

WISSENSTAND

Editorial	2
Einzelne Supersites oder regionale Breite?	2

NACHGEFRAGT

Mehr gegen Methanemissionen tun – Interview mit Susanne Liebner	3
---	---

WISSENSSTAND

KI als Game-Changer	5
---------------------	---

IM BLICKPUNKT

3. OZCAR-TERENO-Konferenz: Critical-Zone-Forschung trifft sich in Paris	8
---	---

NEUE PROJEKTE

ACTUATE: Grenzen überwinden	9
BEYOND: Die nächste Generation ausbilden	9
WETSCAPES2.0: Wenn Neues entsteht	9

JUNGE WISSENSCHAFTLER:INNEN/ IN KÜRZE

Von der Bauingenieurin zur Hydrologin	10
Neuer Koordinator für TERENO-Nordost	10

VOR ORT

Dämpfung korrigieren	11
Große Unterschiede bei verschiedenen Klimabedingungen	11
Gefahren des Waldverlustes im Harz	12
Mit hochauflösender Überwachung kleinräumige Muster erkennen	12
Ein guter Schutz für Trinkwasserreservoirs	13
Fendt und Graswang zertifiziert	13

IM BLICKPUNKT

Wenn Wissenschaft auf die freie Natur trifft	14
Kontakt, Impressum	14

Künstliche Intelligenz (KI) gilt als Game-Changer – auch in der terrestrischen Umweltforschung. Ausgewählte Beispiele zeigen, wie und wo KI eingesetzt wird. Siehe S. 5.

© istockphoto/iievgeniy

3. INTERNATIONALE OZCAR-TERENO-KONFERENZ

29. September–2. Oktober 2025, Paris

Aktuelle Ergebnisse aus der Critical-Zone-Forschung, neue Methoden für Beobachtung, Modellierung und Vorhersage, Einblicke in die Zukunft von multidisziplinären Observatorien – die deutsch-französischen Partner TERENO und OZCAR haben wieder ein umfassendes Programm auf die Beine gestellt, damit sich Wissenschaftler:innen aus aller Welt über Trends in der Critical-Zone-Forschung informieren und austauschen können.

Mehr auf Seite 8.

EINZELNE SUPERSITES ODER REGIONALE BREITE?

Der Fortschritt in der hydrologischen Forschung könnte schneller gehen. Dazu ist ein Umdenken bei den Observatorien notwendig – ein Vorschlag von 17 Expert:innen.

Es ist Zeit, die Weichen zu stellen. Die Forschung in Hydrologischen Observatorien leidet unter einem grundsätzlichen Problem: Finanzielle Mittel für Überwachungsprogramme fließen unregelmäßig. Das erschwert es, Observatorien langfristig zu betreiben und Erkenntnisse in vergleichenden Studien weiterzuverarbeiten. Stattdessen liefern Observatorien häufig eher fragmentiertes Wissen – was mitunter auch an ihrer historischen Entwicklung liegt. In der Konsequenz sind Ergebnisse hydrologischer Beobachtungsprogramme oft zeitlich, räumlich oder inhaltlich begrenzt.

17 Expert:innen aus verschiedenen Ländern – darunter auch Wissenschaftler aus der TERENO-Initiative – haben zwei unterschiedliche Strategien zur Finanzierung

und Organisation zukünftiger Observatorien-Netzwerke untersucht und gegenübergestellt – die Einrichtung einer größeren Anzahl moderat instrumentierter Observatorien wurde mit einem Konzept verglichen, das auf eine kleinere Anzahl hochinstrumentierter Supersites orientiert.

Bei der ersten Variante bestünde das Netzwerk aus geografisch verteilten Observatorien, die von Universitäten, Forschungseinrichtungen oder Behörden verwaltet werden – wie etwa das Integrated Carbon Observation System (ICOS). Auf diese Weise könnten viele verschiedene Regionen abgedeckt werden. Alle Daten würden nach standardisierten Protokollen erfasst, gespeichert und analysiert. Der Zugriff erfolgt über ein zentrales Datenmanagementsystem. Jedoch könnte eine mäßige Instrumentierung dazu führen, dass komplexe hydrologische Prozesse nicht vollständig entschlüsselt werden können.

Im Gegensatz dazu würde die zweite Variante mit wenigen, aber umfassend ausgestatteten Standorten umfangreichere experimentelle Untersuchungen ermöglichen, die es erleichtern, bestehende Wissenslücken zu schließen. Dieses Bündeln von Ressourcen hat sich in anderen Disziplinen als sehr wirksam erwiesen – etwa in der Ozeanographie mit dem Forschungsschiff Polarstern und Expeditionen wie MOSAiC oder der Geologie mit Bohrprojekten im International Continental Scientific Drilling Program (ICDP). Allerdings besteht die Gefahr, dass Ergebnisse aus einigen wenigen Einzugsgebieten nicht repräsentativ für alle Regionen sind.

Das Expertenteam plädiert daher für eine hybride Strategie, die beide Ansätze kombiniert. Mit ihrem Papier wollen die Autor:innen dazu beitragen, einen dringend notwendigen Konsens in der Community zu finden. Die Hydrologie müsse vorangebracht werden. Dazu seien eine bessere Koordinierung und Mittelzuweisung erforderlich.

Paolo Nasta et al. (2025). *HESS Opinions: Towards a common vision for the future of hydrological observatories*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 29, 465–483.

► DOI: [10.5194/hess-29-465-2025](https://doi.org/10.5194/hess-29-465-2025)

EDITORIAL

Klimaanpassung schützt



© FZ Jülich / Ralf-Uwe Limbach

Das Jahr 2025 lieferte bereits erste Negativrekorde. In der Türkei vermeldete die Stadt Silopi im Juli mit 50,5 Grad Celsius einen neuen Hitzerekord, im südkoreanischen Seoul kletterten die Temperaturen erstmals auf 29,3 Grad Celsius – nachts! Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) hat festgestellt, dass sich die von Dürre betroffenen Flächen innerhalb von 120 Jahren weltweit verdoppelt haben. Hauptverursacher sei der Klimawandel.

Die Folgen des Klimawandels – auch für unseren Wohlstand – sollten nicht unterschätzt werden. Alleine in Deutschland sind die volkswirtschaftlichen Schäden laut Versicherungswirtschaft von 4 Milliarden Euro (2000-2014) auf 10,3 Milliarden Euro (2015-2024) angestiegen. In den kommenden 25 Jahren drohen weitere 690 Milliarden Euro, so eine Studie der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung. Mit Anpassungsmaßnahmen ließen sich die Klimaschäden jedoch deutlich reduzieren – auf 90 Milliarden Euro.

Was für Klimaschutz und -anpassung getan werden könnte, wird immer wieder von der Wissenschaft gezeigt. Ein aktuelles Beispiel ist Methan (s. Seite 3). Ein wichtiger Baustein bei der Intensivierung der Forschung ist der internationale Austausch. Dazu tragen TERENO und sein französischer Partner, die Forschungsinfrastruktur OZCAR, mit ihrer internationalen Konferenz bei, die 2025 zum dritten Mal stattfindet (s. Seite 8).

Für mich ist dies der letzte Newsletter als TERENO-Koordinator. Ich gebe den Staffeltab an die nächste Generation weiter. Ich wünsche meiner Nachfolgerin, der Kollegin Prof. Sabine Attinger vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, alles Gute und möchte mich an der Stelle bei allen Kolleg:innen für die tolle Zusammenarbeit bedanken. Auch Ihnen, liebe Leser:innen, alles Gute und herzlichen Dank für das Interesse an unserer Arbeit!

Ihr Harry Vereecken
Koordinator TERENO



© UFZ / André Künzelmann

Messturm am TERENO-Standort Hohes Holz im Einzugsgebiet der Bode

MEHR GEGEN METHANEMISSIONEN TUN

Deutschland hat sich verpflichtet, die jährlichen Methanemissionen bis 2030 um 30 Prozent gegenüber 2020 zu reduzieren – also von rund 1,7 auf 1,2 Millionen Tonnen Methan pro Jahr. Doch aktuelle Studien zeigen: Emissionen aus dem Sektor Öl, Gas und Kohle sind deutlich höher als bislang angenommen. Hinzu kommt, dass die im Mai 2024 verabschiedete EU-Methanverordnung den größten Verursacher kaum berücksichtigt – die Landwirtschaft. Ein gemeinsames Fact Sheet vom Helmholtz-Forschungsbereich Erde & Umwelt und von der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina fasst Empfehlungen der Wissenschaft zusammen. Im Interview erläutert Prof. Susanne Liebner vom GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung, eine der am Fact Sheet beteiligten Expert:innen, die wichtigsten Punkte.



© Fotografier Pfeil, Potsdam

Frau Prof. Liebner, welche neuen Erkenntnisse haben die Studien geliefert?

Die Studien haben mithilfe von Satellitendaten die tatsächlichen Methanemissionen der vergangenen Jahre ermittelt. Sie liegen deutlich höher als die Angaben in den Treibhausgas-Berichten, die Deutschland jedes Jahr erstellen muss. Alleine die Methanemission der deutschen Braunkohleförderung sind laut den Studien 28- bis 220-mal höher. Ähnliches gilt für Emissionen aus Erdgasbohrlöchern in der Nordsee. Außerdem entweicht mehr Methan als angenommen durch Leckagen in Erdgasleitungen. Eine Untersuchung hat jüngst festgestellt, dass an 17 von 26 Standorten regelmäßig und teils hohe Methanemissionen auftreten. Das betrifft Gasproduktionsstätten, Pipelineinfrastruktur und Gasspeicher. Angesichts der hohen kurzfristigen Klimawirkung von Methan, die in einem Zeitraum von 10 bis 20 Jahren etwa 100-mal höher ist als die von CO₂, sollte umgehend reagiert werden.

