



Foto: M. Mauder, KIT/IMK-IFU

Anziehungspunkt auch für Studierende: Die Geographie-Studentin Katja Heidbach von der Ludwig-Maximilians-Universität München (L) recherchiert im TERENO-Observatorium „Bayrische Alpen/Voralpenland“ für ihre Diplomarbeit über die Energiebilanz von Grünlandflächen. Hier unterstützt sie KIT-Ingenieur Carsten Jahn bei Wartungsarbeiten an der Station Fendt

EINE GEMEINSAME HERAUSFORDERUNG

Klimaforschung muss Kräfte bündeln

Die Veränderungen durch den Klimawandel sind bereits heute weltweit spürbar. Beispielsweise können die Wissenschaftler im TERENO-Observatorium „Bayrische Alpen/Voralpen“ beobachten, wie die Schneegrenze in den Alpen und Voralpen weiter nach oben steigt. Es drohen öfters als bisher Hochwasser und Überschwemmungen. TERENO schafft die Voraussetzungen, um in ausgewählten Regionen die lokalen Klimaveränderungen zu erfassen und die nötigen Schlussfolgerungen zu ziehen. Der Newsletter stellt eine Reihe von TERENO-Aktivitäten vor: beispielsweise die Inbetriebnahme eines neuen hochempfindlichen Wetterradars, die fortschreitende Ausstattung der Observatorien mit modernen Messinstrumenten sowie die Untersuchung aktueller Phänomene. Auch andere Länder stehen vor ähnlichen Problemen, die Forscher erkunden und für die sie Strategien und Lösungen suchen. Es liegt nahe, hier die Zusammenarbeit und den Austausch zu intensivieren. TERENO setzt in einem ersten Schritt auf eine engere Kooperation in Europa. Das Bundesforschungsministerium sieht in dem Projekt einen wichtigen Baustein für eine europäische Forschungsinfrastruktur, wie Ministerialrat Wilfried Kraus im Interview erklärt.

IN DIESER AUSGABE

Editorial: Über Grenzen hinweg	Seite 2
Einblicke vor Ort	Seite 2
Die Wege des Wassers	Seite 3
Wie der Treibhauseffekt den Treibhauseffekt beeinflusst	Seite 4
„Kräfte vereinen“	Seite 5
Klimapflege: Annäherung durch Forschung	Seite 6
Ein dichtes Messnetz	Seite 7
Den Regen genauer messen	Seite 7
Seewasserspiegel sinkt, Forschung steigt	Seite 8
Konkurrenzkampf im Tümpel	Seite 9
Forschungsflugzeug trifft Weltraumsatelliten	Seite 9
Ein Muster für Mitteleuropa	Seite 10
Gezielt manipulieren	Seite 10
Bereit für den Niederschlag	Seite 11
SOILCAN: Installation schreitet voran	Seite 11
Regionale Forschung, globaler Nutzen	Seite 12
Wenn das Wasser schwindet	Seite 13
Gemeinsame Standards festlegen	Seite 13
Mehr Infos im neuen Gewand	Seite 14
Potenzial bestätigt	Seite 14
Radarsatellit TanDEM-X gestartet	Seite 14
Kontakt Koordination	Seite 14

EINBLICKE VOR ORT

Treffen des TERENO Advisory Boards in Garmisch-Partenkirchen



Foto: Quelle: KIT/IMK-IFU

Auf dem Weg zum TERENO-Standort Graswang: Mitglieder des Advisory Boards

Vom 18. bis 19. Oktober 2009 trafen sich die TERENO-Verantwortlichen zum zweiten Mal mit den Mitgliedern des TERENO Advisory Boards (AB). Das Gremium besteht aus zwölf unabhängigen Experten der Klima- und Umweltforschung aus der ganzen Welt, die TERENO wissenschaftlich beraten und begleiten. Tagungsort war diesmal das Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Bereich Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Garmisch-Partenkirchen.

