid aufgenommen, wird auch viel weniger Wasserdampf abgegeben. Das hat Vor- und Nachteile. Die Luft über der entfeuchteten Fläche erwärmt sich schneller: Im Sommer, wenn es heiß wird, gibt es nichts, was die Hitze abpuffert. Die Sonne strahlt ungefiltert auf die Freiflächen: „Mit Drohnen und Wärmekameras haben wir gemessen, dass sich Freiflächen auf über 60 Grad aufheizen“, so Brüggemann. Die Folge: Es steigt sehr viel warme Luft in die Atmosphäre auf und die Hitzewelle verstärkt sich noch. Auf der anderen Seite gibt es ohne Wald keine großen und durstigen Verbraucher, die dem Boden Wasser entziehen. „Das kann ein Vorteil für die Wassergewinnung und fürs Grundwasser sein, aber es kann – gerade in steileren Lagen – zu Hang-Erosionen kommen. Bei Starkregen fließt Wasser oberflächlich ab und reißt Boden mit sich, so kann ein ganzer Hang abrutschen“, erklärt der Jülicher Forscher.

Nach sieben Jahren entsteht an der gerodeten Stelle allmählich ein neuer Wald. Er hat aber bei weitem noch nicht die Kohlendioxid-Aufnahmefähigkeit von früher erreicht, wie die Beobachtungen und Messungen der TERENO-Forscher um Graf und Brüggemann zeigen. Allerdings waren sie erstaunt, wie schnell sich die Fläche in den ersten Jahren erholt hat – bis die Dürreperioden kamen. Analysen zeigen, dass etwa die Photosynthese 2018 deutlich zurückgegangen ist und bis heute auf einem zu niedrigen Niveau stagniert. „Die neu entstehende Vegetation muss erst damit klarkommen, dass es dort trockener ist als sonst“, erklärt Graf. Auch der angrenzende Fichtenwald hat in den vergangenen drei trockenen und heißen Jahren deutlich weniger Kohlendioxid aufgenommen als in Durchschnittsjahren, wie die Forscher festgestellt haben.

Wald puffert Dürre 2018 am besten ab

Das passt zu den Daten einer europäischen Studie zu den Auswirkungen der Dürre 2018, die über die europäische Forschungsinfrastruktur ICOS (Integrated Carbon Observation System) entstanden ist und an der Alexander Graf maßgeblich beteiligt war: Insgesamt wertete er Messdaten von 56 Stationen aus. 46 Standorte in der nördlichen Hälfte Europas waren von Dürre und überdurchschnittlicher Wärme betroffen. Es regnete weniger als sonst und die potenzielle Verdunstung war höher. „Ob Wald, Acker oder Wiese – alle Ökosystemtypen, die von der Dürre betroffen waren, haben 2018 weniger Kohlendioxid aufgenommen als in den Vorjahren“, resümiert Graf.



Die Jülicher Forscher Jannis Jakobi (l.) und Heye Bogena mit dem Cosmic-Ray-Rover von MOSES

MOSES-Kampagnen in Kleinhau und im Hohen Holz

Das Helmholtz-Projekt MOSES (Modular Observation Solutions for Earth Systems) entwickelt und testet flexible und mobile Messgeräte, um die Zusammenhänge von kurzfristigen Extremereignissen und langfristigen Trends zu erforschen. Von Mai bis Oktober 2020 führten beteiligte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Messkampagne in Kleinhau in der Eifel durch, um zu untersuchen, wie sich die Trockenheit der vergangenen Jahre auf den Wald und den Boden ausgewirkt hat. Der 328 Hektar große Privatwald, der wirtschaftlich genutzt wird, bestand vor allem aus Fichten. Doch die hatten so sehr unter der Trockenheit und dem Borkenkäfer gelitten, dass bis zum Sommer 2020 gut 90 Prozent der Fichten abgeholzt wurden. Der zuständige Forstverwalter Burkhard Priese setzt für die Wiederaufforstung auf Baumarten, die als weniger anfällig gelten: auf die heimische Esskastanie und die nordamerikanische Roteiche.

„Für uns war das eine gute Gelegenheit, auch gleich zu untersuchen, wie sich Abholzung und Wiederaufforstung auswirken“, sagt der Jülicher Experte Prof. Nicolas Brüggemann. Dazu nutzten die Forscher eine Reihe von mobilen und stationären Geräten. Mit dem Cosmic-Ray-Rover, einem

mobilen Neutronen-Detektor, wurde etwa flächendeckend die Bodenfeuchte ermittelt. Mit dem Mobile Land Ecosystem-Atmosphäre Flux-Modul wurden die CO₂- und Wasserdampf Flüsse zwischen Boden und Atmosphäre erfasst und mit Drohnen Wärmebilder und Multispektralaufnahmen aus der Luft gemacht. Die Daten liefern eine gute Ergänzung zu den umfangreichen Messungen am TERENO-Standort Wüstebach im Nationalpark Eifel, wo seit der Rodung der Fichtenmonokultur 2013 ein naturnaher Laubwald entsteht.

An der MOSES-Kampagne in Kleinhau waren weitere TERENO-Mitglieder beteiligt: neben dem Forschungszentrum Jülich das Karlsruher Institut für Technologie und das Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt. Parallel dazu haben Kollegen vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ und vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum Messungen zu Trockenheitseffekten auf Waldbestände am TERENO-Standort Hohes Holz in der Nähe von Magdeburg durchgeführt. Bis Ende 2020 wollen die Forscher nun die in Kleinhau und im Hohen Holz gesammelten Daten auswerten.

Das könnte dramatische Folgen haben, denn Wissenschaftler sagen voraus, dass es auch in Zukunft vermehrt zu extremen Hitze- und Dürreperioden kommen wird. Das würde dazu führen, dass sich die Wälder in Europa schützen, indem sie weniger Wasser verdunsten und ihr Wachstum reduzieren – was wiederum zu einer verminderten Aufnahme von Kohlendioxid führt. „Nehmen die Ökosysteme in solchen Dürreperioden noch weniger Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf, verlieren wir einen Verbündeten im Kampf gegen die Erderwärmung“, erklärt Graf.

Dabei konnte der Wald im Vergleich zu den anderen Ökosystemen die Dürre noch am besten abfedern: Im Mittel ging 2018 die Kohlendioxidentnahme durch Landökosysteme um 18 Prozent zurück, bei Äckern, Grünland und Mooren fiel das Minus mit bis zu 40 Prozent deutlich stärker aus.

Beim Wald hingegen waren es nur acht Prozent. „Das sollte man aus verschiedenen Gründen nicht überbewerten, es ist aber ein Anzeichen dafür, dass der Wald besser als andere Ökosysteme in der Lage ist, Dürreperioden abzufedern“, so Graf. Deshalb gilt: Viel Wald zu haben ist gut, wenn es darum geht, viel Kohlendioxid aufzunehmen.

Standort Hohes Holz weniger betroffen

Zu den Messstationen in der europäischen ICOS-Studie zählt auch der Standort Hohes Holz im TERENO-Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“. In dem Waldgebiet, das im Harzvorland in der Magdeburger Börde liegt, wachsen vor allem Buchen und Eichen auf einem sehr hochwertigen Boden. Die Niederschläge fallen im Vergleich zur Eifel generell niedriger aus. „Unsere Bäume sind also schon angepasster an weniger Niederschlag als die Bäume in der Eifel“, so Dr. Corinna Rebmann, die am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) im Department Hydrosystemmodellierung für die Koordination der Ökosystem-Standorte in den Projekten TERENO und ICOS verantwortlich ist.

Der Winter 2017/2018 fiel – wie andernorts auch – im Hohen Holz noch recht feucht aus: „Davon hat die Vegetation insbesondere im Frühjahr 2018 profitiert. Nichtsdestotrotz fiel die Bruttoprimärproduktion – also die Produktion von Biomasse durch die Pflanzen durch die Fixierung von CO_2 – im Dürrejahr 2018 auch im Hohen Holz deutlich geringer aus“, so Rebmann. Dann folgte ein zu trockener Winter 2018/2019, sodass es 2019 einen noch deutlicheren Einbruch der Bruttoprimärproduktion gab. „Das belegen nicht nur



© UFZ/Corinna Rebmann

Am Standort Hohes Holz wird mit 2D-Geoelektrik kontinuierlich erfasst, wie sich der Wassergehalt im Untergrund verändert – bis in eine Tiefe von rund 6 Metern.

die Daten zur Verdunstung und zum Kohlenstoffaustausch aus der Eddy-Kovarianz-Methode, sondern auch die Wachstumsmessungen mit Dendrometern: Im September 2019 war der Baumzuwachs von Eiche und Buche deutlich reduziert“, so die Meteorologin. Und auch die Blatternte 2019 bei der Buche zeigte, dass die Blätter sich nicht voll entfaltet haben. Das Erstaunliche: 2020 sieht es – trotz Trockenheit – besser aus. „Dafür habe ich noch keine Erklärungen“, so die Forscherin.