Warum unterscheiden sich Berichte und Studien?

Die Berichte basieren nicht auf flächendeckenden Messungen. Es gibt kein entsprechendes Messnetz in Deutschland. Stattdessen werden Emissionen auf Basis anerkannter Rechenmethoden und

sogenannter Emissionsfaktoren bestimmt. Die Studien legen den Schluss nahe, dass der von Deutschland verwendete Emissionsfaktor für Methan unzureichend ist. Tatsächlich dürften die jährlichen Emissionen zuletzt eher bei 1,8 Millionen Tonnen gelegen haben und nicht, wie im Bericht angegeben, bei 1,6 Millionen Tonnen.

Was empfehlen Sie und Ihre Kolleg:innen?

Deutschland sollte eine Nationale Methanstrategie entwickeln – sowohl um die eigenen Emissionsziele zu erreichen als auch um die EU-Methanverordnung bestmöglich umzusetzen. Zum Beispiel hatten einige Bundesländer bis Ende Juni 2025 noch nicht wie in der Verordnung vorgeschrieben eine zuständige Überwachungsbehörde benannt. Wir benötigen außerdem ein flächendeckendes Monitoring, um eine valide Datengrundlage zu haben. Wichtig ist es außerdem, Gasleitungen zu sanieren. Um aber Methanemissionen wie vorgesehen deutlich zu senken, muss auch der größte Verursacher in Deutschland stärker einbezogen werden, die Landwirtschaft. Tierbestände sollten reduziert und Rahmenbedingungen für eine stärker pflanzenbasierte Ernährung geschaffen werden.

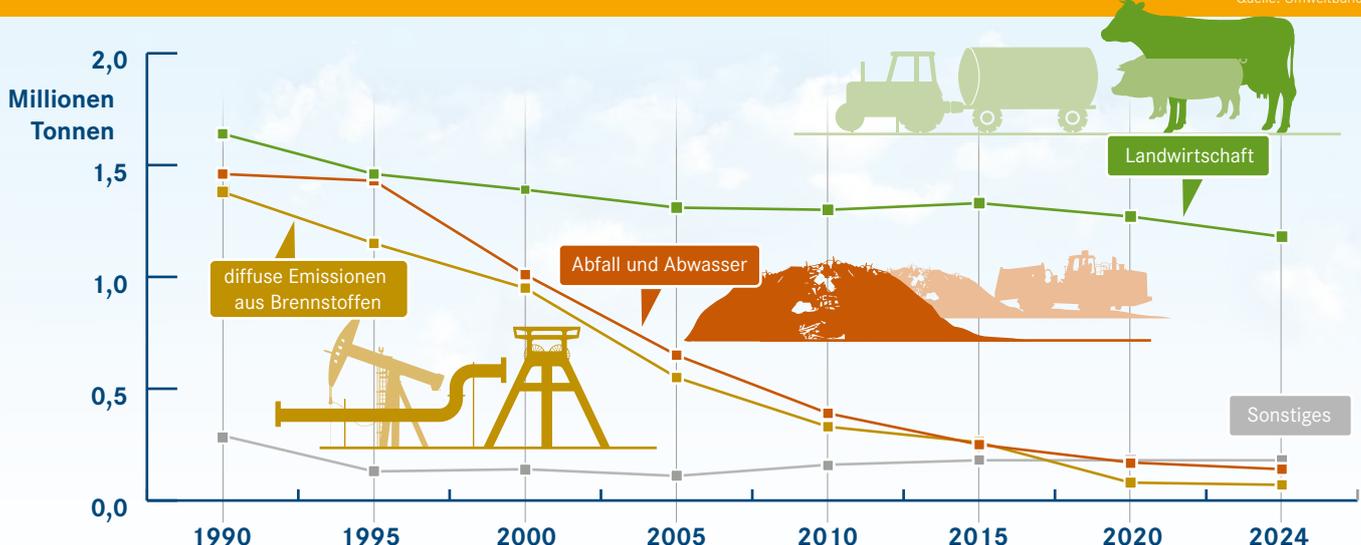
Die Geoökologin Susanne Liebner leitet die Arbeitsgruppe „Microbial carbon cycling in the climate system“ am GFZ und ist Professorin für terrestrische Umweltmikrobiologie an der Universität Potsdam. Sie ist außerdem Mitglied des TERENO Scientific Steering Committee.

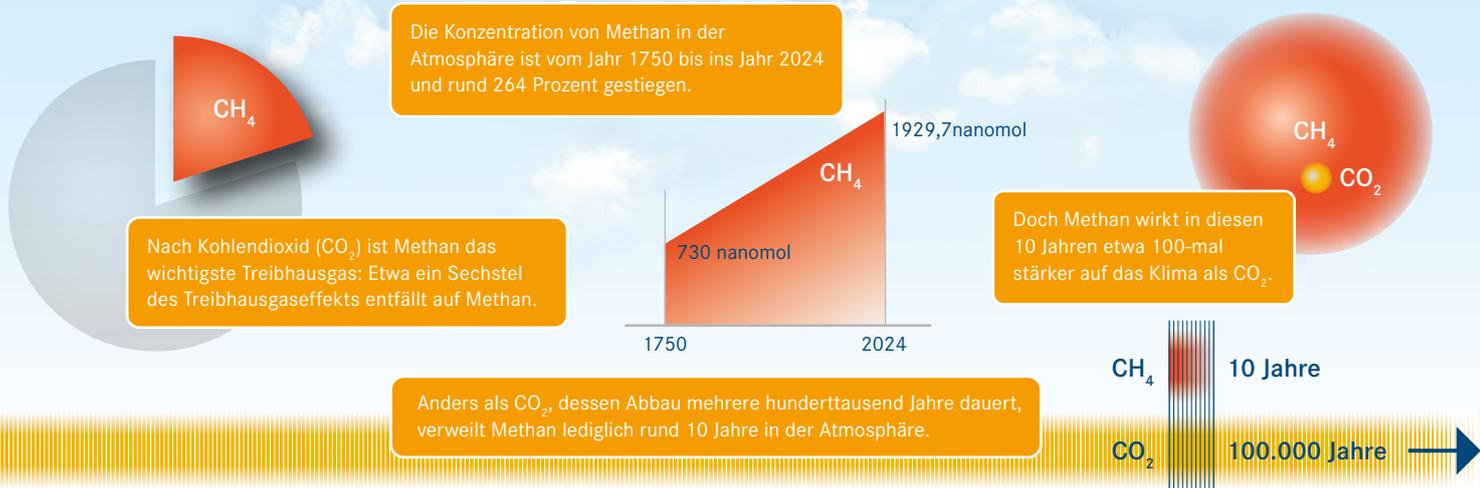
Würde es nicht ausreichen, die EU-Methanverordnung konsequent umzusetzen?

Nein, die EU-Methanverordnung beschränkt sich weitestgehend auf das Senken der Methanemissionen bei Förderung, Transport und Verwendung von Kohle, Öl und Gas. Sie verpflichtet etwa Betreiber fossiler Energieinfrastrukturen, Emissionen regelmäßig zu messen, Leckagen schnell zu beseitigen sowie das Ablassen und Abfackeln von Gasen zu verringern. Die Emissionen aus Energiewirtschaft und diffusen Emissionen aus Brennstoffen liegen jedoch laut Bundesumweltamt insgesamt bei rund 0,2 Millionen Tonnen. Selbst wenn wir die komplett einsparen würden, fehlen Deutschland rund 0,3 Millionen Tonnen zum Erreichen seiner Emissionsziele. Dessen ungeachtet ist die EU-Verordnung ein richtiger und wichtiger Schritt.

WICHTIGSTE QUELLEN FÜR METHANEMISSIONEN

Quelle: Umweltbundesamt





Für Deutschland als großen Erdgasimporteure gilt es, einige wichtige Punkte zu beachten. So werden bei Methan künftig nicht nur die Emissionen berücksichtigt, die bei der eigentlichen Nutzung entstehen, sondern auch die sogenannten Vorkettenemissionen. Das sind die Emissionen, die bei der Herstellung, der Aufbereitung, dem Transport und der Speicherung entstehen. Entsprechend haben wir in dem Fact Sheet vorgeschlagen, dass künftig gezielt Zulieferer mit den geringsten Vorkettenemissionen ausgesucht werden sollen.

Wie hat die Politik auf Ihre Vorschläge reagiert?

Wir haben unser Fact Sheet Bundestagsabgeordneten bei einem Parlamentarischen Frühstück im Oktober 2024 vorgestellt. Mit uns Wissenschaftler:innen waren es 34 Teilnehmende. Die Veranstaltung war auch für mich eine spannende Erfahrung. Ich hatte den Eindruck, dass viele Abgeordnete bereits gut informiert sind und dass es ein ehrliches Interesse an der Wissenschaft und unseren Handlungsempfehlungen gab. Eine anschließende Umfrage unter den Teilnehmenden zeigte, dass die meisten Methan als relevantes Thema betrachten und die Veranstaltung als hilfreich und informativ empfanden. Über das SynCom-Team des Helmholtz-Programms „Changing Earth – Sustaining our Future“, das uns bei dem Frühstück unterstützt hatte, liefen später noch weitere Kontakte – nicht nur zu Abgeordnetenbüros, sondern auch zum Umweltbundesamt und zur Deutschen Umwelthilfe.

Das heißt, Fact Sheet und Veranstaltung haben sich gelohnt?