Konzepte vorgestellt

Der Anreisetag wurde zu einer Exkursion zu der vom IMK-IFU betriebenen TERENO-Station „Grasswang“ im Ammer-Einzugsgebiet genutzt. Die Station ist Teil des TERENO-Observatoriums „Bayrische Alpen/Voralpen“. Dort erfassen Forscher die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Austauschvorgänge von Biosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre bei Grünland-

ökosystemen im alpinen Raum mittels eines in situ Freiland-Simulationsexperiments entlang natürlicher Temperatur- und Niederschlagsgradienten. Die Mitarbeiter des IMK-IFU stellten dem Advisory Board das Versuchskonzept und die über TERENO-Mittel realisierte Infrastruktur und Geräte-Investitionen vor, darunter die Lysimeteranlage, das Regenradar sowie die Eddy-Kovarianz-Station zur Messung von Kohlendioxid-Austausch und Evapotranspiration, also der Verdunstung von Wasser durch die Pflanzen und den Boden.

Positive Resonanz

Am Folgetag fand unter Leitung des Vorsitzenden des AB, des amerikanischen Wasserexperten Professor Richard P. Hooper, das AB-Treffen am IMK-IFU statt. Nach Willkommensadressen durch Professor Hans Peter Schmid von IMK-IFU und TERENO-Koordinator Professor Harry Vereecken vom Forschungszentrum Jülich stellten die Mitglieder des TERENO Scientific Steering Committee (SSC), die geplanten Messprogramme und die Investitionen sowie deren geplante Implementierung in die einzelnen TERENO-Observatorien vor. Gemeinsam mit dem Advisory Board diskutierten das SSC außerdem das Datenmanagement sowie weitere Entwicklungsmöglichkeiten des TERENO-Konzeptes zur umfassenden Langzeitbeobachtung von terrestrischen Ökosystemprozessen. Die Mitglieder des AB begrüßten die bisherigen Aktivitäten der Aufbauphase und den vorgelegten TERENO-Implementierungsplan. Bei der abschließenden Diskussion empfahlen sie, die Daten und Resultate der TERENO-Standorte möglichst schnell zu präsentieren und der breiten Forschungscommunity zur Verfügung zu stellen. ■

[Implementierungsplan]



Besichtigung des Rohbaus der Lysimeter-Anlage in Graswang



Foto: KIT/IMK-IFU

Mit Alpenblick: In Garmisch forschen Wissenschaftler des KIT-Instituts für Meteorologie und Klimaforschung

EDITORIAL



Foto: Chris Finke

Über Grenzen hinweg

Liebe Leserinnen und Leser,

der Klimawandel ist eine weltweite Herausforderung. Mit TERENO versuchen wir die Voraussetzungen zu schaffen, um diesen Wandel auf regionaler Ebene zu erforschen. Auch wenn wir dafür die Infrastruktur in Deutschland aufbauen, schauen wir über die Landesgrenzen hinweg. Denn genauso wie wir von Erfahrungen und Erkenntnissen in anderen Ländern lernen, können andere von unseren Arbeiten profitieren. Das gilt sowohl für Technik und Know-how als auch für die Ergebnisse der Forschung. Beispielsweise finden Klimaentwicklungen, die wir bei uns beobachten, auch in anderen Regionen in Europa oder anderswo statt. Unter Umständen lassen sich Schlussfolgerungen auf die jeweils andere Region übertragen. Wichtig ist es auch, sich auf gemeinsame Standards zu verständigen, damit Erkenntnisse auch wirklich vergleichbar sind. TERENO hat sich hier als ein wichtiger Partner in Europa etabliert. Besonders interessant für TERENO sind natürlich unsere direkten Nachbarn, etwa Projekte wie das HOBE Center for Hydrology in Dänemark. TERENO beteiligt sich aber auch an europäischen Initiativen. Das EU-Vorhaben EXPEER (Distributed Infrastructure for Experimentation in Ecosystem Research) oder das europäische Observatorien-Netzwerk ICOS (Integrated Carbon Observation System) sind nur zwei Beispiele, die exemplarisch in der aktuellen Ausgabe des Newsletters vorgestellt werden. Denn eines ist klar: Um Antworten auf die drängenden Klimafragen zu finden, müssen wir unsere Kräfte vereinen – über Disziplinen und Länder hinweg.

Viel Vergnügen beim Lesen!