Eifel bei Kleinhau: Ein Teil der beschädigten oder abgestorbenen Fichten wurde bereits abgeholzt.

© FZ Jülich/Carsten Montzka

Seit 2014 erhebt sie mit ihren Kollegen Daten im Hohen Holz: Auch wenn sich die Produktivität der Buchen und Eichen messbar reduziert habe, insgesamt seien für den Laien noch keine Schäden an den Laubbäumen sichtbar. Dennoch befürchtet sie, dass ein weiteres Dürrejahr insbesondere den Buchen sehr zu schaffen machen könnte – und dann auch Schäden sichtbar würden. Die Förster in der Region machen sich jedenfalls schon Sorgen: Das Thema Waldumbau beschäftigt sie. Es stellt sich zunehmend die Frage, ob die vergangenen drei Dürrejahre klimatisch gesehen künftig eher den Normalzustand wiedergeben als die Jahrzehnte zuvor: „Wir müssen uns damit auseinandersetzen, ob die Jahre 2018, 2019 und 2020 sozusagen das ‚neue Normal‘ sind“, vermutet Rebmann. Umso wertvoller und aussagekräftiger seien lange Zeitreihen, wie TERENO und ICOS sie verfolgt, um Veränderungen im Wald nicht nur fundiert zu belegen, sondern auch die Ursachen zu benennen.

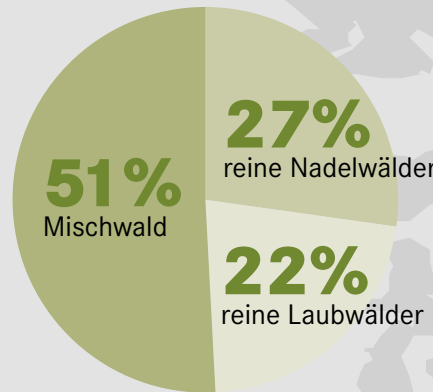
Buchen als Umweltarchiv

Auf eine solche Zeitreihe von gut 1000 Jahren kann ein Team aus Forschenden der Universität Greifswald, des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ) in Potsdam und weiteren Universitäten und Forschungseinrichtungen blicken. Die Zeitreihe haben die Forscher für eine Studie ausgewertet, in deren Mittelpunkt die Buche steht. Die Daten basieren zum einen auf den bis zu 300 Jahre alten Buchen, die im Müritz-Nationalpark stehen, sowie auf archäologischen Untersuchungen von Bauhölzern aus den letzten tausend Jahren. „Da die Buche besonders sensibel auf Dürreperioden reagiert, lässt sich anhand der jeweiligen Jahresringe genau ablesen, wie trocken das Jahr war“, erklärt Dr. Ingo Heinrich, einer der beteiligten Ko-Autoren vom GFZ und Koordinator des TERENO-Observatoriums „Nordostdeutsches Tiefland“.

Die Jahresringe sind ein einmaliges Archiv früherer Umweltbedingungen. Sind die klimatischen Bedingungen gut, sind sie breit, in ungünstigen Jahren fällt das Wachstum gering aus und sie bleiben schmal. „Die Ergebnisse erlauben es uns, die hoch aufgelösten Wachstumsdaten der gerade erst vergangenen Jahre, die aus unserem TERENO-Baummonitoring stammen, in einen Datenkontext von tausend Jahren zu stellen. Wir können so das Wachstumsverhalten vergleichen und die vergangenen Jahre besser einordnen“, sagt Heinrich.

ZAHLEN ZUM WALD IN DEUTSCHLAND

So verteilt sich der Wald

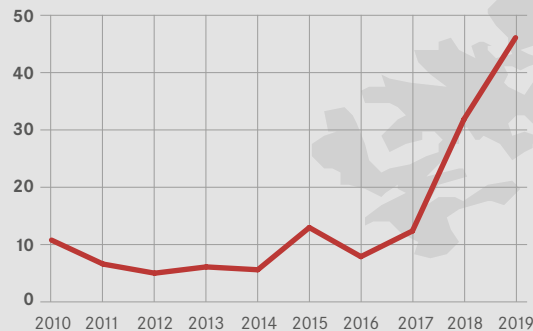


30%
der Bodenfläche
Deutschlands sind Wald.
Das sind rund
10,7 Millionen Hektar.

Quellen: Statistisches Bundesamt, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Schadholzeinschlag

in Millionen Kubikmetern



Jahrelang wurde in etwa die gleiche Menge Holz von geschädigten Bäumen gesammelt. 2018 und 2019 ist die Menge deutlich angestiegen.

Quelle: Statistisches Bundesamt, 2020

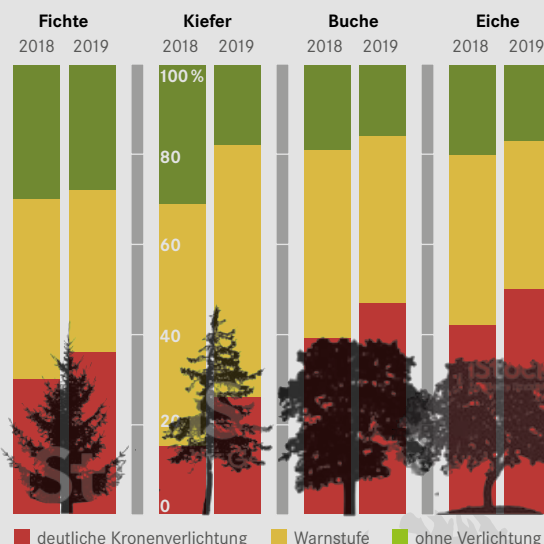
62
Millionen
Tonnen
Kohlendioxid

entnehmen die deutschen Wälder jährlich der Atmosphäre.

Das entspricht knapp 8 Prozent der 805 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen, die 2019 in Deutschland produziert wurden.

Quellen: Kohlenstoffinventur 2017, Umweltbundesamt

Zustand der Baumkronen



Geht es einem Baum schlecht, wirft er Blätter, Früchte oder sogar Äste ab – dadurch werden die Baumkronen lichter. Der Zustand der Baumkronen in Deutschland wird seit 1984 jährlich erfasst. Bei allen Baumarten hat sich 2019 der Zustand gegenüber dem Vorjahr verschlechtert. Im Durchschnitt war der Zustand noch nie so schlecht.

Quelle: Waldzustandserhebung 2019

Dürren im Mittelalter

Eine wichtige Erkenntnis der Studie: Mit hoher Wahrscheinlichkeit waren trockene Wetterverhältnisse – wie etwa im Jahr 2018 – in den Sommern des Mittelalters nichts Ungewöhnliches. „Offensichtlich überleben die Buchen derartige Dürreperioden, aber eben auf einem sehr niedrigen Wachstumsniveau“, resümiert Heinrich.

Für den Extremsommer 2018 hatten die Forscher anhand der Monitoringdaten herausgefunden, dass die Wachstumsrate der Buche trotz Dürre sogar um 65 Prozent höher lag als im langjährigen Mittel. Die Waldkiefer hingegen hat ihre Wachstumsrate 2018 um 60 Prozent verringert, die Eiche zeigte gegenüber den Jahren zuvor keine Veränderungen. „Die Buche hat vermutlich von den guten Ausgangsbedingungen zu Beginn der Wachstumszeit im April und Mai profitiert“, erklärt der Forscher. Nach dem niederschlagsreichen Winter 2017/2018 war der Boden feucht genug und die Temperaturen wechselten Ende Mai sehr abrupt von kalt zu warm. „Diese kombinierten Bedingungen haben das Wachstum der Buchen scheinbar besonders gefördert“, so Heinrich. 2019 stellt sich jedoch eine völlig neue Situation dar. Die Buche hat ihr

Stammwachstum nahezu eingestellt und nur einen sehr kleinen Jahresring gebildet. „Infolge eines niederschlagsarmen Winters waren die Böden zu trocken, was vermutlich zu einer Unterversorgung der Bäume geführt hat. Daraus ergibt sich, dass die fehlenden Reserven im Frühjahr 2019 zu einer Wachstumsverzögerung geführt haben, weil die Bäume nach der Winterruhe erst neue Photosyntheseprodukte bilden müssen, mit denen die Holzzellen des Jahrrings 2019 produziert wurden“, erklärt Heinrich.

Wie es 2020 aussieht, bleibt abzuwarten, denn zumindest im Juni und Juli regnete es immer mal wieder im Untersuchungsgebiet. Davon konnten in erster Linie die Bäume profitieren, aber weniger der Landschaftswasserhaushalt. Allerdings hat der Regen nicht ausgereicht, um den Grundwasserspeicher aufzufüllen. Entsprechend niedrig sind die Pegelstände der Seen im Untersuchungsgebiet, die sich aus Grundwasser und Niederschlag speisen.

Vergleichbar mit dem Standort Hohes Holz weiter südlich geht es dem Mischwald auch im Müritz-Nationalpark im Verhältnis zu den deutschen Fichtenbeständen gut: größere

Insektenprobleme gibt es im gesamten Untersuchungsgebiet bisher nicht. „Aber wir befinden uns an der Grenze von dem, was die Bäume aushalten können. Wenn weitere Dürren folgen, wird auch die natürliche Bewaldung ihre Probleme bekommen“, vermutet Heinrich.