Aus meiner Sicht auf jeden Fall. Inwieweit sich unsere Empfehlungen in praktischer

Politik niederschlagen, muss man natürlich abwarten. Aktuelle politische Diskussionen lassen allerdings befürchten, dass zum Beispiel die EU-Methanverordnung abgeschwächt werden könnte. Druck gibt es von zwei Seiten: einerseits von EU-Staaten, die viele fossile Brennstoffe fördern beziehungsweise importieren, andererseits aus den USA. Europa soll künftig verstärkt flüssiges Erdgas – LNG – aus den USA kaufen. Zumindest hat die EU-Kommission das als mögliches Entgegenkommen im Zollstreit mit den USA ins Gespräch gebracht. Ab 2027 müssen allerdings laut Methanverordnung Exporteure aus Nicht-EU-Staaten dieselben Pflichten einhalten wie EU-Produzenten. Von amerikanischer Seite wird gesagt, dies sei nicht möglich. Daran sieht man, dass Klimaschutz keine einfache Sache ist.

Was kann die Wissenschaft tun?

Einerseits weiter Fakten produzieren und in die Öffentlichkeit bringen. Andererseits müssen wir Messmethoden weiter verbessern und noch offene Fragen klären. Zum Beispiel hat die Forschung zwei zusätzliche Ursachen für den aktuellen Anstieg von Methan in der Atmosphäre ausgemacht: Zum einen sorgt die globale Erwärmung dafür, dass es weniger Hydroxylradikale in der Atmosphäre gibt und damit weniger Methan abgebaut wird. Zum anderen sehen wir, dass biogene Quellen wie Feuchtgebiete, etwa in der Arktis, aber auch den Tropen, mehr Methan abgeben. Wir vermuten, dass das eine mikrobiologische Antwort auf die Klimaerwärmung ist. Das ist aber noch nicht klar – auch nicht, welche der beiden Ursachen den Methananstieg derzeit dominiert. Bis 2020 aber, da ist sich die Forschung einig, lag der Anstieg zum allergrößten Teil an einem Anstieg anthropogener

Quellen wie Förderung und Nutzung fossiler Brennstoffe und Landwirtschaft. Der erneute Anstieg der Methankonzentrationen ist möglicherweise ein Anzeichen dafür, dass wir mittlerweile Kippunkte überschritten haben, das müssen wir noch herausfinden.

Welchen Beitrag zur Forschung leisten Sie beziehungsweise TERENO?

Ich arbeite auf der ganz kleinen Skala. Mein Forschungsschwerpunkt sind mikrobielle Quellen und Senken von Methan, insbesondere in Permafrostregionen, aber auch in Mooren. Meine Arbeitsgruppe am GFZ untersucht, wie sich Klima- und Landnutzungswandel auf mikrobieller Ebene auswirken. Gerade Moore sind hier ein aktuelles Thema, weil viele, wenngleich noch nicht ausreichend viele, ehemals trockengelegte Mooregebiete derzeit wieder vernässt werden. Die Wiedervernässung bewirkt mittel- bis langfristig, dass Moore wieder zu einer Kohlenstoff-Senke werden, also insgesamt wieder mehr CO₂-Äquivalente aufnehmen als abgeben. Der TERENO-Standort Polder Zarnekow ist genau so ein Mooregebiet. Gemeinsam mit der Arbeitsgruppe meines GFZ-Kollegen Torsten Sachs untersuchen wir, auf welcher zeitlichen Skala Prozesse beim Methan ablaufen und ob beziehungsweise wie sie beeinflusst werden könnten. Langfristig ist es das Ziel, Empfehlungen für das Wiedervernässen von Mooren zu entwickeln und – hier schließt sich der Kreis – einen dynamischen und realistischen Emissionsfaktor dafür zu entwickeln.

Frau Prof. Liebner, vielen Dank für das Gespräch!

Fact Sheet „Die Klimawirkung von Methan – eine unterschätzte Gefahr“

Beteiligte Forscher:innen: Prof. Susanne Buiter (Vorständin GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung und Helmholtz-Vizepräsidentin für den Forschungsbereich Erde und Umwelt), Prof. Susanne Lieber (GFZ), Prof. Markus Reichstein (Max-Planck-Institut für Biogeochemie), Prof. Robert Schlögel (Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft) und Privatdozent Ralf Sussmann (Karlsruher Institut für Technologie).

► Fact Sheet „Die Klimawirkung von Methan – eine unterschätzte Gefahr“

KI ALS GAME-CHANGER

Künstliche Intelligenz (KI) boomt. Auch wenn vieles noch im Entwicklungsstadium steckt, Anwendungen werden immer besser und effizienter. Was KI-Werkzeuge besonders gut können: große Datenmengen aus verschiedenen Quellen effizient analysieren, Muster erkennen und Prognosen ableiten – ideal für die terrestrische Umweltforschung, die enorm viele Daten sammelt und komplexe Zusammenhänge aufklären muss. Ausgewählte Beispiele zeigen, wofür Wissenschaftler:innen KI-Werkzeuge nutzen und entwickeln.

„KI ist nach den numerischen Modellsystemen und den statistischen Methoden mittlerweile die dritte Säule, auf die wir in den Erdsystem-, Klima- und Umweltwissenschaften unsere Forschung zum Systemverständnis und für Vorhersagen bauen. KI-Methoden wie maschinelles Lernen oder Deep Learning geben uns völlig neue Möglichkeiten, die vielfältigen Zusammenhänge im Erdsystem besser zu beschreiben“, sagt Prof. Harald Kunstmann, stellvertretender Leiter des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung (IMK IFU) des Karlsruher Instituts für Technologie und Mitglied im TERENO Scientific Steering Committee. So ermöglichen KI-Modelle unter anderem Simulationen mit höherer zeitlicher und räumlicher Auflösung und reduzieren häufig den Rechenaufwand enorm. „Wir sind uns in der Wissenschaft einig, dass KI ein echter Game-Changer ist“, so Kunstmann.

Innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft, aber auch auf europäischer Ebene laufen diverse Aktivitäten zu KI. Darunter sind die europäischen KI-Fabriken, zu denen etwa die JUPITER AI Factory am Forschungszentrum Jülich zählt, das Netzwerk European Laboratory for Learning and Intelligent Systems (ELLIS) oder innerhalb von Helmholtz die Wissenschaftsplattform Helmholtz AI, die ein eigenes Lab für den Bereich Erde und Umwelt betreibt. Die Einsatzmöglichkeiten für KI in der terrestrischen Umweltforschung sind vielfältig: Sie reichen von Datenauswertung und -kontrolle über Umweltmodellierung bis hin zu Wetter- und Klimavorhersagen.

Wetterextreme verstehen

Ein Thema, das zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist die Prognose von Wetterextremen. Solche Extreme wie etwa Starkregen oder Dürren können immense Schäden verursachen. „Aber oft ist es schwierig zu sagen, welche konkreten Bedingungen für die Schäden verantwortlich sind“, sagt der Erdsystemwissenschaftler Prof. Jakob Zscheischler vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, der sowohl bei ELLIS als auch bei Helmholtz AI beteiligt ist. Er und sein Team setzen KI-Modelle ein, um die oft komplexen Prozesse, die zu Phänomenen wie Waldsterben, Hochwasser und Ernteverlusten führen, besser zu verstehen.



Das Wetter von gestern als Basis für die Vorhersage von morgen: Im Gegensatz zu klassischen Modellen berechnen KI-Modelle nicht Unmengen an komplexen Gleichungen. Stattdessen analysieren sie historische Wetterdaten und wenden dabei erkannte Muster auf die Zukunft an.

Diese Modelle nutzen meteorologische Daten, um Schäden vorherzusagen. Anders als klassische physikalische Modelle berechnen KI-Modelle nicht Unmengen an komplexen Gleichungen, die das Wettergeschehen widerspiegeln. Stattdessen werden sie mit historischen Wetterdaten trainiert. Dabei sucht die KI nach Mustern, nach denen sich das Wetter beziehungsweise Wetterextreme entwickelt haben. Bei späteren Simulationen wenden sie diese Muster auf aktuelle Daten an und leiten daraus die Zukunft ab. Das Training ist allerdings zeit- und rechenintensiv. Dafür ist später der Rechenaufwand für

Simulationen mit trainierten KI-Modellen deutlich geringer als mit klassischen physikalischen Modellen.

KI-Ergebnisse nachvollziehen

Zscheischler und sein Team versuchen nachzuvollziehen, wie die KI-Modelle konkret auf ihre Ergebnisse gekommen sind. Welche Faktoren dominierten bei der Vorhersage von Wetterextremen? Der Niederschlag? Die Temperatur? Eine Kombination aus beidem oder etwas ganz anderes? „Für Hochwasservorhersagen können wir das bereits recht gut nachvollziehen. Hier haben wir allerdings den Vorteil, dass zu Hochwasserereignissen viele Beobachtungsdaten vorliegen“, so der UFZ-Experte. Komplexer sei es dagegen beim Waldsterben. „Hier geht es um deutlich langsamere Prozesse. Außerdem ist es viel schwerer und aufwendiger, Daten zu erheben, so dass wir nicht über große Datenmengen verfügen“, erläutert Zscheischler. Potenzial sieht er in den umfangreichen TERENO-Daten, die allerdings für die Verwendung in KI-Modellen entsprechend aufbereitet werden müssen.