Ihr Harry Vereecken

TERENO-Koordinator

DIE WEGE DES WASSERS

HOBE untersucht den hydrologischen Zyklus der Erde



Foto: HOBE

Zahlreiche Messgeräte erfassen die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse



Foto: HOBE

Typische dänische Landschaft: das Gebiet um den Fluss Skjern

Die Sonne erwärmt das Meer, das Wasser verdunstet, und der Wind trägt es über das Land. Als Niederschlag fällt es in Flüsse oder versickert in der Erde in das Grundwasser. Es kann als Trinkwasser gewonnen werden, oder es fließt zurück ins Meer. Mit dem HOBE Center for Hydrology entstand in Dänemark eines der aufwändigsten Forschungsprojekte zur Untersuchung dieses Wasserkreislaufes.

Forscher interessieren sich schon seit langem dafür, wie der Wasserzyklus genau funktioniert. TERENO beispielsweise benötigt dieses Wissen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die regionalen Wasserressourcen genau analysieren zu können. Angesichts drohender Wasserknappheit hat die Erforschung des Wassers auch eine hohe gesellschaftliche Relevanz: Wachsende Städte benötigen mehr Trinkwasser. Aufgrund der globalen Erwärmung und der Verschmutzung von Flüssen stehen jedoch immer weniger Ressourcen zur Verfügung. Deshalb versuchen Wissenschaftler die Grundwasser-Reserven unter der Erde mit Modellen exakt zu bestimmen.

Aufschluss über Grundwasser

Das HOBE Center for Hydrology in Dänemark ist eines der aufwändigsten Forschungsprojekte in diesem Bereich. Die Mittel stammen aus privater Hand: Die Stiftung Villum Kann Rasmussen des dänischen Unternehmens Velux stellte 2007 mehr als vier Millionen Euro für das Projekt zur Verfügung. Die Forschungen sollen Aufschluss über die in Dänemark vorhandenen Grundwasser-Ressourcen geben und weltweit gültige Modelle für derartige Berechnungen verbessern. Die bisherigen weisen deutliche Mängel auf: Beispielsweise ergaben Berechnungen, dass der

Grundwasserstand in Dänemark im Jahr 2003 um die Hälfte geringer war als 1992. In Wirklichkeit waren die Wasserreserven vermutlich gleich, nur die Messmethoden und Modelle haben sich in dieser Zeit deutlich verbessert.

Know-how aus der Erdölbranche

An HOBE beteiligen sich drei Universitäten, das Dänische Meteorologische Institut und die geowissenschaftliche Einrichtung GEUS. Die Forscher bauten ein Observatorium im Einzugsgebiet des dänischen Flusses Skjern auf, wo sie die physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse und ihre Wechselwirkungen überwachen. Das etwa 1500 Quadratkilometer große Gebiet wurde gezielt ausgewählt: „Die Landschaft um Skjern ist sehr vielfältig“, sagt HOBE-Koordinator Karsten Høgh Jensen von der Universität Kopenhagen. „Sie enthält die für Dänemark typischen Landschaftsstrukturen mit tief liegenden Schwemmebenen, die dem Fluss bei Hochwasser als Ausweichbecken dienen, und hügeligen, eiszeitlichen Ablagerungen.“ Für die Wissenschaftler ebenfalls interessant: Die sandige Erde der Region speichert wenig Wasser und ist daher besonders anfällig für klimatische Veränderungen.

Die HOBE-Forscher nutzen neben gängigen Messmethoden neue Instrumente wie das SKYTEM-System, das an der Universität Aarhus entwickelt wurde. Es basiert auf einer Technik, mit der man bislang vor allem das Vorkommen von Erdöl überprüfte. Ein mit Sendespulen ausgestatteter Hubschrauber überfliegt dabei eine Region und schickt elektromagnetische Impulse durch die Erde, die im Untergrund elektrische Ströme erzeugen. Eine hochempfindliche Empfängerspule misst die Reaktion. Damit lässt sich vom Untergrund eine bis in eine Tiefe von etwa 200 Metern genaue topogra-

phische Karte des Grundwasservorkommens erstellen – in Bergregionen oder Städten war dies mit gängigen Bodenmessungen bislang zu aufwändig. Mit SKYTEM-Messungen lässt sich ableiten, wie verschmutzt das Grundwasser ist, und süßes Trinkwasser von versalztem Wasser unterscheiden.