Alexander Graf, et al. (2020). *Altered energy partitioning across terrestrial ecosystems in the European drought year 2018. Philosophical Transactions of the Royal Society B, Band 375, Ausgabe 1810.*

► [DOI: 10.1098/rstb.2019.0524](https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0524)

Knut Kaiser et al. (2020). *Cut and covered: Subfossil trees in buried soils reflect medieval forest composition and exploitation of the central European uplands. Geoarchaeology, Band 35, Ausgabe 1, Seite 42–62.*

► [DOI: 10.1002/gea.21756](https://doi.org/10.1002/gea.21756)

Aufgrund der Trockenheit sind 2019 die Buchen im Nationalpark Müritz kaum gewachsen.

© Barbara Lüthi-Herrmann

NUTZUNGSRECHTE
ANGEFRAGT



© privat

Waldexpertin Nadine Rühr untersucht die Stressreaktionen von Bäumen.

Hitze und Trockenheit bremsen CO₂-Aufnahme

Eine, die sich große Sorgen um den deutschen Wald macht, ist Dr. Nadine Rühr. Die Waldexpertin leitet am Karlsruher Institut für Technologie das Plant Ecophysiology Lab und ergänzt seit 2020 das Scientific Steering Committee von TERENO: „Wir wissen, dass der Klimawandel und damit einhergehende extreme Wetterereignisse unsere Wälder verändern werden, aber wie viele Bäume dadurch sterben könnten, lässt sich nur schwer quantifizieren. Da fehlt es bisher an koordinierten Beobachtungsansätzen.“ Vor allem das sogenannte diffuse Sterben der Bäume aufgrund von Dürre- und Hitzeperioden sei viel schwerer zu erfassen als beispielsweise ein Flächensterben der Fichten – ausgelöst durch Windwurf oder den Borkenkäfer. Um Trends in der Baumsterblichkeit besser zu erfassen, hat Frau Rühr zusammen mit Kollegen das International Tree Mortality Network gegründet, das Forscher und Waldexperten aus aller Welt zusammenbringt, um innovative Methoden zu entwickeln.

Nadine Rühr hat außerdem untersucht, ob die steigende atmosphärische CO₂-Konzentration möglicherweise den Bäumen helfen kann, künftige mit Hitzewellen einhergehende Dürreperioden besser zu verkraften. Bei Untersuchungen an der Aleppo-Kiefer, die in mediterranen Breiten wächst und gut trocken-adaptiert ist, hat sie herausgefunden, dass erhöhte CO₂-Konzentrationen kaum Vorteile für diesen Nadelbaum bringen. Kohlendioxid ist eigentlich der limitierende Faktor für die Photosynthese. „Man könnte also annehmen, dass ein hohes Angebot an Kohlendioxid dazu beiträgt, dass die Bäume besser wachsen“, erklärt die Wissenschaftlerin. Ihre Ergebnisse allerdings erzählen eine andere Geschichte: Konkret untersuchte die Forschungsgruppe, wie sich eine Verdopplung der heutigen

CO₂-Konzentration bei erhöhten Temperaturen und Trockenheit auf den Kohlenstoffwechsel und die Wassernutzungseffizienz von Aleppo-Kiefern auswirkt. Die Analysen zeigen, dass bei erhöhtem CO₂-Gehalt der Luft und bei gleichzeitigem Hitzestress der Wasserverlust der Bäume vermindert und die Wassernutzungseffizienz erhöht waren – sozusagen ein Plus für den Wasserhaushalt. Die Forscher stellten jedoch auch fest, dass dabei die Nettokohlenstoffaufnahme deutlich sank. „Bei zu großer Hitze und Trockenheit bleiben die Spaltöffnungen der Nadeln weitgehend geschlossen, damit kein Wasser mehr verdunstet. Damit gelangt aber auch kaum noch CO₂ in die Nadeln“, erklärt Rühr. Der Stoffwechsel kann somit das CO₂-Überangebot kaum nutzen.

Damit fiel die positive Wirkung der erhöhten CO₂-Konzentration auf die Stressreaktionen der Bäume insgesamt bescheiden aus. Mit zunehmender Hitze und Trockenheit ging sie sogar stark zurück. Deshalb steht für Rühr fest: „Der Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre kann die Belastung der Aleppo-Kiefer durch extreme klimatische Bedingungen wie Hitze und Dürre nicht ausgleichen.“

Und auch die „Spätfolgen“ der langanhaltenden Dürreperioden für Bäume lassen sich noch nicht abschätzen: „Man sollte meinen, dass ein Nadelbaum wie die Kiefer sich rasch erholt, wenn es endlich wieder regnet“, erklärt Rühr. Aber das sei nicht immer der Fall: War der Trockenstress zu stark, kann der Baum irreparable Schäden davontragen. Der Hintergrund: Merkt ein Baum, dass Wasser zu knapp wird, schließt er seine Spaltöffnungen, um nicht noch mehr Wasser zu verdunsten. Im Zweifelsfall kann ein Laubbaum alle seine Blätter abwerfen, was ihn eventuell vor der

Austrocknung schützen kann. Anders bei Nadelbäumen: Bei andauernder Trockenheit und Hitze verlieren sie, trotz geschlossener Spaltöffnungen, über die Nadeln immer mehr Feuchtigkeit und trocknen aus. Wenn kein Wasser aus dem Boden mehr nachkommt, kann der Wasserstrom abreißen „Im Xylem, also in den Wasserleitungsbahnen, bilden sich dann Luftblasen“, erklärt Rühr. Forscher sprechen von Embolien. Eine Untersuchung ihrer Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass diese Luftblasen in Waldkiefern bestehen bleiben, auch noch einen Monat nach Wiederbewässerung. Der Transpirationsfluss nach oben bleibt somit reduziert, die Spaltöffnungen bleiben nur teilweise geöffnet und die Photosyntheseleistung vermindert. „Welche Rolle solche Embolien beim diffusen Baumsterben und der Erholungsfähigkeit nach Trockenstress spielen, ist noch nicht eindeutig geklärt“, resümiert Rühr. Für die Zukunft erhofft sie sich, dass noch viel mehr Daten – eben auch aus den TERENO-Observatorien – mehr Licht ins Dunkel bringen.

Bernhard Schuldt et al. (2020). *A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. Basic and Applied Ecology, Band 45, Seite 86–103.*

▶ DOI: [10.1016/j.baae.2020.04.003](https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003)

Benjamin Birami et al. (2020). *Hot drought reduces the effects of elevated CO₂ on tree water use efficiency and carbon metabolism. New Phytologist, Band 226, Ausgabe 6, Seite 1607–1621.*

▶ DOI: [10.1111/nph.16471](https://doi.org/10.1111/nph.16471)

▶ International Tree Mortality Network

„VIELFALT STREUT DAS RISIKO“

Interview mit Staatssekretär Uwe Feiler zur Situation der Wälder

Uwe Feiler ist seit 2019 parlamentarischer Staatssekretär bei der Bundesministerin für Ernährung und Landwirtschaft, Julia Klöckner. Zu seinen Aufgaben zählt der Informationsaustausch zwischen Regierung und Parlament. Im Interview spricht er über die Pläne des Landwirtschaftsministeriums zum Waldumbau, was mit den nach dem Waldgipfel 2019 beschlossenen 800 Millionen Euro Fördermitteln passiert und wie der Klimaschutz vorangetrieben werden soll.



© BMEL Photothek

Staatssekretär Uwe Feiler

Herr Staatssekretär Feiler, im Sommer 2019 mahnte Ministerin Klöckner, dass in den Achtzigerjahren alle vom Waldsterben gesprochen hätten, jetzt sei der Wald in weiten Teilen am Sterben, und kaum einer rede davon. Ein Jahr später, wie sieht die Lage heute aus?

Die Brisanz ist zum großen Teil bei der Bevölkerung angekommen – seit drei Jahren sind unsere Wälder im Dauerstress. Stürme, Trockenheit und der Borkenkäfer haben massive Schäden angerichtet. Rund 800 Millionen Euro von Bund und Ländern stehen für die Räumung und den Umbau hin zu klimastabilen Mischwäldern zur Verfügung. Aus dem Konjunkturpaket fließen darüber hinaus noch einmal 700 Millionen in den Wald und in die verstärkte Holznutzung. Den Waldumbau treiben wir voran. Und wir schaffen gesellschaftliches Bewusstsein, wie dringend wir den Wald brauchen. Als Klimaschützer, als Wirtschaftsfaktor, als Erholungsort.

Was wurde bislang mit den von Ihnen genannten Fördermitteln finanziert?