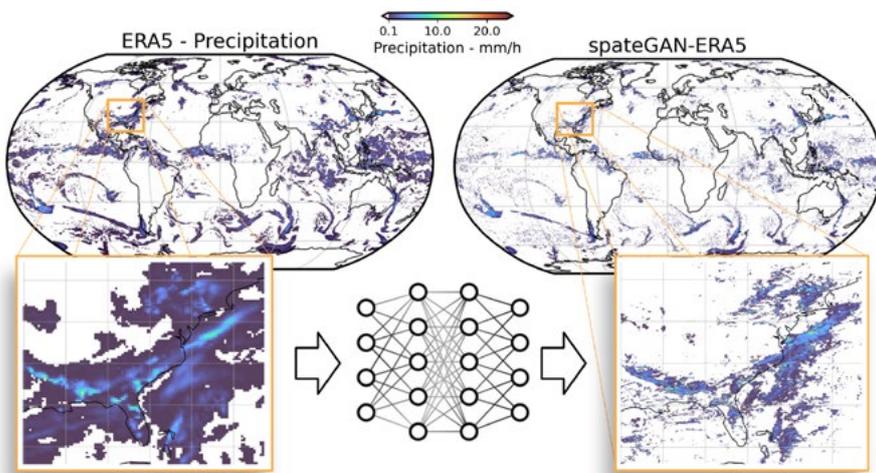
Bereits genutzt werden TERENO-Messdaten im Projekt Hochwasser- und Überflutungsprognosesystem für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete – Inde / Vicht (HüProS). Die Projektpartner – darunter das Forschungszentrum Jülich – entwickeln unter der Leitung des Wasserverbands Eifel-Rur ein KI-Modell, das am Beispiel des Einzugsgebiets der Flüsse Inde und Vicht Hochwasserereignisse vorhersagen soll. Das Einzugsgebiet der Vicht ist Teil des TERENO-Observatoriums „Eifel/Nieder-rheinische Bucht“ und war besonders von der Überschwemmungskatastrophe im Jahr 2021 betroffen.

auf unterschiedlichen Skalen zueinander verhalten. Eine Validierung mit Wetterradar-daten aus den USA und in Australien zeigte, dass SpateGAN-ERA5 für unterschiedliche klimatische Bedingungen geeignet ist.

KI-Modelle nicht perfekt

Insgesamt betrachtet liefern KI-Modelle bereits heute oft gleichwertige oder gar bessere Wetterprognosen als klassische physikalische Modelle. Doch KI-Modelle sind noch keinesfalls perfekt, beispielsweise bereiten Temperaturunterschiede an Küsten oder in Gebirgen Probleme. Noch anspruchsvoller

KI-Werkzeuge sollen auch bei einer anderen komplexen Aufgabe helfen. Wissenschaftler:innen des Forschungszentrums Jülich wollen mithilfe von Daten aus der Integrated European Long-Term Ecosystem, Critical Zone and Socio-ecological Research Infrastructure (eLTER RI) und weiteren Quellen eine sogenannte Reanalyse der europäischen Ökosysteme mit einer hohen räumlichen Auflösung vornehmen. Die Reanalyse soll spärliche Beobachtungsdaten ergänzen, die Entwicklung aller europäischen Ökosysteme nachvollziehbar machen und hochwertige Datenprodukte über den Zustand und die Stoffflüsse der Ökosysteme liefern. Durch den Einsatz von KI-Werkzeugen wollen die Forscher:innen den Rechenaufwand reduzieren, die Berechnungen beschleunigen und eine höhere Auflösung ermöglichen.



Das KI-Modell SpateGAN-ERA5 erzeugt hochpräzise Karten (r.) aus groben globalen Niederschlagsdaten.

SpateGAN-ERA5 kann Extremereignisse auch für Orte zuverlässig vorhersagen, für die es keine enmaschige Wetterbeobachtung gibt.

Präzise Niederschlagskarten

Ein eigenes KI-Modell für die Vorhersagen von Wetterextremen entwickelt hat auch das Team von Dr. Christian Chwala, Experte für Hydrometeorologie und Maschinelles Lernen am IMK IFU. Das Besondere: Das Modell SpateGAN-ERA5 kann bereits aus grob aufgelösten Informationen präzise Niederschlagskarten in hoher Auflösung von 2 mal 2 Kilometern generieren, wobei das Modell seine Vorhersagen alle 10 Minuten aktualisiert. „Dabei ist es in der Lage, Extremereignisse auch für solche Orte regional zuverlässig abzuschätzen, in denen es aufgrund fehlender Ressourcen keine engmaschige Wetterbeobachtung gibt“, hebt Chwala hervor. Davon können datenarme Regionen profitieren, etwa der globale Süden.

sind Klimaprognosen. Dafür müssen nicht nur längere Zeitskalen betrachtet werden – beim Wetter geht es um Stunden bis etwa zwei Wochen, beim Klima um mehrere Wochen bis Jahrzehnte. Die Zusammenhänge sind außerdem noch komplexer. Wettermodelle berechnen, wie sich die Atmosphäre entwickelt. Klimamodelle berücksichtigen das komplette Klimasystem, also zusätzlich zur Atmosphäre etwa auch Landoberflächen, Ozeane und Meereis.

Deutliche Fortschritte erhofft sich die Forschung von sogenannten Foundation Models. Diese Grundlagenmodelle sind deutlich leistungsstärker und flexibler als herkömmliche KI-Modelle. Entsprechend trainiert sind sie in der Lage, komplexe Zusammenhänge auf der Grundlage erlernter Muster zu verstehen, neue Zusammenhänge zu finden sowie Prognosen zu erstellen. So ein Foundation Model für Klimaprognosen entwickeln Forscher:innen im Projekt HClimRep, das die Helmholtz-Gemeinschaft über ihre Helmholtz Foundation Model Initiative (HFMI) fördert. Es soll eines der präzisesten Wetter- und Klimamodelle der Welt werden und komplexe „Was-wäre-wenn“-Experimente ermöglichen.

Vogelstimmen erkennen

Mittlerweile spielt KI auch beim Erkennen von Tieren und Pflanzen eine große Rolle. Mithilfe von KI-Methoden lassen sich etwa Vogelstimmen oder Bilder von Pflanzen identifizieren. „Perspektivisch eröffnen sich dadurch neue Möglichkeiten beim räumlichen und zeitlichen Monitoring-Design von verschiedenen Organismengruppen“, sagt Tierökologe Dr. Mark Frenzel vom UFZ. Dies spiegelt sich auch bei den Standardbeobachtungen der europäischen Infrastruktur eLTER wider, an der verschiedene TERENO-Gebiete teilnehmen. Um die Anwendbarkeit beim TERENO-Vogelmonitoring zu testen, hat ein Team um Mark Frenzel eine automatisierte Erfassungsmethode mit der herkömmlichen Erfassung durch einen Experten verglichen und ausgewertet. Bei



Vogelstimmen lassen sich mit KI automatisch erkennen.

der automatisierten Methode werden kleine Aufnahmegeräte (AudioMoth) im Gelände installiert, die täglich zu bestimmten Zeiten akustische Signale über mehrere Wochen aufnehmen. Die akustischen Dateien werden anschließend über KI-basierte Algorithmen der Software BirdNET analysiert. Laut den BirdNet-Entwicklern, der Technischen Universität Chemnitz und dem Cornell Lab of Ornithology, kann das Tool rund 3.000 der häufigsten Vogelarten weltweit identifizieren.

Der Vergleich mit einem menschlichen Experten zeigte, dass das KI-Tool in über 80 Prozent der Fälle die Vogelstimme korrekt bestimmte – ohne dass die KI zuvor zusätzlich mit regionalen Dialekten der heimischen Vögel trainiert wurde. „Wenn man die Dauer der Aufnahmezeiten der Geräte an vielen verschiedenen Orten mit den möglichen Expertenbesuchen vor Ort vergleicht, ergibt sich ein großer Vorteil für die automatisierte Erfassungsmethode. Allerdings ist es immer ratsam, nach einer ersten Aufnahmerunde für die Abschätzung der Genauigkeit ein ‚ground truthing‘ der KI-Ergebnisse durch einen Experten vornehmen zu lassen, um die Zuverlässigkeit zu überprüfen“, zieht Frenzel Bilanz.

Qualitätskontrolle verbessern

Zuverlässigkeit ist ohnehin ein wichtiges Stichwort, wenn es um Daten geht. Ausreißer – also Daten, deren Werte deutlich von anderen abweichen – sind in Umweltdatensätzen eher die Regel als die Ausnahme. Es können durch eine Gerätestörung verursachte Messfehler sein, aber auch ein ungewöhnlicher Extremwert. Daher müssen Datensätze kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert werden. Für diese Qualitätskontrolle (QC) gibt es auch Software, doch: „Herkömmliche QC-Methoden haben oft Schwierigkeiten mit der Komplexität von Umweltdaten“, so Timo Houben, Datenwissenschaftler und Modellierer am UFZ.

Innerhalb von TERENO nutzen viele die am UFZ entwickelte Software „System for Automated Quality Control“ (SaQC). Künftig wollen die Forscher:innen auch KI für die Qualitätskontrolle einsetzen. Im Projekt RESEAD haben UFZ und KIT gemeinsam Deep-Learning-Algorithmen entwickelt, um bestehende QC-Methoden für Daten aus Sensornetzwerken zu erweitern. „Bei Sensornetzwerken sind die Messgeräte oft räumlich unregelmäßig verteilt. Wir konnten am Beispiel von Bodenfeuchtemessungen aus dem TERENO-SoilNet-Messnetz und von deutschlandweiten Niederschlagsdaten aus kommerziellen

Mikrowellenverbindungsnetzen zeigen, dass Anomalien besser erkannt werden, wenn ein Sensor nicht nur einzeln, sondern unter Einbeziehung benachbarter Sensorinformationen betrachtet wird“, berichtet Christian Chwala.