Die Daten aus dem HOBE-Projekt fließen nach erfolgter Qualitätssicherung in eine internetbasierte Datenbank – so lassen sie sich leicht für künftige Forschungsprojekte abrufen. HOBE selbst wird fünf Jahre laufen, danach soll es mit anderen Mitteln weitergehen. Auch aus TERENO-Sicht wäre eine Fortsetzung wünschenswert. „HOBE zeigt, dass regionale Langzeitbeobachtungen von Klimaveränderungen auch in anderen europäischen Ländern von Bedeutung sind“, sagt TERENO-Koordinator Harry Vereecken. Beide, Vereecken und Jensen, sitzen jeweils als Mitglied im Advisory Board des Partners; sie wollen ihre Zusammenarbeit künftig noch weiter vertiefen. ■

[HOBE Center for Hydrology]



Foto: Chris Trube

HOBE-Koordinator
Karsten Høgh Jensen

WIE DER TREIBHAUSEFFEKT DEN TREIBHAUSEFFEKT BEEINFLUSST

TERENO arbeitet eng mit europäischen und globalen Netzwerken zusammen

Ohne Treibhausgase wäre die Erde eine Eiswüste. Denn Pflanzen und Böden geben Gase wie Wasserdampf, Kohlendioxid (CO₂), Methan oder Stickoxid (N₂O) durch Atmung und organische Abbauprozesse ständig an die Luft ab und tragen so zur Erwärmung der Erdoberfläche um 33 Grad Celsius auf durchschnittlich 15 Grad Celsius bei. Im Zuge der Industrialisierung hat allerdings der Mensch zusätzlich immer mehr Treibhausgase in die Luft gepustet. Die Folgen: verstärkte globale Erwärmung und Klimawandel. Zusammen mit anderen TERENO-Partnern will das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) herausfinden, wie sich Klimawandel, Ökosysteme und der Treibhausgas-Haushalt von Pflanzen und Böden gegenseitig beeinflussen. Damit ziehen sie am selben Strang wie europäische und weltweite Netzwerke der Treibhausgas-Forschung.

Drohende Gefahr aus dem Boden

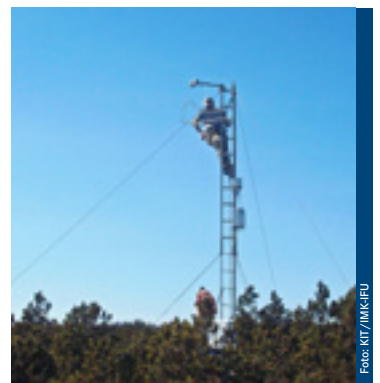
„Neben CO₂ haben auch Methan oder Stickoxid einen immer stärkeren Einfluss auf den Klimawandel“, erklärt Professor Hans Peter Schmid vom KIT-Institut für Meteorologie und Klimaforschung. So beeinflusst beispielsweise eine geänderte Landnutzung, etwa intensivierte Landwirtschaft oder Waldbau, den Wasserhaushalt und die Mikrobienaktivität in den Böden. In Verbindung mit der Klimaerwärmung können diese dann verstärkt Methan abgeben. Dies ist einer der Gründe für den rasanten Anstieg des globalen Methangehaltes in der Atmosphäre, was wiederum die Er-

wärmung weiter antreibt. Der Anteil von Stickoxid in der Atmosphäre nimmt durch – gewollten oder ungewollten – Einsatz von Düngemitteln zu. Denn der darin enthaltene Stickstoff bringt die Bakterien im Boden dazu, vermehrt N₂O zu produzieren.

„Wir wissen zwar viel über einzelne Abläufe, aber hier geht es um eine Familie von Prozessen, die sich gegenseitig beeinflussen“, so Schmid. „Daher müssen wir alle Faktoren erfassen, eben die Wechselwirkung zwischen Wasserdampf, Temperatur, Sonneneinstrahlung und Niederschlagsmenge, und der Menge an Treibhausgasen, die Pflanzen und Boden abgeben und aufnehmen.“ Darum rüstet TERENO seine Observatorien mit zusätzlichen Messinstrumenten auf.