Grundsätzlich sind die Länder dafür zuständig, die Hilfen umzusetzen. Sie entscheiden innerhalb der vorgegebenen Zweckbindungen, welcher Anteil für welche Fördermaßnahme eingesetzt wird. Der Schwerpunkt des 800-Millionen-Paketes liegt in den Bereichen Forstschutz, Borkenkäferbekämpfung, Aufarbeitung und Lagerung im Bereich des Waldumbaus und der Wiederaufforstung. Das Konjunkturpaket soll im Wald- und Holzbereich über drei Punkte umgesetzt werden. Eine Prämie zum Erhalt und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder in Höhe von 500 Millionen Euro, ein 100-Millionen-Investitionsprogramm „Wald und Holz“ sowie die Förderung des klimafreundlichen Bauens mit Holz in Höhe von 100 Millionen Euro.

Bis zum Sommer 2020 wurde weniger als ein Viertel der Fördermittel für 2020 ausgezahlt. Woran liegt das und wie kann diese Zahl erhöht werden?

Für den Abfluss der Mittel aus dem 800-Millionen-Paket sind allein die Bundesländer zuständig. Sie entwickeln die Förderrichtlinien und sind für das Antrags- und Bewilligungsverfahren verantwortlich. Wir erwarten, dass diese Verfahren so gestaltet sind, dass sie von den Waldeigentümern möglichst einfach und unbürokratisch in Anspruch genommen werden können. Nur das garantiert, dass die bereitgestellte Unterstützung auch in der Fläche ankommt. Als Bund haben wir unseren Teil geleistet und die vereinbarten Bundesgelder schnell zur Verfügung gestellt!

Sind weitere finanzielle Maßnahmen vorgesehen?

Eine von uns eingesetzte Bund-Länder-Arbeitsgruppe berät uns, ob und mit welchen Instrumenten wir honorieren können, dass der Wald und die nachhaltige Waldwirtschaft jährlich die Atmosphäre um rund 127 Millionen Tonnen CO₂ entlasten. Das wird von manchen als „Baumprämie“ bezeichnet.

Auch 2020 droht sehr trocken zu werden, Experten befürchten, dass Dürren durch den Klimawandel häufiger werden. Anpassungsmaßnahmen für Wald- und Forstwirtschaft werden gefordert. Welche Maßnahmen sind aus Sicht des Ministeriums besonders Erfolg versprechend?

Vielfalt streut das Risiko. Mischwälder eignen sich am besten zur Anpassung an den Klimawandel. Diesen Umbau fördern wir. Und das ist unsere klare Haltung: Bei der Wiederaufforstung geschädigter Wälder sind reine Nadelbaumkulturen sowie Mischkulturen mit weniger als 30 Prozent Laubbaumanteil in der Regel nicht förderfähig. Und wir holen die Wissenschaft mit ins Boot und fördern das. Zum Beispiel werden verschiedene Baumarten mit genetischen Variationen an verschiedenen Standorten und unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen untersucht.

Eine zentrale Rolle bei der Bewältigung des Klimawandels in Deutschland spielt das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung. Das Programm sieht vor, die jährlichen Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft von rund 70 Millionen auf 58 Millionen Tonnen zu reduzieren. Wo und wie kann die Landwirtschaft konkret Emissionen reduzieren?

Eines vorweg: Die Landwirtschaft produziert unsere Lebensmittel und das verursacht unvermeidlich Emissionen. Richtig ist zudem, dass kaum jemand so existentiell unter dem Klimawandel leidet wie unsere Bauern. Zu trockene oder zu nasse Jahre bedeuten teils erhebliche Einbußen für die Betriebe. Die Landwirtschaft ist also Opfer und Beteiligter gleichermaßen, aber eben auch Lösungsbringer beim Klimawandel. Denn die Landnutzung bietet mehrere Möglichkeiten, CO₂ zu binden. Unser 10-Punkte-Plan, den wir als erstes Ministerium zum Klimakabinett vorgelegt haben, beinhaltet genau das. Unser Ziel ist es, den Humusaufbau im Ackerland zu fördern, Dauergrünland zu erhalten, Moorböden zu schützen und die Wälder nachhaltig zu bewirtschaften. Ich habe bereits angeführt, dass Forst und Holz mit über 127 Millionen Tonnen CO₂ rund 14 Prozent des jährlichen CO₂-Ausstoßes in Deutschland binden.

11. TERENO-WORKSHOP: DIE DÜRRE 2018



© GFZ/Ingo Heinrich

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des TERENO-Workshops vor dem GFZ Potsdam

Mehr als 100 Expertinnen und Experten trafen sich im September 2019 in Potsdam zum 11. TERENO-Workshop, der unter dem Motto „The drought year 2018 – insights from the TERENO-Observatories“ stand. Thema des vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ vorbereiteten Workshops waren die Auswirkungen des außergewöhnlich trockenen und heißen Jahres 2018. Die TERENO-Initiative bietet mit dem jährlichen Workshop eine Gelegenheit, um sich untereinander, aber auch mit nationalen und internationalen Kooperationspartnern auszutauschen.

Nach der Eröffnung durch Prof. Reinhard Hüttel, Wissenschaftlicher Vorstand und Vorsitzender des Vorstands des GFZ, fasste Dr.

Florian Imbery vom Deutschen Wetterdienst die außergewöhnlichen Merkmale des Extremjahres 2018 zusammen. Prof. Rüdiger Glaser von der Universität Freiburg, Experte für Historische Klimatologie, präsentierte anhand von historischen Aufzeichnungen eine 500-jährige Langzeitanalyse, die bis in das Dürrejahr 2018 reichte. Er machte deutlich, dass es auch schon in früheren Jahren verheerende Dürren gab, etwa 1540 und 1947. Allerdings wies er auch auf die sich dynamisch entwickelnde Verwundbarkeit und Belastbarkeit der jeweiligen Gesellschaften hin.

Das breit gefächerte Spektrum der Fachvorträge reichte von der Vorstellung des vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

– UFZ entwickelten Dürre-Monitors bis hin zu einer detaillierten Analyse von Baumwachstum und Wasserhaushalt im TERENO-Nordost-Waldobservatorium für 2018. Zwei Mini-Workshops befassten sich anschließend mit den Auswirkungen des Extremjahres auf das Verhältnis von Boden, Pflanzen und Atmosphäre sowie mit einer besseren Verknüpfung von TERENO mit anderen Initiativen wie dem Erdbeobachtungssystem MOSES oder dem ESM-Projekt für Erdsystemmodellierung.

Anlässlich des Workshops kam auch der mit unabhängigen Wissenschaftlern besetzte TERENO-Beirat zusammen, der die aus seiner Sicht sehr erfolgreiche TERENO-Forschung lobte.

MESSKAMPAGNE AM WÜSTEBACH



© UFZ/Carmen Zengerle

Der Blick von oben: Luftschiff über dem Standort Wüstebach

Die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Forschungsgruppe „Cosmic Sense“ führt im Herbst 2020 eine mehrwöchige Messkampagne am TERENO-Standort Wüstebach durch, um die Bodenfeuchte und deren Veränderung flächendeckend

zu erfassen. Dazu setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zusätzlich zu den TERENO-Instrumenten 15 stationäre Cosmic-Ray-Neutron-Sensoren sowie drei mobile Cosmic-Ray-Rover und ein mit einem Neutronendetektor ausgerüstetes Luftschiff ein. Diese Geräte erlauben es, Schwankungen der Neutronenintensität an der Erdoberfläche zu ermitteln. Daraus lässt sich ableiten, wie sich Wasser in den Böden verteilt. Die Forscher wollen mithilfe dieser Methode ermitteln, wie sich Niederschläge, Verdunstung und tiefe Versickerung sowohl auf die Bodenfeuchte als auch auf die Wasserspeicher der Pflanzen in einem Einzugsgebiet auswirken. Außerdem werden Drohnen und ein Gravimeter eingesetzt. Die Ergebnisse sollen helfen, nicht nur die Prozesse des Wasserkreislaufes besser zu verstehen, sondern auch hydrologische Modelle zu optimieren. Beteiligt sind die Universität Potsdam als Projektleiter, die TU Berlin, die Universität Heidelberg sowie die vier TERENO-Mitglieder Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum, Karlsruher Institut für Technologie und Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung.

▶ DFG-Forschungsgruppe Cosmic Sense

ERSTE INTERNATIONALE OZCAR-TERENO-KONFERENZ: ADVANCING CRITICAL ZONE SCIENCE

Voraussichtlich Oktober 2021* | Straßburg

Das französische Forschungsnetzwerk OZCAR (Observatoires de la Zone Critique : Application et Recherche) und die TERENO-Initiative organisieren künftig alle zwei Jahre eine gemeinsame internationale Konferenz zur Critical-Zone-Forschung. Der Auftakt ist Oktober 2021 im französischen Straßburg geplant. Im Mittelpunkt werden unter anderem die Austauschprozesse zwischen Boden, Vegetation und Atmosphäre sowie deren Langzeit-Beobachtung stehen, aber auch neue Messmethoden und Modellierungsansätze. Vorgesehen sind Vorträge, Präsentationen und Posterausstellungen zu diversen Fachgebieten: von Hydrologie und Bodenforschung über Geophysik und Geochemie bis hin zu Ökologie und Sozio-Ökologie.