Um die Algorithmen auch in der Praxis einzusetzen, bedarf es allerdings weiterer Forschung und Entwicklung. Das Entwickeln von KI-Modellen sei alles andere als einfach, betont Chwala. „Es ist ein Irrtum zu glauben, man nimmt einfach ein großes neuronales Netz, viele Daten und dann funktioniert das schon“, warnt er. Viele kleine Variablen müssen beachtet werden. Neben Programmierkenntnissen brauche es auch Intuition, um die richtigen Rechenblöcke zu kombinieren. Gerade bei der Qualitätskontrolle sei zudem das einheitliche Aufbereiten der Daten für das KI-Training entscheidend. „Es gibt verschiedene Vorgehensweisen, Daten für die Qualitätskontrolle zu labeln. Wenn zwei Personen einen Datensatz bearbeiten, kann bereits das zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, die dann das KI-Training erschweren“, erläutert Chwala.

UFZ-Forscher:innen haben gezeigt, wie sich mit Methoden des maschinellen Lernens aus Satellitendaten bestimmen lässt, wie intensiv Wiesen und Weiden genutzt werden.



Eine zu intensive Nutzung kann die Ökosystemeleistung von Landflächen gefährden.

Um ihren Ansatz weiter zu verbessern und zusätzliche Sensoren einzubeziehen, überlegen die Projektpartner, in einem möglichen Nachfolgeprojekt ein Foundation Model einzusetzen. „Parallel sind wir dabei, QC-Verfahren mit KI und Foundation Models über unsere Software SaQC zu evaluieren, etwa mit Sensordaten zur urbanen Luftqualität im Projekt AIAMO“, berichtet Timo Houben.

An den an TERENO beteiligten Helmholtz-Zentren werden KI-Werkzeuge noch für diverse andere Aufgaben eingesetzt: Am GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung entwickeln beispielsweise Forscher:innen im Projekt AI4FLUM ein KI-Modell für die Klassifizierung und Kartografie der Waldnutzung. UFZ-Forscher:innen haben gezeigt, wie sich mit Methoden des maschinellen Lernens aus Satellitendaten bestimmen lässt, wie intensiv Wiesen und Weiden genutzt werden. Wissenschaftler:innen des Forschungszentrums Jülich und der University of Galway in Irland haben maschinelles Lernen genutzt, um die Bodenkartierung mithilfe einer Kombination von elektromagnetischer Induktion (EMI) und Fernerkundungsdaten zu verbessern.

Berufsbild im Wandel

KI verändert aber nicht nur die Möglichkeiten, sondern auch das Berufsbild von Umwelt- und Klimaforscher:innen. Früher gab es Modellierer auf der einen, experimentelle Forscher:innen auf der anderen Seite. Dann ist die Datenwissenschaft hinzugekommen, nun die KI-Anwendungen. Am Anfang hatten noch Personen aus den beiden traditionellen Gruppen die neuen Aufgaben mitübernommen. Mittlerweile geht der Trend zur Arbeitsteilung. „In meiner Arbeitsgruppen habe ich heute Datenwissenschaftler:innen, die noch nie im Feld waren und auch noch nie grundlegende Modellierung gemacht haben“, berichtet Jakob Zscheischler. Entsprechend wichtig



© OZCAR RI/Hubert Raguét

ADVANCING CRITICAL ZONE SCIENCE

OZCAR – TERENO international conference

September 29th to October 2nd, 2025, in Paris (France)



CRITICAL-ZONE-FORSCHUNG TRIFFT SICH IN PARIS

Nach Straßburg (2021) und Bonn (2023) geht es für die 3. Ausgabe der internationalen OZCAR-TERENO-Konferenz 2025 nach Paris. TERENO und die französische Forschungsinfrastruktur „Observatoires de la Zone Critique: Applications et Recherche“ (OZCAR) laden ein, vom 29. September bis 2. Oktober 2025 über aktuelle Trends, neue Ergebnisse und neue Methoden rund um die Erforschung der Critical Zone zu diskutieren. Zur letzten Konferenz waren rund 170 Expert:innen aus 20 Ländern angereist.

Veranstaltungsort 2025 ist das Konferenzzentrum FIAP Jean Monnet im Süden von Paris. Interessent:innen können sich ab sofort online auf der Webseite der Konferenz registrieren. Für diejenigen, die nicht vor Ort sein können, gibt es die Möglichkeit, online teilzunehmen. Konferenzsprache ist Englisch.

▶ Weitere Informationen

Das Programm

Die Critical Zone ist die äußerste Hülle unseres Planeten, sozusagen die Haut der Erde. Das ist der Bereich, in dem nahezu alle menschlichen Aktivitäten stattfinden – mit all ihren Konsequenzen für die Funktionsweise der Critical Zone. Auf der Konferenz werden Expert:innen in Keynote-Vorträgen, Präsentationen und Posterausstellungen wissenschaftliche Fortschritte in zahlreichen Disziplinen vorstellen, die sich mit der Critical Zone beschäftigen: von Hydrologie und Bodenkunde über Geophysik und -chemie bis hin zu Ökologie und Sozialökologie.

Die Beiträge sind in 15 thematische Sessions eingeteilt. Dabei geht es beispielsweise um Stoffkreisläufe, Zusammenhänge von Prozessen, unterschiedliche Regionen sowie Messmethoden, Datenverarbeitung und Modellierung. Ein wichtiger Aspekt ist die Bedeutung von multidisziplinären Observatorien für das Erforschen der Critical Zone. Solche Feldstandorte sind umfangreich mit Messinstrumenten ausgestattet. Dort arbeiten verschiedene Disziplinen eng zusammen und produzieren Daten, die bessere Modelle und neuen Erkenntnisse ermöglichen.

3. INTERNATIONALE OZCAR-TERENO-KONFERENZ

29. September – 2. Oktober 2025,
FIAP Jean Monnet, Paris

▶ Programmübersicht

Die Konferenz wird von zahlreichen Sponsoren aus Wissenschaft und Industrie unterstützt. OZCAR und TERENO bedanken sich bei dem französischen Centre national de la recherche scientifique, Frankreichs Nationalem Forschungsinstitut für Landwirtschaft, Ernährung und Umwelt (INRAE), der Deutsch-Französischen Hochschule, dem französischen Institut de Recherche pour le Développement, dem französischen Büro für Geologie- und Bergbauforschung (BRGM), den französischen Forschungsvorhaben TERRA FORMA und Fair-CarboN, dem französischen Forschungsprogramm OneWater – Eau Bien Commun, der Graduiertenschule Biosphäre der Université Paris-Saclay, der französischen Forschungsstruktur Île-de-France Research Federation on the Environment (FR-3020 FIRE) sowie den Unternehmen JR AquaConSol, StyX Neutronica und Campbell Scientific.

Am ersten Konferenztage sind zwei Exkursionen zum OZCAR-Standort ORACLE Orgeval Forschungsobservatorium vorgesehen, einem der ältesten französischen Observatorien zur Erforschung der Critical Zone, das etwa 70 Kilometer östlich von Paris liegt.

© istockphoto/TomasSereda



GRENZEN ÜBERWINDEN

Im Projekt ACTUATE beschäftigen sich seit Januar 2025 vier Helmholtz-Zentren – darunter die TERENO-Mitglieder Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) und Forschungszentrum Jülich – mit Wetterextremen wie Dürren und extremen Niederschlägen. Die beteiligten Wissenschaftler:innen wollen die Grenzen bisheriger Modellierungsansätze von Extremereignissen überwinden. Dazu setzen sie auf einen neuen, hybriden Ansatz, der verschiedene Modelle kombiniert und letztlich zwei Methoden vereint: die sogenannte globale Storyline-Simulation und den Pseudo-Global-Warming-Ansatz.

Mithilfe ihres neuen Ansatzes erforschen die Forscher:innen nicht nur, wie sich Extremereignisse auf Wasserressourcen, Landwirtschaft, Städte und Ökologie auswirken, sondern auch die sozialen und wirtschaftlichen Folgen – mit Fokus auf städtische und ländliche Gebiete in Europa. Sie wollen auch untersuchen, inwieweit sich solche Extremereignisse besser vorhersagen lassen und wie deren Auswirkungen, etwa Hitzestress und sinkende Luftqualität bei Hitzewellen in Städten, durch Anpassungsstrategien verringert werden können.

Die Helmholtz-Gemeinschaft fördert ACTUATE drei Jahre lang über den Innovationspool für den Forschungsbereich Erde und Umwelt.

► Mehr zu ACTUATE

DIE NÄCHSTE GENERATION AUSBILDEN

Ein neues europäisches Doktorandennetzwerk macht junge Wissenschaftler:innen fit für die kommenden Aufgaben rund um Wassereinzugsgebiete. Das Projekt BEYOND finanziert zehn Promotionsstellen, die sich mit verschiedenen Aspekten von Wasserqualität, Fließgewässerökologie oder Hydrologie beschäftigen. Bis Ende 2025 sollen die Promovierenden mit ihrer Arbeit beginnen.

Dabei ist jede Stelle an einer anderen Einrichtung in Europa angesiedelt – zwei davon bei TERENO-Mitgliedern: am Forschungszentrum Jülich und am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Die Promovierenden lernen aber auch andere Standorte des BEYOND-Netzwerkes kennen, zu dem insgesamt 34 Einrichtungen gehören. Darunter sind Forschungseinrichtungen wie das UFZ und Jülich, aber auch Behörden, Unternehmen und eine Nichtregierungsorganisation. Die große Bandbreite der Partner soll es der nächsten Generation von Wasserexpert:innen ermöglichen, alle wichtigen technischen und kommunikativen Fähigkeiten verschiedener Disziplinen und Bereiche zu erlernen, die für das Lösen aktueller und künftiger Wasserqualitätsprobleme in Europa wichtig sind.