Ziel ist es, Modelle zu entwickeln, die Forscher flexibel auf verschiedene Ökosysteme anwenden können. Damit lassen sich Messungen im Kleinen auf größere Flächen übertragen und Prognosen erstellen. „Erst dann können wir Konsequenzen abschätzen und gezielt Maßnahmen ergreifen“, sagt TERENO-Koordinator Professor Harry Vereecken vom Forschungszentrum Jülich. Daher ist TERENO ein wichtiger Kooperationspartner des geplanten europäischen Observatorien-Netzwerkes ICOS (Integrated Carbon Observation System), das den Treibhausgasausaustausch in Europa untersucht. Die TERENO-Messungen des CO₂-Austauschs werden über das globale Netzwerk FLUXNET der weltweiten Wissenschaftsgemeinschaft zur Verfügung gestellt. ■

[ICOS-Netzwerk]



oben: Eddy-Kovarianz-Station am Standort Graswang im oberen Ammergebiet

unten: Installation von Eddy-Kovarianz-Instrumenten über dem Hochmoor-Spirkenwald der TERENO-Station Schechenfilz in Oberbayern

Internationale Kooperationen der TERENO-Partner (Auswahl)

- Center for Ecology and Hydrology, Edinburgh/Großbritannien
- DIGISOIL Collaborative Project
<http://www.igr.ro/proiecte/digisoil/>
- ENTRANCE HGF-JL - ENvironmental TRANsition of Chinas Ecosystems under predicted climate change
http://www.imk-ifu.kit.edu/75_792.php
- EXPEER – Distributed Infrastructure for Experimentation in Ecosystem Research koordiniert durch L'Institut National de la Recherche Agronomique - INRA (Dr. Abad Chabbi), Frankreich
- FLUXNET
<http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/index.cfm>
- HOBE - Center for Hydrology, Dänemark
<http://www.hobecenter.dk/>
- Hydrogeophysics and Ecohydrology (MoU)/ Lawrence Berkeley National Laboratory/USA
- ICOS - Integrated Carbon Observation System
<http://www.icos-infrastructure.eu/>
- Joint Research in the field of agrosphereic research
- LTER-Europe – European Long-Term Ecosystem Research Network
<http://www.lter-europe.net>
- KLIMZUG-NORD
<http://klimzug-nord.de/>
- Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
- iSoil – Interactions between soil related sciences
<http://www.isoil.info>
- NitroEurope IP
<http://www.nitroeuropa.eu/>
- PEER – Partnership for European Environmental Research
<http://www.peer.eu>
- PROCEMA HGF-VI - Regional Precipitation Observation by Cellular Network Microwave Attenuation and Application to Water Resources Management
<http://www.imk-ifu.kit.edu/1179.php>
- RSSC-West-Africa - "Regional Science Service Center for West Africa"
- SMOS - Soil Moisture and Ocean Salinity
<http://www.esa.int/esaLP/LPsmos.html>
- Tel Aviv University/Israel
- The Water Institute (University of Waterloo)
<http://www.uwaterloo.ca>
- Universität Stettin/Polen
- WESS – Joint Research Centre Water & Earth System Science
<http://www.wess.info>

„KRÄFTE VEREINEN“

EXPEER treibt die Vernetzung in Europa voran

Wälder, Weiden, Ackerflächen oder Flusslandschaften: So vielfältig solche Lebensräume sind, so unterschiedlich wirken sich weltweit klimatische Veränderungen auf diese Ökosysteme aus. Deren Erforschung auf europäischer Ebene treibt das EU-Vorhaben EXPEER (Distributed Infrastructure for Experimentation in Ecosystem Research) voran. Zu den 37 Partnern zählt auch TERENO. „Wir müssen in Klimafragen künftig global abgestimmt handeln, daher müssen wir die Kräfte vereinen“, betont Steffen Zacharias vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ und Mitglied des Koordinationsteams von TERENO.

Das Vorhaben fördert die Nutzung von bereits bestehenden europäischen Forschungsinfrastrukturen. „Zum Beispiel können wir jungen Wissenschaftlern aus Europa im Rahmen von EXPEER die Möglichkeit bieten, die TERENO-Observatorien zu besuchen und dort zu arbeiten“, sagt TERENO-Koordinator Heye Bogena vom Forschungszentrum Jülich (FZJ).