Die deutsch-französische Veranstaltung setzt die internationale TERENO-Konferenz fort, die 2014 in Bonn und 2018 in Berlin stattfand. Sie wird von der europäischen Forschungsinfrastruktur eLTER RI (European Long-Term Ecosystem, Critical Zone and Socio-Ecological Research Infrastructure) unterstützt.

▶ OZCAR-TERENO-Konferenz

* Der ursprüngliche Termin im Herbst 2020 wurde aufgrund der Corona-Pandemie verschoben. Auch der neue Termin steht unter dem Vorbehalt möglicher Einschränkungen.

GRÜNLAND NACHHALTIG NUTZEN

Projekt SUSALPS untersucht Alpen und Alpenvorland im Klimawandel

Blühende Wiesen und Weiden prägen das Landschaftsbild der Alpen und des Alpenvorlands. Doch Klimawandel und intensive Bewirtschaftung gefährden die Grünlandökosysteme. Im Projekt SUSALPS entwickeln Forscher nachhaltige Bewirtschaftungsformen, um die Klimaschutzfunktion der Böden zu unterstützen.

Grünlandökosysteme sind in den süddeutschen Alpen und im Alpenvorland mit einer Gesamtfläche von mehr als einer Million Hektar weit verbreitet. Neben ihrer ökonomischen Bedeutung durch die Bereitstellung von Futter für die Milch- und Fleischproduktion erfüllen Grünlandflächen eine Reihe wichtiger Ökosystemfunktionen wie Speicherung von Kohlenstoff und Stickstoff, Wasserversorgung, Erosionsschutz und Biodiversität. Durch Änderungen des Klimas, der Landnutzung und der Bewirtschaftung ist diese multiple Funktionalität von Grünlandökosystemen allerdings stark gefährdet. Ziel des Projekts „Nachhaltige Nutzung von Grünland in den Alpen und im Alpenvorland im Klimawandel“ (SUSALPS) ist es, das Wissen über die Auswirkungen derzeitiger und zukünftiger Klima- und Bewirtschaftungsbedingungen auf wichtige Ökosystemfunktionen von Grünlandböden zu verbessern. Dabei werden regionsspezifische

sozio-ökonomische Rahmenbedingungen berücksichtigt. Auf Basis der erhobenen Feld- und Labordaten sowie gestützt durch biogeochemische und ökonomische Modellierung entwickeln die Projektpartner zusammen mit Landwirten aus der Region nachhaltige Bewirtschaftungsformen für das Grünland.

SUSALPS nutzt für seine Arbeiten auch die Grünlandstandorte des TERENO-Observatoriums „Voralpenraum“, die das Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT/IMK-IFU) seit 2010 entlang eines Höhen- und damit Klimagradienten im Einzugsgebiet der Ammer instrumentiert hat. Auch TERENO profitiert von der Nutzung seiner Infrastruktur und Daten: Sowohl das Spektrum der Untersuchungsstandorte als auch die wissenschaftlichen Fragestellungen werden erweitert.

An SUSALPS beteiligt sind neben dem KIT/IMK-IFU unter anderem die Technische Universität München, die Universitäten Bayreuth und Würzburg, das Helmholtz Zentrum München sowie die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Das interdisziplinäre Vorhaben ist eines von elf Verbundprojekten der Forschungsinitiative „Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie“ (BonaRes), die das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert.

▶ SUSALPS – Nachhaltige Nutzung von Grünland in den Alpen und im Alpenvorland im Klimawandel

▶ BonaRes – Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie

eLTER RI: ZWEI NEUE FORSCHUNGSPROJEKTE

Die EU fördert zwei neue Projekte für den Aufbau von eLTER RI, einer dauerhaften Infrastruktur für die Langzeit-Ökosystemforschung in Europa, an der auch TERENO beteiligt ist. Die EU-Finanzierung in Höhe von insgesamt 14 Millionen Euro wird sowohl bedeutende organisatorische Fortschritte ermöglichen als auch die wissenschaftliche Arbeit an den Standorten und Plattformen von eLTER erheblich vorantreiben. Der Start der Infrastruktur ist für 2024 vorgesehen.



Das Vorhaben eLTER PPP (Preparatory Phase Project) wird sich um die operative, technische und strategische Entwicklung an den rund 250 Standorten in Europa kümmern. Die Standorte sollen im europäischen Maßstab untersucht und bewertet, wie sich etwa der Klimawandel auswirkt und wie dadurch Ökosystemleistungen beeinflusst werden. Ziel ist es, die wichtigsten europäischen terrestrischen und Süßwasser-Lebensräume sowie sozial-ökologischen Zonen umfassend und systematisch zu erfassen. Dafür werden sowohl größere multidisziplinäre Plattformen als auch kleinere Forschungsstandorte zur Infrastruktur gehören. TERENO ist hierbei ein wichtiger Baustein. TERENO hat

die Entwicklung von eLTER RI seit Jahren begleitet und ist auch an beiden Forschungsprojekten beteiligt. So koordiniert das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ das Projekt eLTER PPP.

Außerdem wollen die Projektpartner in eLTER PPP harmonisierte Methoden und Forschungsansätze entwickeln und etablieren. Ein weiteres wichtiges Ziel: den Zugang zu Daten zu erleichtern und eine breite Palette von Nutzergruppen, von der Forschung bis zur Politik, umfassend zu unterstützen.

Das Advanced Community Project eLTER PLUS wird bis dahin die Leistungsfähigkeit der entstehenden Infrastruktur bis hin zum operativen Betrieb im Detail prüfen und verbessern. Dabei geht es darum, das beste Fachwissen mit der besten Infrastruktur zu kombinieren. Des Weiteren wird eLTER PLUS die gemeinsame Nutzung von Wissen und Infrastruktur durch die verschiedenen Nutzergruppen optimieren und fördern.

Die Resultate von eLTER PLUS sind damit auch ein wichtiger Beitrag für das eLTER PPP-Projekt. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf ein umfassendes Verständnis der Anforderungen der Wissenschaft an die eLTER Forschungsinfrastruktur, die gemeinsame Abstimmung von Standards für die Umweltbeobachtung oder die Bereitstellung von zentralen Dienstleistungen. All das sind unerlässliche Aspekte für den nachhaltigen paneuropäischen Betrieb der eLTER RI, an der insgesamt 34 Partner aus 24 Ländern beteiligt sind. „eLTER PLUS und eLTER PPP ebnen den Weg für eine neue Art von transdisziplinärer Wissenschaft, die in der Welt der immer stärkeren Gefährdung unserer Ökosysteme dringend benötigt wird“, sagt eLTER PLUS-Koordinatorin und Mitglied des TERENO Advisory Boards Prof. Jaana Bäck von der Universität Helsinki, Finnland.

▶ eLTER RI

NEUE MITGLIEDER

Das TERENO Scientific Steering Committee (SSC) hat drei Wissenschaftlerinnen als neue Mitglieder aufgenommen: Seit Anfang des Jahres sind Dr. Theresa Blume und Juniorprofessorin Susanne Liebner vom Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) dabei, nun kommt noch Dr. Nadine Rühr vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU) des Karlsruher Instituts für Technologie hinzu. Das SSC legt Ziele sowie Prioritäten von TERENO fest und entscheidet etwa über Kooperationen mit anderen Einrichtungen.



Nadine Rühr leitet am IMK-IFU die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Emmy-Noether-Forschungsgruppe „Pflanzen-Ökophysiologie“, die sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder beschäftigt. Ein Fokus ihrer Forschung ist es, Stressreaktionen von Bäumen besser zu verstehen, um abzuschätzen, wie sich extreme Dürren auf den Kohlenstoff- und Wasserkreislauf in Wäldern langfristig auswirken.

Susanne Liebner ist Juniorprofessorin für molekulare Umweltmikrobiologie, eine gemeinsame Berufung von GFZ und Universität Potsdam. Am GFZ leitet sie die Arbeitsgruppe „Mikrobielle Kohlenstoffdynamik im Klimasystem“, die sich vor allem mit der mikrobiellen Bildung und dem Verbrauch von Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan an der Erdoberfläche und dem Untergrund beschäftigt. Ihr Schwerpunkt liegt dabei auf mikrobiellen Prozessen des Kohlenstoffkreislaufes in Permafrost- und Moorstandorten.



Theresa Blume leitet die Arbeitsgruppe „Hang- und Ökohydrologie“ am GFZ und ist wissenschaftliche Sprecherin des TERENO-Observatoriums „Nordostdeutsches Tiefland“. Ihr Forschungsschwerpunkt ist die Untersuchung hydrologischer Prozesse von Hängen und Einzugsgebieten, für die sie neueste experimentelle Methoden, Sensorik und Computersimulationen kombiniert.

EVAPOTRANSPIRATION: NACHTS IST MEHR LOS, ALS MAN DENKT!