BEYOND wird von der Swedish University of Agricultural Sciences koordiniert und von der EU über die Marie-Sklodowska-Curie-Maßnahmen gefördert.

► Mehr zu BEYOND

WENN NEUES ENTSTEHT

Die Natur lässt sich nicht so einfach in ihren Ursprungszustand zurückversetzen. So wichtig das Wiedervernässen von entwässerten Mooren ist, dadurch werden in der Regel nicht die ursprünglichen Moore wiederhergestellt. Stattdessen entstehen neuartige Ökosysteme, die nährstoffreicher und weniger widerstandsfähig gegenüber hydrologischem Stress sind und die eine andere Artenzusammensetzung aufweisen.

Mehr über die komplexen und noch weitgehend unerforschten Prozesse beim Wiedervernässen herausfinden möchte der neue von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Sonderforschungsbereich/Transregio 410 „WETSCAPES2.0: neuartige Ökosysteme in wieder vernässten Niedermoorlandschaften“. Ein Kernuntersuchungsgebiet ist das wieder vernässte Niedermoor Polder Zarnekow, ein wichtiger Standort im TERENO-Observatorium „Nordostdeutsches Tiefland“.

Die beteiligten Forscher:innen – darunter Wissenschaftler:innen des TERENO-Mitglieds GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung – wollen nicht nur die Funktionsweise sowie die ökologischen, biogeochemischen und hydrologischen Prozesse besser verstehen. Sie wollen außerdem Vorschläge erarbeiten, wie die Flächen gemanagt und nachhaltig genutzt werden können.

► Mehr zur WETSCAPES2.0



© GFZ/Mathias Zölner

Der TERENO-Standort Polder Zarnekow

VON DER BAUINGENIEURIN ZUR HYDROLOGIN

Das wieder vernässte Mooregebiet Polder Zarnekow ist ein wichtiger Standort im TERENO-Observatorium „Nordostdeutsches Tiefland“ (s. Seite 4 und 9 sowie Newsletter 24-3). „Wir wissen jedoch noch sehr wenig über die Hydrologie des Gebiets. Woher kommt und wohin geht zum Beispiel das Wasser, wie sehen die saisonalen Unterschiede konkret aus?“, fragt Dr. Victoria Virano-Riquelme, Postdoktorandin am GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung. Ihre Aufgabe ist es, ein hydrologisches Überwachungsnetzwerk aufzubauen. „Moore binden CO₂ und setzen Methan frei. Es wäre gut, wenn wir verstehen könnten, ob es beispielsweise einen Zusammenhang zwischen diesen Prozessen und den Schwankungen des Grundwasserspiegels gibt“, so die Wissenschaftlerin.

Dass die Chilenin in Deutschland forscht, ist eher Zufall. „Ehrlich gesagt, hatte ich noch nicht einmal das Ziel, Wissenschaftlerin zu werden“, berichtet sie. Nach ihrem Studium des Bauingenieurwesens überwachte sie bei einem Wasserversorger Stauseen in Chile. „Doch ich konnte mir nicht genau erklären, warum es in manchen Jahreszeiten trotz starker Regenfälle zu großer Wasserknappheit kam. Ich wollte besser verstehen, was da vor sich geht“, blickt Victoria Virano-Riquelme zurück. Der Plan, neben dem Job Hydrologie oder Meteorologie zu studieren, scheiterte. Ihr Arbeitgeber wollte ihr keine Teilzeitstelle bewilligen. Ein Freund gab ihr einen Tipp: ein deutsch-chilenisches Stipendienprogramm für Frauen. Es klappte. Sie kündigte und machte sich 2017 auf nach Deutschland – mit einem leicht mulmigen Gefühl sowie skeptischen und zugleich stolzen Eltern daheim, aber auch mit einer gesunden Portion Optimismus. „In Chile gibt es ein Sprichwort: Gibt ein Baum dir Zitronen, dann mach Limonade daraus“, erzählt die Südamerikanerin.

Deutschland erwies sich als Volltreffer. Das Masterstudium „Hydrowissenschaften und Ingenieurwesen“ an der Technischen Universität Dresden hat sie für die Wissenschaft begeistert, es folgten Job und Promotion an der Uni und schließlich die Postdoc-Stelle. Ihr gefällt insbesondere, wie Forschung in Deutschland betrieben wird, welche Chancen Frauen haben und die kollegiale Zusammenarbeit, die sie überall erlebt hat. Auch privat fühlt sie sich sehr wohl.



© GFZ/Inge Wisenkamp

Victoria Virano-Riquelme beim Aufbau vom Messinstrumenten

Ende September 2025 endet ihr Vertrag. Sie würde gerne am GFZ bleiben – auf jeden Fall in Deutschland, gegebenenfalls auch außerhalb der Wissenschaft. Es gebe ein paar Optionen. Sie ist – wenig überraschend – optimistisch.



Gerhard Helle

NEUER KOORDINATOR FÜR TERENO-NORDOST

Seit Anfang des Jahres ist Dr. Gerhard Helle Koordinator des TERENO-Observatoriums „Nordostdeutsches Tiefland“ (TERENO-Nordost) und damit Nachfolger von Melanie Burns, die diese Position seit 2023 innehatte. Helle wechselte 2009 vom Forschungszentrum Jülich zum GFZ Helmholtz-Zentrum für Geowissenschaften und ist bei TERENO seit dessen Gründung mit dabei. Am GFZ leitet er das Labor für Dendroklimatologie in der Sektion Geomorphologie (4.6). Der Geologe und Paläontologe beschäftigt sich mit der Rekonstruktion vergangener Klimatrends und -extreme anhand von stabilen Isotopen und anderen Baumringparametern. Er ist außerdem Experte darin, die

Übertragung von Klima- und Umweltsignalen innerhalb des Baumsystems zu entschlüsseln – ein Thema ist zum Beispiel die Critical Zone als Lebensraum der Bäume. „In meiner neuen Rolle möchte ich mich unter anderem darauf konzentrieren, die Wissenschaftskommunikation rund um die einzigartigen Aspekte von TERENO-Nordost zu erweitern. Dazu zählt etwa die Integration von Fernerkundungs- und In-situ-Beobachtungen mit Daten aus terrestrischen Geoarchiven. Ziel ist es, eine historische Tiefe für eine bessere Kontextualisierung heutiger Überwachungsdaten zu schaffen“, sagt Gerhard Helle.

DÄMPFUNG KORRIGIEREN

Unerwünschte Effekte bei Messungen mit der Eddy-Kovarianz-Methode können dazu führen, dass Stoffflüsse unterschätzt werden. Ein deutsch-dänisches Team hat eine Lösung gefunden.

Die Eddy-Kovarianz-Methode (EC) ist die am weitesten verbreitete Technik, um den Austausch von Energie, Impuls und Spurengasen zwischen Land und Atmosphäre zu bestimmen. Zwei wichtige Gase sind zum Beispiel CO₂ und Wasserdampf (H₂O). Trotz erheblicher Fortschritte bei der Messtechnologie kann es jedoch zu Fehlern beim Abschätzen der Stoffflüsse kommen. Eine mögliche Ursache ist die sogenannte Hochfrequenzdämpfung. Sie kann auftreten, wenn Infrarot-Gasanalytoren (IRGA) verwendet werden. Effekte in den Messrohren führen dazu, dass nicht alle Teilchen korrekt erfasst werden und Stoffflüsse unterschätzt werden. Auch Röhrenheizungen und Partikelfilter können zur Dämpfung beitragen.

In ihrer Studie haben die Wissenschaftler:innen die Dämpfung beim IRGA-Modell LI-7200 untersucht. Auf Basis von Daten einer EC-Station des Integrated Carbon Observation System (ICOS) am TERENO-Standort Fendt testeten sie sechs Kombinationen mit und ohne Heizung sowie Filter. „Unsere Ergebnisse zeigen eine zunehmende Dämpfung der H₂O -Flüsse

bei steigender relativer Luftfeuchtigkeit. Die besten Resultate erzielten wir mit Röhrenheizung ohne Filter“, berichtet die Erstautorin der Studie, Jamie Lauren Smidt vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Bei den CO₂-Messungen waren die Abschwächungen dagegen bei allen Konfigurationen vernachlässigbar.

Um die Genauigkeit von Langzeit-Messungen von H₂O mit der EC-Methode zu verbessern, ist es wichtig, die Dämpfung zu korrigieren. Dazu schlagen die Forscher:innen den Einsatz einer modifizierten Rechenmethode vor – und zwar des leistungsspektralen Ansatzes (PSA). Dieser basiert auf theoretischen Leistungsspektren und wird bei



Eddy-Kovarianz-Messstation in Fendt

der Nachbearbeitung der Daten verwendet. Die Forscher:innen empfehlen außerdem den Nutzer:innen des LI-7200, stets die Dämpfung an ihren Standorten zu erfassen. „Dabei müssen die individuelle Messanordnung und die jeweiligen Wetterbedingungen berücksichtigt werden“, so Smidt.

Jamie Smidt et al. (2025). *High-frequency attenuation in eddy covariance measurements from the LI-7200 IRGA with various heating and filter configurations – a spectral correction approach.* Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 361. DOI:

▶ DOI: [10.1016/j.agrformet.2024.110312](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110312)

GROSSE UNTERSCHIEDE BEI VERSCHIEDENEN KLIMABEDINGUNGEN



Lysimeteranlage in Selhausen

Unser Klima ändert sich – mit Folgen für die Wasserspeicherung von Böden. Eine Studie zeigt, wie unterschiedlich ein Boden auf verschiedene Bedingungen reagiert.