Der vorgezogene Klimawandel

Damit Wissenschaftler die erhobenen Daten weltweit nutzen und deuten können, will EXPEER Standards zu ihrer Erhebung etablieren. Zusätzliche Daten sollen weitere Untersuchungen liefern. So experimentiert das UFZ ab dem

kommenden Jahr mit landwirtschaftlichen Kulturen oder Grünland in großen Gewächshäusern, in denen die Forscher beispielsweise Niederschlagsmenge oder Temperaturen ändern und Reaktionen der Pflanzen beobachten können. „Ein vorgezogener Klimawandel im Kleinen“, erläutert Zacharias.

Darüber hinaus entwickeln Jülicher Wissenschaftler im Rahmen von EXPEER Methoden, um die lokalen Daten der EXPEER-Observatorien mithilfe von Fernerkundungsdaten und Modellen auf größere Räume in Europa zu übertragen. „Durch die Kombination von Mes-

sungen und Modellen können wir biogeochemische Stoffflüsse in Europa besser abschätzen, etwa von Wasser, Kohlenstoff und Stickstoff“, erklärt der Jülicher Professor Harrie-Jan Hendricks-Franssen, der das Teilprojekt leitet.

Langfristig wollen die Forscher Modelle entwickeln, mit denen sie Aussagen im größeren Maßstab treffen können. „Ähnlich wie beim Wetter könnte ein Landwirt die Vorhersage für die Bodenfeuchte von Feldern übers Internet abfragen. Dadurch weiß er dann, wann er wieder bewässern muss“, so TERENO-Koordinator Professor Harry Vereecken vom FZJ. ■

Geophysikalische Standorterkundung im TERENO-Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“



Standorte der 37 Partner des EU-Vorhabens EXPEER



KLIMAPFLEGE: ANNÄHERUNG DURCH FORSCHUNG

Interview mit Wilfried Kraus, Bundesministerium für Bildung und Forschung

Klimaschutz ist vor allem eine globale Aufgabe. Deutschland und Europa sind hier Vorreiter. Diese Rolle soll ausgebaut und international genutzt werden. Ministerialrat Wilfried Kraus, Leiter des Referats Nachhaltigkeit, Klima, Energie im Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), erläutert, welche Bedeutung dabei die Klimaforschung hat.

Das BMBF fördert seit Jahren intensiv die Klimaforschung in Deutschland: mit welchen Zielen?

Es ist völlig klar, dass wir den Klimawandel stoppen oder zumindest abschwächen müssen. Daher hat sich Deutschland verpflichtet, den Ausstoß an Treibhausgasen bis 2020 um 25 Prozent gegenüber 1990 zu senken. Darüber hinaus geht es um die Anpassung an die Klimaveränderungen. Hierfür müssen wir das Klimasystem besser verstehen und konkrete Handlungsstrategien für die Praxis entwickeln. Wesentliche Voraussetzung ist eine breite Datengrundlage, von der Forscher weltweit profitieren können. Außerdem kann sie dazu beitragen, den Intergovernmental Panel on Climate Change-Prozess, kurz IPCC-Prozess, der Vereinten Nationen voranzutreiben.

Welche Rolle spielt hier Europa?

Deutschland und Europa sind Vorreiter in der Klimaforschung. Diese Rolle wollen wir ausbauen und nutzen, um den Klimaschutz und den Schutz vor negativen Klimawirkungen voranzutreiben. Europa muss aber nicht nur seine Kompetenz, etwa beim IPCC, einbringen. Es gilt beispielsweise auch Entwicklungs- und Schwellenländern zu helfen, wissenschaftliche Kapazitäten aufzubauen. Das BMBF stellt für den Aufbau von Regionalen Forschungszentren zu Klimawandel und angepasstem Landmanagement in Afrika in den kommenden Jahren bis zu 90 Millionen Euro zur Verfügung. Diese sollen die Kompetenzen afrikanischer Wissenschaftler stärken und Lösungen für die aktuellen klimabedingten Probleme in der Region erarbeiten und die Adaptationskapazitäten insbesondere im Bereich Landmanagement stärken.

Welche Aktivitäten sind in der europäischen Klimaforschung geplant?