Die Wasserabgabe von Pflanzen und die Verdunstung von Böden, die sogenannte Evapotranspiration, ist nach dem Niederschlag der zweitgrößte Fluss im globalen terrestrischen Wasserkreislauf. Sie tritt hauptsächlich tagsüber auf. Jüngste Untersuchungen von Wissenschaftlern um die Jülicher Forscher Dr. Jannis Groh und Dr. Thomas Pütz legen jedoch nahe, dass auch nachts durch solche Prozesse erhebliche Mengen an Wasser verloren gehen.

Bislang hat die Forschung dem Wasserentzug durch Evapotranspiration während der Nacht weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Prinzipiell kann die nächtliche Evapotranspiration anhand von Modellen, die meteorologische Daten verwenden, vorhergesagt werden. Aufgrund fehlender Langzeitbeobachtungen ist ihre Überprüfung jedoch bisher nur begrenzt möglich. Daher stellen die Vorhersage und Messung von Evapotranspiration in der Nacht als Teil der hydrologischen Prozesse auf der Landoberfläche eine große wissenschaftliche Herausforderung dar.

„Mithilfe von präzisen und zeitlich hochaufgelösten Messungen des TERENO-Lysimeternetzwerks SOILCan aus den Jahren 2013 bis 2016 haben wir den Wasserverlust zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang für zwei Grünlandökosysteme in Westdeutschland quantifiziert. Die nächtliche Evapotranspiration betrug dabei zwischen



Jannis Groh (r.) und Thomas Pütz an der SOILCan-Lysimeteranlage in Selhausen

3,5 und 9,5 Prozent der jährlichen Evapotranspiration am Tag“, berichtet Jannis Groh. Die nächtliche Evapotranspiration trat hauptsächlich auf, wenn die Landoberfläche feucht war, und korrelierte positiv mit der Windgeschwindigkeit. „Das deutet darauf hin, dass nächtliche Wasserverluste an diesen Standorten weitgehend mit der Verdunstung von mit Wasser benetzten Pflanzen und Bodenoberflächen zusammenhängen“, sagt Thomas Pütz. Das Auftreten heißer Tage während der Beobachtungszeiträume erhöhte die nächtlichen Evapotranspirationsraten erheblich. „Insgesamt deuten unsere Ergebnisse darauf

hin, dass die nächtliche Evapotranspiration mit Lysimetern beobachtet werden kann und die Evapotranspiration auch nachts ein wichtiger Bestandteil des terrestrischen Wasserkreislaufs von Grünland-Ökosystemen ist“, so Jannis Groh.

J. Groh, T. Pütz, H. H. Gerke, J. Vanderborght und H. Vereecken (2019). *Quantification and Prediction of Nighttime Evapotranspiration for Two Distinct Grassland Ecosystems. Water Resources Research 55 (4), Seite 2961–2975.*

▶ [DOI: 10.1029/2018WR024072](https://doi.org/10.1029/2018WR024072)

UNTERSCHIEDE BEI DER LACHGAS-BILDUNG

Hydroxylamin (NH_2OH) und Nitrit (NO_2^-) sind wichtige Zwischenprodukte des Stickstoffkreislaufs in Böden. Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Emission von Distickstoffoxid (N_2O), auch Lachgas genannt. Wie ihre Rollen genau aussehen, haben deutsche und chinesische Wissenschaftler mithilfe von Bodenproben aus dem TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ untersucht. Ihre Erkenntnisse könnten der Landwirtschaft helfen, geeignete Zeitpunkte für die Düngung festzulegen, um Stickstoff-Verluste von Ackerböden zu minimieren.

Der Stickstoffkreislauf ist eine Verknüpfung komplexer Prozesse, bei denen immer wieder stickstoffhaltige Verbindungen in andere stickstoffhaltige Stoffe umgewandelt werden. Wichtige Akteure bei Prozessen in Böden sind Mikroorganismen: Bakterien, Pilze und Archaeen, von denen einige ohne Sauerstoff auskommen.

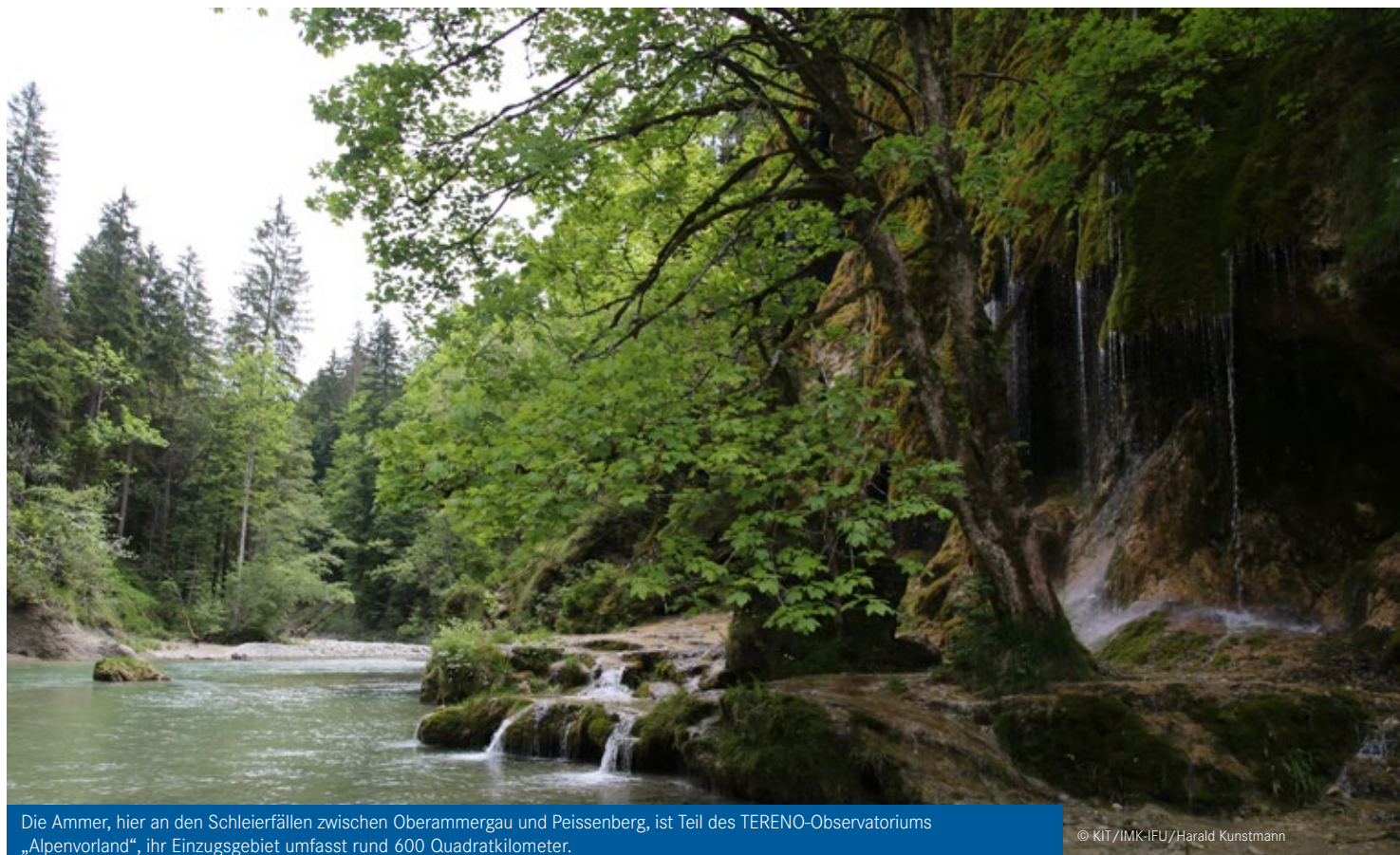
Das Team um Prof. Nicolas Brüggemann vom Forschungszentrum Jülich und Dr. Shurong Liu, mittlere Universität Wien, sowie Prof. Michael Schlöter vom Helmholtz-Zentrum München hatte Bodenproben aus drei Ökosystemen des TERENO-Untersuchungsgebiets Eifel-Rur entnommen: aus Grasland, Ackerland und Wald mit Uferzone. Im Labor untersuchten sie unter unterschiedlichen Bedingungen die Lachgas-Bildung. Die Forscher lagerten dazu unter anderem eine Woche lang einen Teil der Proben mit und einen anderen Teil ohne

Sauerstoffzufuhr. Bei jeweils der Hälfte wurden außerdem Mikroorganismen durch Gammastrahlung abgetötet.