Je nach Jahreszeit speichern Böden unterschiedlich viel Wasser: Zum Beispiel nimmt ein Ackerboden in unseren Breiten im Winter mehr Wasser auf, als er durch Versickerung und Verdunstung verliert, in der Vegetationsperiode nimmt die im Boden gespeicherte Menge aufgrund der stärkeren Evapotranspiration ab. Die bislang beobachtete Regelmäßigkeit dieses Musters verschiebt sich offenbar.

Wissenschaftler:innen des Forschungszentrums Jülich, des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) in Münchenberg und der Universität Bonn haben untersucht, wie derselbe Boden auf verschiedene Klimabedingungen reagiert. Das Team hatte dazu achtjährige Datenreihen des deutschlandweiten Lysimeter-Netzwerkes TERENO-SOILCan ausgewertet. Lysimeter sind mannshohe, zylinderförmige Messanlagen, die mit Boden gefüllt sind und ins Erdreich versenkt werden. Mit ihnen lässt sich der Bodenwasserhaushalt präzise und zeitlich hoch aufgelöst erfassen.

In TERENO-SOILCan wurden Böden an verschiedenen Lysimeter-Standorten entnommen und an klimatisch unterschiedlichen Standorten eingebaut. Für ihre Studie hatten sich die Forscher:innen auf den Boden vom eher trockenen Standort Dedelow in Brandenburg konzentriert. Sie hatten die Lysimeterdaten dieses Bodens an seinem Ursprungsstandort mit denen

vom Tauschstandort Selhausen in Nordrhein-Westfalen verglichen. Dort ist das Klima wärmer und feuchter als in Dedelow.

Während in Dedelow die Muster der Wasserspeicherung weitgehend stabil blieben, verschob sich in Selhausen der Zeitpunkt der maximalen Wasserspeicherung: „Im Vergleich zu Dedelow war das Maximum in niederschlagsreichen Jahren früher und in trockenen Jahren später erreicht. Dagegen dauerten die Nachwirkungen von Trockenphasen in Dedelow länger an“, berichtet die Erstautorin der Studie, Dr. Annelie Ehrhardt.

Ob sich die Wasserspeicherkapazität des Bodens auch längerfristig verändert und wie sich das auf Pflanzenwachstum und Ernteerträge auswirkt, müssen weitere Untersuchungen zeigen. „Dazu ist es notwendig, die Muster der Bodenfeuchte und das pflanzenverfügbare Bodenwasser langfristig zu überwachen“, so Co-Autor Dr. Jannis Groh.

Annelie Ehrhardt et al. (2025). *Effects of different climatic conditions on soil water storage patterns.* Hydrology and Earth System Sciences, 29(1), 313–334.

▶ DOI: [10.5194/hess-29-313-2025](https://doi.org/10.5194/hess-29-313-2025)

DIE GEFAHREN DES WALDVERLUSTES IM HARZ

Im Harz sind großflächig Bäume abgestorben. Zum Wiederaufforsten werden verschiedene Ansätze verfolgt. Um deren Entwicklung zu beobachten, hat das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ ein Observatorium eingerichtet.



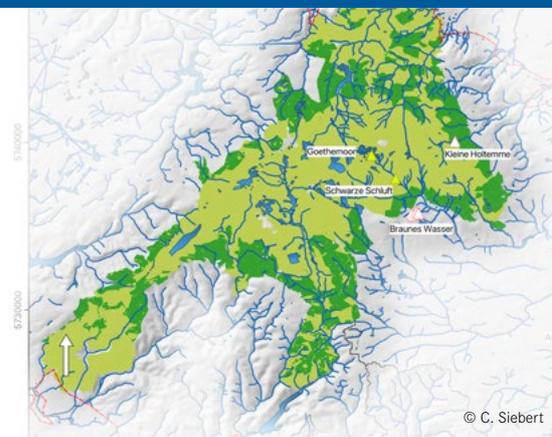
Mario Brauns beim Artenzählen

Der Harz ist eine wichtige Trinkwasserquelle für Millionen von Menschen, außerdem reich an regionaler Artenvielfalt. Einst war das Mittelgebirge überwiegend mit norwegischer Fichte bewaldet. Doch heute ist die Region nahezu entwaldet. Stürme, Trockenheit und ein Befall mit dem Borkenkäfer

haben die Monokulturbestände zwischen 2018 und 2020 absterben lassen.

Um die betroffenen Gebiete wieder aufzuforsten, gibt es unterschiedliche Ansätze: Der Nationalpark Harz setzt auf natürliche Entwicklung, während öffentliche und private Besitzer entweder auf naturnahe Mischwald- oder traditionelle Monokulturaufforstung setzen. Das vom UFZ eingerichtete Hydroökologische Observatorium, das auch auf TERENO-Standorten aufbaut, wird deren Fortschritte beobachten.

Es wird insbesondere die durch die Entwaldung entstandenen Probleme im Auge haben. „Denn das Wachsen der Bäume braucht Zeit, aber eine fehlende Waldbedeckung hat weitreichende Konsequenzen für die Ökosysteme“, sagt der UFZ-Hydrogeologe Dr. Christian Siebert. Weniger Bäume heißt zum Beispiel, dass weniger Stickstoff durch die Vegetation aufgenommen wird. Die Nitratkonzentration in den eigentlich nährstoffarmen Bächen und im Grundwasser könnte daher deutlich steigen. Ein dezimierter Wald hält auch nicht mehr so gut den Wasserabfluss bei Regen zurück. Gleichzeitig treten aufgrund des Klimawandels immer häufiger intensive Regenereignisse auf.



© C. Siebert

Darüber hinaus führt die Entwaldung zu höheren Oberflächentemperaturen und Windgeschwindigkeiten. Das bedeutet, dass die Verdunstung zunimmt, sich weniger Grundwasser neu bildet und das verfügbare Bodenwasser abnimmt. Die Folgen: Die wassergesättigten Flächen – die Hauptquelle für Bäche und Gräben – trocknen aus. Sinkende Wasserstände und eine geringere Abdeckung durch fehlende Baumkronen führen zu höheren Wassertemperaturen. „Insbesondere in Verbindung mit einer erhöhten Nährstoffbelastung beeinträchtigt das alles die aquatischen Ökosysteme“, warnt der UFZ-Experte. Um alle wichtigen Parameter zu erfassen, hat das UFZ alle Untersuchungsstandorte mit Geräten zur automatischen Beobachtung von Grund-, Boden- und Oberflächenwasser ausgestattet.

MIT HOCHAUFLÖSENDER ÜBERWACHUNG KLEINRÄUMIGE MUSTER ERKENNEN

Ein neuer Ansatz hilft, Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser in der hyporheischen Zone besser zu erfassen. Er kombiniert das Messen von Temperatur, elektrischer Leitfähigkeit und Abfluss.

Die hyporheische Zone spielt eine entscheidende Rolle bei Flussökosystemen, wird aber oft übersehen. Diese Zone ist der Bereich im Flussbett, in dem sich Oberflächen- und Grundwasser vermischen. Das bedeutet, es kommt zu physikalischen und chemischen Wechselwirkungen. Zum Beispiel werden Partikel, Stoffe und Mikroorganismen, aber auch Verunreinigungen ausgetauscht.

Für eine wirksame Land- und Wasserbewirtschaftung ist es unerlässlich, diese Prozesse und deren Bedeutung für die Ökosysteme zu verstehen. Dazu ist es notwendig, die Wechselwirkungen räumlich und zeitlich detailliert zu überwachen. In der Praxis werden sie jedoch oft nur punktuell mithilfe von einzelnen Sensoren

überwacht. „Dadurch besteht die Gefahr, dass kritische Schwankungen in einzelnen Flussabschnitten übersehen werden“, sagt Prof. Roland Bol, Experte für Biogeochemie am Forschungszentrum Jülich.

Gemeinsam mit Dr. Konstantina Katsanou und Dr. Jochen Wenninger vom niederländischen IHE Delft Institute for Water Education hat er einen neuen Ansatz zum Überwachen der Wechselwirkungen entwickelt und getestet. Dieser kombiniert eine kontinuierliche Temperaturüberwachung mit Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und des Abflusses. „Der Ansatz ermöglicht eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung. Wir können damit kleinräumige Wechselwirkungen und Muster erkennen“, so der Jülicher Forscher.



© Konstantina Katsanou

Gerät zur optoelektronischen Temperaturmessung am Wüstebach

Die Forscher:innen haben den Ansatz erstmals angewendet, um die Wechselwirkungen im Oberlauf des Wüstebachs im TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ zu untersuchen. „In Kombination mit dem hochauflösenden Monitoring und den Abfluss- und Niederschlagsdaten des TERENO-Standorts konnten wir die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser besser quantifizieren und besser verstehen, wie sich diese auf die jahreszeitlichen Abflussschwankungen der Ökosysteme auswirken“, berichtet Bol. Die Wissenschaftler:innen konnten auch Erkenntnisse sammeln, wie größere Gebiete untersucht und bereits bestehende Überwachungsmaßnahmen ergänzt werden könnten.

EIN GUTER SCHUTZ FÜR TRINKWASSERRESERVOIRS

Vordämme leisten einen wichtigen Beitrag, um Talsperren vor zu hohen Nährstoffkonzentrationen zu schützen. Das zeigt eine Studie des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ.