Bei den Proben ohne Sauerstoffzufuhr sank die Lachgas-Produktion aus Hydroxylamin deutlich, während die Produktion aus Nitrit anstieg. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Hydroxylamin eine wichtige Rolle in der abiotischen Lachgas-Bildung spielt, bei der der letzte Schritt der N_2O -Bildung ohne Beteiligung von Mikroorganismen erfolgt. Das gilt insbesondere für Böden mit niedrigem Gehalt an organischem Kohlenstoff und hohem Mangan-Gehalt. Dagegen scheint Nitrit vor allem für die biotische Lachgas-Produktion relevant zu sein, bei der alle Schritte der N_2O -Bildung durch Mikroorganismen ausgeführt werden. Das gilt insbesondere nach längeren Phasen ohne Sauerstoffzufuhr. Ein entscheidender Faktor dabei: ein hoher Ammoniumgehalt des Bodens. Die Forscher fanden außerdem heraus, dass die Zugabe von Nitrit die Lachgas-Produktion am stärksten im Graslandboden erhöhte, während die Zugabe von Hydroxylamin die Lachgas-Emissionen aus dem Ackerboden am stärksten erhöhte.

Shurong Liu et al. (2019). *Hydroxylamine Contributes More to Abiotic N_2O Production in Soils Than Nitrite.* *Frontiers in Environmental Science*, 17, April 2019.

▶ [DOI: 10.3389/fenvs.2019.00047](https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00047)



Die Ammer, hier an den Schleierfällen zwischen Oberammergau und Peissenberg, ist Teil des TERENO-Observatoriums „Alpenvorland“, ihr Einzugsgebiet umfasst rund 600 Quadratkilometer.

© KIT/IMK-IFU/Harald Kunstmann

SIMULATION KÜNFTIGER ABFLÜSSE IM ALPINEN GELÄNDE

Wie wird sich im Zuge des Klimawandels das Abflussverhalten von Fließgewässern im alpinen Gelände entwickeln? Diese Abschätzung ist von zentraler Bedeutung, um Anpassungsmaßnahmen zu planen. Dr. Gerhard Smiatek und Prof. Harald Kunstmann vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT/IMK-IFU) haben analysiert, welche Möglichkeiten und Grenzen kleinräumige hydrologische Klimaimpakt-Analysen für solche Abschätzungen bieten. Dafür haben sie Daten des Ammer-Einzugsgebiets im TERENO-Observatorium „Alpenvorland“ verwendet. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass extreme Wasserabläufe in den Jahren 2071 bis 2100 um rund 10 Prozent im Vergleich zu den Jahren 1975 bis 2005 steigen könnten. Es gibt allerdings erhebliche Unsicherheiten in der hydrologischen Analyse, besonders wenn ausschließlich mithilfe von Klimamodellen berechnete Niederschlagswerte verwendet werden.

„Alpine Einzugsgebiete sind eine besondere Herausforderung: Aufgrund der großen Höhenunterschiede im Flussverlauf entstehen bei Niederschlagsereignissen sehr schnell Abflüsse. Diese schnelle Abflussgenerierung reagiert besonders empfindlich auf

klimatische Veränderungen der Niederschlagsmenge und -intensität, sie erhöht zum Beispiel das Überflutungspotenzial von Extremereignissen“, erklärt Harald Kunstmann. Um den Abfluss zu quantifizieren, sind insbesondere Simulationen mit gekoppelten Klima-Hydrologie-Modellen geeignet. „Für die Modellentwicklung und -validierung bieten das an der Ammer gelegene TERENO-Observatorium und seine Instrumentierung besonders geeignete Rahmenbedingungen“, so Kunstmann.

Für ihre Untersuchung haben die beiden Forscher das hydrologische Modell WaSiM-ETH eingesetzt, es berücksichtigt Niederschlag, Temperatur, Strahlung, Wind und Feuchte. Dieses Modell kombinierten sie mit Klimasimulationen des EURO-CORDEX-Forschungsverbundes. Dabei verwendeten sie Daten von sieben verschiedenen regionalen Klimamodellen aus CORDEX, um Abfluss-Ereignisse aus den Jahren 1975 bis 2005 zu reproduzieren und künftige Abflüsse zu simulieren.

„Es stellte sich heraus, dass die CORDEX-Daten mit ihrer räumlichen Auflösung von 10 Kilometern nur bedingt geeignet sind, zukünftige Extremwerte in

Einzugsgebieten mit komplexer Höhenstruktur wie zum Beispiel der Ammer robust abzuleiten“, sagt Gerhard Smiatek. Denn WaSiM-Simulationen mit ausschließlich simulierten Klimadaten unterschätzen extreme Wasserabläufe jeweils deutlich. Dagegen konnte WaSiM den wirklichen Verlauf relativ genau abbilden, wenn tatsächlich gemessene Niederschlagswerte verwendet wurden. „Verantwortlich sind in erster Linie Defizite in der Reproduktion des Niederschlags durch die Klimamodelle“, erläutert Smiatek. Die Niederschlagsmodellierung mit voll-gekoppelten Modellsystemen, in denen Atmosphäre und Landoberfläche also in einem einzigen Modellsystem beschrieben werden und damit auch Rückkopplungen zwischen den Kompartimenten möglich sind, ist Gegenstand laufender Forschung am KIT/IMK-IFU. Zur umfassenden Validierung ist auch hier die TERENO-Instrumentierung von entscheidender Bedeutung.

G. Smiatek und H. Kunstmann (2019).
Simulating Future Runoff in a Complex Terrain Alpine Catchment with EURO-CORDEX Data.
Journal of Hydrometeorology, Vol. 20, Issue 9.

▶ DOI: [10.1175/JHM-D-18-0214.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-18-0214.1)

VERGLEICH DER MODELLE: WELCHES STELLT AUSTAUSCHPROZESSE REALISTISCHER DAR?

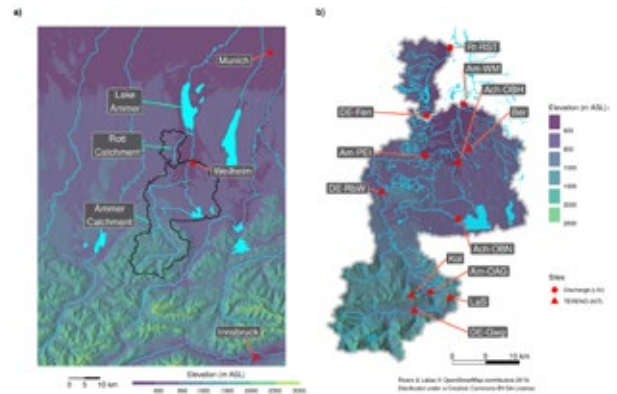
Hydrologische Prozesse wie die Speicherung von Wasser im Boden oder die räumliche Verteilung des Wassers beeinflussen den Zustand der Landoberfläche und damit die Austauschprozesse mit der erdnahen Atmosphäre. Dabei geht es etwa um den Austausch von Feuchtigkeit und Energie. Solche Prozesse wollen Forscher in ihren Modellen möglichst realistisch darstellen. Deutsche und italienische Experten haben in einer Studie zwei verschiedene Ansätze verglichen: sogenannte vollgekoppelte hydrometeorologische Modellsysteme und ungekoppelte regionale atmosphärische Modelle.

„Vollgekoppelt bedeutet, dass ein Modellsystem sowohl Atmosphäre als auch die Landoberfläche einschließlich der Wasserverteilung durch hydrologische Prozesse beschreibt und damit komplexere Interaktionen zwischen beiden berücksichtigt. Regionale atmosphärische Modelle verwenden dagegen meist eine stark vereinfachte Darstellung der Prozesse der Landoberfläche und beschreiben den Wasserkreislauf nur unvollständig“, erläutert Studienleiter Dr. Benjamin Fersch vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung

des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT/IMK-IFU).

Für die Untersuchung wurden Simulationen mit dem klassischen, ungekoppelten regionalen atmosphärischen Modell WRF (Weather Research and Forecasting Modeling System) sowie mit dem hydrologisch erweiterten WRF-Hydro-Modell erstellt. Wobei WRF-Hydro den regionalen Wasserkreislauf in der Simulation schließt, da es Abflussprozesse in der Fläche wie auch im Flusssystem beschreibt. Die Ergebnisse verglichen die Forscher mit den umfangreichen Beobachtungen des TERENO-Observatoriums „Alpenvorland“ für das Ammer Einzugsgebiet in Bayern.

„Das vollgekoppelte Modell lag etwas näher an den Beobachtungen. Die Berücksichtigung der terrestrischen hydrologischen Prozesse führte im Vergleich zum ungekoppelten Modell zu insgesamt mehr Bodenfeuchte und erhöhter Verdunstung. Auf Teileinzugsgebietsebene zeigen sich die Unterschiede vor allem bei

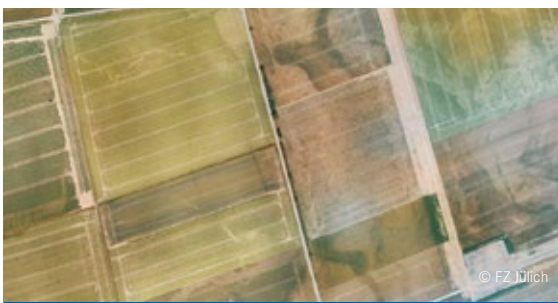


Hydrol. Earth Syst. Sci., 24, 2457–2481, 2020, <https://doi.org/10.5194/hess-24-2457-2020>, © Author(s) 2020. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

der Verdunstung und dem sogenannten Infiltrationsüberschuss – also dem Landoberflächenabfluss nach starken Regenfällen. Dagegen gab es beim simulierten Niederschlag kaum Unterschiede“, fasst Benjamin Fersch die Ergebnisse zusammen.