Talsperren spielen eine wichtige Rolle als Trinkwasserreservoir. Doch immer wieder reichern sich Nährstoffe an. Darunter leidet die Wasserqualität. „Um diese Eutrophierung einzudämmen, muss die externe Zufuhr von Nährstoffen reduziert werden“, sagt Prof. Karsten Rinke, Leiter des UFZ-Departments Seenforschung. Bei einzelnen, sogenannten Punktquellen wurde die Zufuhr bereits weitestgehend reduziert. Anders sieht es bei sogenannten diffusen Quellen aus. Das sind zum Beispiel Nährstoffüberschüsse von landwirtschaftlich genutzten Flächen und Nährstoffeinträge aus urbanen Gebieten, die über Zuflüsse in Talsperren gelangen. „Die Zufuhr aus diesen Quellen zu kontrollieren, ist schwierig. Sie wird nicht häufig genug gemessen und konkrete Maßnahmen beschränken sich auf das Einzugsgebiet der Talsperre“, so Rinke.

Eine mögliche Maßnahme sind Vordämme. Das sind kleine flussaufwärts gelegene Stauhaltungen, die Nährstoffe durch Aufnahme in Algen und anschließende Sedimentation zurückhalten. Eine Studie von UFZ-Forscher:innen um Karsten Rinke zeigt, dass solche Vordämme einen wertvollen Beitrag zum Nährstoffrückhalt leisten. „Sie sind besonders effektiv beim Rückhalt von Phosphor, was sie für die Eutrophierungskontrolle attraktiv macht“, erläutert die Erstautorin der Studie, Tainara Fernandes. Während die Vordämme rund 40 Prozent löslichen reaktiven Phosphor (SRP) und Gesamtphosphor (TP) zurückhielten, lagen die Werte bei Nitrat (NO₃) und Silizium bei knapp über 15 Prozent.

Insgesamt hatten die Wissenschaftler:innen Nährstoff- und Abflussdaten aus 124 Jahren von neun deutschen Vordämmen aus fünf deutschen Talsperrensystemen analysiert, darunter von der Rappbode-Talsperre im TERENO-Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“. Trotz deutlicher Unterschiede bei Zu- und Abflussbelastung



Vordamm an der Talsperre Dröda/Sachsen



© UFZ/Tallent Dadi

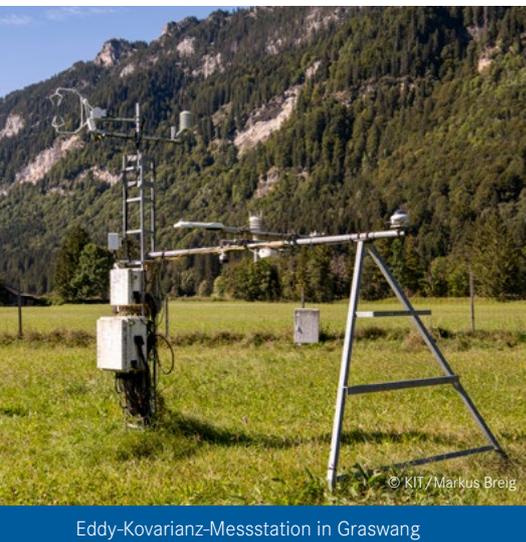
zeigten die Vordämme ähnliche Rückhaltekapazitäten. Darüber hinaus untersuchten die UFZ-Forscher:innen auch methodische Fragen der Belastungsabschätzung. „Das macht unsere Studie auch für Wassermanager und Praktiker äußerst relevant“, betont Fernandes.

Tainara Fernandes et al. 2025. *How efficient are pre-dams as reservoir guardians? A long-term study on nutrient retention.* Water Research Vol. 272.

► DOI: [10.1016/j.watres.2024.122864](https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122864)

FENDT UND GRASWANG ZERTIFIZIERT

Zwei weitere TERENO-Standorte haben im Mai 2025 das Zertifikat „Associate Ecosystem Station“ von der europäischen Forschungsinfrastruktur Integrated Carbon Observation System (ICOS) erhalten: die Grünland-Stationen Fendt und Graswang im TERENO-Observatorium „Alpenvorland“.



© KIT/Markus Breig

Eddy-Kovarianz-Messstation in Graswang

„Das Zertifikat ist der Nachweis, dass unsere beiden Stationen Treibhausgase qualitativ hochwertig und nach einheitlichen Standards des ICOS-Netzwerks erfassen“, sagt Dr. Ingo Völksch vom Campus Alpin des Karlsruher Instituts für Technologie, der maßgeblich am Zertifizierungsprozess beteiligt war. Hohe Qualität und festgelegte Standards erleichtern es beispielsweise Nutzer:innen, Daten unterschiedlicher ICOS-Stationen für ihre Forschung zu verwenden. Um das Label zu erhalten, müssen Stationen ein anspruchsvolles Standardisierungs- und Qualitätskontrollprogramm durchlaufen.

Weitere als „Associate Ecosystem Station“ zertifizierte Standorte sind Großes Bruch im TERENO-Observatorium „Harz/

Mitteldeutsches Tiefland“ sowie Rollesbroich und Wüstebach im TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“. Rollesbroich wurde 2024 für hervorragende Datenqualität und ausgezeichnete Zusammenarbeit als „ICOS Ecosystem site of the year“ ausgezeichnet. Der Moor-Standort Schechenfilz im Observatorium „Alpenvorland“ durchläuft derzeit den Zertifizierungsprozess.

Die Standorte Hohes Holz im Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“ und Selhausen im Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ sind sogar als „Class 1 Station“ zertifiziert. Für dieses Label müssen Stationen zusätzliche Anforderungen erfüllen.



Luftprobenahme am eLTER-Standort Hyytiälä Forestry Field Station in Finnland

WENN WISSENSCHAFT AUF DIE FREIE NATUR TRIFFT

Jeden Morgen herrscht Aufbruchstimmung am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). Während die meisten Analytiker mit Proben arbeiten, die in sterile Labore gebracht werden, packt das Feldanalytikteam von Dr. Helko Borsdorf seine Ausrüstung zusammen und macht sich auf in die Wildnis. In aller Frühe kalibrieren die Techniker:innen im Labor sorgfältig ihre empfindlichen Instrumente, verladen sie anschließend in ihre Geländewagen, um dann zu abgelegenen Waldstationen zu fahren. „Wir sind alles andere als typische Laborant:innen – wir sind teils Wissenschaftler, teils Outdoor-Abenteurer, die sich gleichermaßen wohlfühlen, empfindliche Sensoren einzustellen oder durch dichte Wälder zu wandern, um Messstationen zu erreichen“, so Helko Borsdorf.

An einem Tag findet man sie am TERENO-Standort Hohes Holz, wo sie bei einem plötzlichen Wetterumschwung mit ihrer Ausrüstung kämpfen. Am nächsten Tag sind sie an der SMEAR II-Station in finnischen Hyytiälä, tauschen sich mit Kolleg:innen aus, während ihre Instrumente leise die

chemischen Vorgänge im Wald messen. Die Analysewerkzeuge, die das UFZ-Team selbst entwickelt, müssen in einer schlammigen Waldlichtung genauso zuverlässig funktionieren wie in einem makellosen Labor. Der Hauptvorteil der mobilen Labore, die organische Verbindungen in Luft und Wasser mit laborähnlicher Präzision nachweisen: kein wochenlanges Warten auf Laborergebnisse, wenn schnell Umweltentscheidungen getroffen werden müssen.

Reale Szenarien nachbilden

Die Geheimwaffe des Teams sind die speziell angefertigten Referenzgassysteme im UFZ. Mit ihnen schaffen Techniker kontrollierte atmosphärische Bedingungen, indem sie alles von der Luftfeuchtigkeit bis zum Ozongehalt einstellen und so reale Szenarien bis ins kleinste Detail nachbilden. Es ist wie ein Miniatur-Chemielabor der Natur, in dem sie testen können, wie ihre Sensoren funktionieren, bevor sie ins Feld gehen. Aber das eigentlich Spannende findet draußen statt. Bei Hitzewellen oder Schädlingsbefall geht es raus in die Natur, um zu messen, wie die Bäume chemisch auf den Stress reagieren. Die Instrumente erfassen, wie sich die chemischen Signaturen der Wälder aufgrund des Klimawandels verändern – eine Art Umweltgeschichte, geschrieben in Molekülen.

Auch wenn Wissenschaftler:innen solche Experimente entwerfen, es sind die Techniker, die sie zum Leben erwecken und am Laufen halten. Ihr Fachwissen reicht von der Feinabstimmung neu entwickelter Instrumente bis zur Wartung von Geräten, die rund um die Uhr unter schwierigen Außenbedingungen laufen sollen. Das interdisziplinäre Team beweist, dass die Zukunft der Umweltüberwachung nicht nur von besserer Technologie abhängt, sondern auch von engagierten Menschen, die diese Technologie in der Praxis zum Einsatz bringen – Messung für Messung.



© UFZ/Thomas Mayer

Die Arbeitsgruppe Vor-Ort Analytik: Thomas Mayer, Stefanie Penzel, Robby Rynek, Anne Kretzschmar, Tobias Goblirsch, Helko Borsdorf (v.l.n.r.)

KONTAKT | KOORDINATION

Dr. Heye Bogena

Institut Agrosphäre (IBG-3),
Forschungszentrum Jülich, 52425 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, Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen
Tel.: 0 88 21/1 83-153
E-Mail: ralf.kiese@kit.edu

Dr. Gerhard Helle

Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Telegrafenberg, 14473 Potsdam
Tel.: 03 31/6264-1377
E-Mail: gerhard.helle@gfz.de

Dr. Steffen Zacharias

Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig
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, www.tereno.net

Redaktion:

Christian Hohlfeld (verantwortlich),
Am Brunnchen 21, 53227 Bonn

Grafik und Layout:

BOSSE UND MEINHARD, Bonn