B. Fersch, A. Senatore, B. Adler, J. Arnault, M. Mauder, K. Schneider, I. Völksch, und H. Kunstmann (2020). *High-resolution fully coupled atmospheric–hydrological modeling: a cross-compartment regional water and energy cycle evaluation, Hydrology and Earth System Sciences, 24, 2457–2481.*

▶ DOI: [10.5194/hess-24-2457-2020](https://doi.org/10.5194/hess-24-2457-2020)



Der TERENO-Standort Selhausen aus der Luft

Im Sommer 2019 war der TERENO-Standort Selhausen Schauplatz einer von der Europäischen Weltraumorganisation ESA finanzierten Flugzeugmesskampagne. Für SARSense kamen drei Messflugzeuge, Drohnen und zahlreiche Messinstrumente am Boden zum Einsatz. Das Vorhaben war eine Demonstrationskampagne, um die Potenziale und Spezifikationen der ESA-Kandidatenmission ROSE-L zu testen. ROSE-L könnte das bestehende Copernicus-Satellitenprogramm der ESA erweitern und so das Radarbeobachtungssystem für Europa ergänzen.

ROSE-L soll dabei ein sogenanntes polarimetrisches L-Band SAR (Synthetic Aperture

POTENZIELLE SATELLITENMISSION GETESTET

Radar) tragen. Die seit 2014 laufende europäische Copernicus-Sentinel-1-Mission ist dagegen mit einem C-Band ausgestattet, das in einem anderen Frequenzbereich von Mikrowellen arbeitet. „Das L-Band-Signal kann im Gegensatz zum C-Band-Sig-

nal weiter durch viele natürliche Materialien wie Vegetation, trockenen Schnee und Eis dringen. Dadurch würde ROSE-L zusätzliche Informationen liefern. Die Kombination der Signale könnte helfen, der Forstwirtschaft genauere Informationen über Wälder zu liefern, Bodenabsenkungen und Bodenfeuchtigkeit zu überwachen und Kulturarten für die Präzisionslandwirtschaft und die Ernährungssicherheit zu identifizieren“, erklärt Dr. Carsten Montzka vom Jülicher Institut für Bio- und Geowissenschaften, das neben dem italienischen Nationalen Forschungsrat CNR und dem niederländischen Unternehmen Metasensing an der Messkampagne beteiligt war.

Die Projektpartner hatten dank der umfangreichen Ausstattung im TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ wichtige Referenzdaten am Boden gemessen, wie zum Beispiel Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Vegetationshöhe. Um die Charakterisierung der Untersuchungsregion mit umfassenden räumlichen Messungen zu gewährleisten, wurde SARSense mit weiteren Kampagnen kombiniert: von der MOSES-Kampagne zu Hitzewellen über FLEXSense zur Unterstützung der ESA FLEX Earth Explorer Mission bis hin zu weiteren Kandidaten für eine Erweiterung der Sentinel-Missionen der ESA. „Dank SARSense können wir nun die Unterschiede von zwei Radar-Frequenzen zur Erfassung von Vegetations- und Bodeneigenschaften quantifizieren und dies sogar für Trockenstressbedingungen, wie sie im Sommer 2019 herrschten“, zieht Carsten Montzka eine positive Bilanz der Kampagne.



© istockphoto.com (Janina Voskuhl)

Mehr als die Hälfte der insgesamt 561 Wildbienenarten in Deutschland gilt als gefährdet.

HILFE FÜR BEDROHTE BESTÄUBER

Es gibt immer weniger Bestäuber wie etwa Bienen. Das betrifft laut Weltbiodiversitätsrat sowohl das Vorkommen als auch die Häufigkeit und Vielfalt. Als eine Ursache gilt der Klimawandel. Gezieltes Landmanagement könnte aber die Widerstandsfähigkeit von Wildbienen erhöhen.

Wilde Bestäuber wie Bienen sind unverzichtbar für Ökosysteme. Ihr Rückgang gefährdet etwa die Bestäubung von Wild- und Kulturpflanzen. Zu den wichtigsten Ursachen des Rückgangs zählen beispielsweise der Verlust und die Verschlechterung von Lebensräumen, die intensive Landwirtschaft, der Klimawandel, die Ausbreitung von Krankheiten und gebietsfremden Arten. Hinzu kommt: Diese Faktoren können sich gegenseitig beeinflussen – und dadurch die Reaktion von Bestäubern auf Veränderungen verstärken, aber auch abschwächen. „Solche interaktiven Effekte könnten für eine bessere Anpassung an den Klimawandel genutzt werden“, sagt Dr. Oliver Schweiger vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Er hat gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen vom UFZ untersucht, wie sich der Klimawandel auf Bestäuber auswirkt.

Die Studie stützte sich auf Beobachtungsdaten von sechs Standorten im TERENO-Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“. Dabei haben die UFZ-Forscher 95 lokale Wildbienengemeinschaften wöchentlich über einen Zeitraum von drei Jahren in sechs verschiedenen Agrarlandschaften untersucht. Wie zu erwarten, wirkten sich naturbelassene Flächen positiv auf die Vielfalt und Anzahl der Wildbienen aus, während sich steigende Temperaturen negativ auswirkten. „Bemerkenswert war dagegen,

dass Bienen in Lebensräumen, die stärker naturbelassen waren, deutlich widerstandsfähiger gegenüber Temperaturveränderungen waren“, berichtet Schweiger.

Die Schlussfolgerung der Forscher: Erhöht man den Anteil und die Vielfältigkeit naturbelassener Lebensräume, könnte die Anpassungsfähigkeit lokaler Wildbienengemeinschaften tatsächlich gesteigert werden. Der potenzielle Nutzen sei hoch: „Landwirtschaftliche Flächen in Europa sind nur zu einem geringen Anteil naturbelassen. Beispielsweise in Mitteldeutschland liegt knapp die Hälfte beim Anteil der naturbelassenen Flächen unter der kritischen Schwelle von 17 Prozent“, so Schweiger. Unterhalb dieser Schwelle seien Wildbienen einem immer höheren Risiko durch die globale Erwärmung ausgesetzt. Der von der EU vorgesehene Wert von 7 Prozent für ökologische Schwerpunktfelder greife daher für Bestäuber zu kurz. „Der Wert müsste auf mindestens 17 Prozent erhöht werden“, sagt der UFZ-Experte.

O. Schweiger et al. (2019). *Minimising Risks of Global Change by Enhancing Resilience of Pollinators in Agricultural Systems.* In: M. Schröter, A. Bonn, S. Klotz, R. Seppelt und C. Baessler (Hrsg.) *Atlas of Ecosystem Services*, Seite 105-111.

▶ [DOI: 10.1007/978-3-319-96229-0_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0_17)

KONTAKT | KOORDINATION

Dr. Heye Bogena

Institut Agrosphäre (IBG-3)
Forschungszentrum Jülich
Tel.: 0 24 61/61-67 52
E-Mail: h.bogena@fz-juelich.de

Dr. Ralf Kiese

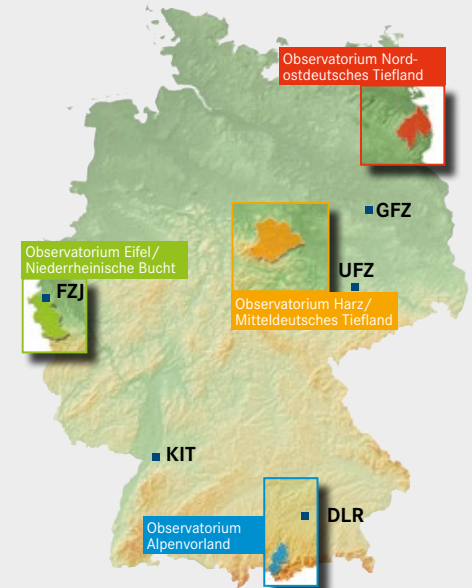
Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU)
Karlsruher Institut für Technologie
Tel.: 0 88 21/1 83-1 53
E-Mail: ralf.kiese@kit.edu

Dr. Ingo Heinrich

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Tel.: 03 31/2 88 19 15
E-Mail: heinrich@gfz-potsdam.de

Dr. Steffen Zacharias

Department Monitoring- und Erkundungstechnologien
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Tel.: 03 41/2 35-13 81
E-Mail: steffen.zacharias@ufz.de



FZJ Forschungszentrum Jülich
(Koordination)

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

KIT Karlsruher Institut für Technologie

UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam –
Deutsches GeoForschungsZentrum

IMPRESSUM

Herausgeber: TERENO

Redaktion: Christian Hohlfeld

Text: Katja Lüers, Christian Hohlfeld

Grafik und Layout: Bosse und Meinhard
Wissenschaftskommunikation