Derzeit entwickelt die EU zu diesem Thema eine gemeinsame europäische Forschungsinitiative, eine sogenannte Joint Programming Initiative. Sie soll das europäische Wissen rund



Ministerialrat Wilfried Kraus

ums Klima zusammenbringen. Dazu gehört ein intensiverer Austausch von Daten und Ergebnissen sowie die bessere Abstimmung und Koordination von Forschungsaktivitäten. Das macht nicht nur die Forschung effizienter, sondern auch die Politikberatung. Bereits aktiv ist das Europäische Institut für Innovation und Technologie (EIT). In sogenannten Wissens- und Innovationsgemeinschaften, den Knowledge and Innovation Communities (KICs), stärkt das EIT die Wettbewerbsfähigkeit Europas – in Forschung und Ausbildung. Das KIC für die Klimaforschung gründete sich im Dezember 2009. Beteiligt sind namhafte Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Darüber hinaus laufen die Vorbereitungen für das 8. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union an, das ab 2012 startet.

Welche Bedeutung haben diese Vorbereitungen?

Durch die Ausrichtung des Programms legt die EU fest, was sie etwa in der Klimaforschung in den darauf folgenden sieben Jahren fördert. Deutschland war bei den vergangenen beiden Programmen in der Klimaforschung mit an der Spitze. Das wollen wir natürlich fortsetzen. Derzeit erarbeitet das BMBF gemeinsam mit Wirtschaft und Wissenschaft Vorschläge, die noch dieses Jahr vorgestellt werden und dann so weit wie möglich in die Arbeitsprogramme der EU einfließen sollen.

Was kann TERENO für Europa leisten?

Auch wenn TERENO eine nationale Infrastrukturmaßnahme ist, können Wissenschaftler anderer Länder von den Erfahrungen profitieren. So manches Ergebnis lässt sich unter Umständen

den auf andere Regionen in Europa oder auf andere Kontinente übertragen. Hinzu kommt, dass Forscher im Rahmen von TERENO nicht nur lokal Daten sammeln, sondern auch Klimasimulationen durchführen und Klimamodelle entwickeln. Das bringt Forscher verschiedener Disziplinen und unterschiedlicher Länder zusammen, wie die zahlreichen internationalen Kontakte zeigen. TERENO ist auch ein wichtiger Baustein für eine europäische Forschungsinfrastruktur, indem es mit bestehenden oder sich in Vorbereitung befindlichen europäischen ESFRI-Initiativen kooperiert.

Seit dem Gipfel in Kopenhagen 2009 liegen Fortschritte beim weltweiten Klimaschutz auf Eis. Kann es über den Umweg Forschungsk Kooperation durchbrochen werden?

Kurzfristig halte ich das für unwahrscheinlich, zu unvereinbar scheinen die Positionen. Aber mittelfristig könnte sich etwas tun. Wirtschaftlich stark wachsende Staaten wie Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika, aber auch Entwicklungsländer wie etwa Vietnam haben großes Interesse an Kooperationen in der Umwelt- und Klimaforschung. Gerade mit diesen Ländern ist jüngst eine neue Förderinitiative des BMBF angelaufen: CLIENT. Das Ministerium unterstützt internationale Partnerschaften, die Umwelt- und Klimaschutztechnologien beziehungsweise entsprechende Dienstleistungen entwickeln und umsetzen. Dadurch sollen Umweltbelastungen in den Partnerländern reduziert und ein Beitrag zum globalen Klimaschutz geleistet werden. Als Nebeneffekt erhoffen wir uns durch mehr Klimawissen und Kapazitätsbildung auf Seiten dieser Staaten eine Annäherung bei den globalen Klimazielen. ■



Foto: André Künzelmann/UFZ

Das Einzugsgebiet der Bode ist vor allem ländlich geprägt

WESS FORSCHT AN DER BODE

Das hydrologische Observatorium im Bode-Einzugsgebiet ist auch ein wichtiger Untersuchungsstandort für die neue Forschungsinitiative Water & Earth System Science (WESS). Das interdisziplinäre Zentrum – eine Kooperation des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ Leipzig mit den Universitäten Tübingen, Hohenheim und Stuttgart – beschäftigt sich mit den Auswirkungen der globalen Klima- und Landnutzungsänderungen auf die regionalen Wasser- und Stoffflüsse sowie der Entwicklung entsprechender Anpassungsstrategien.

Kontakt: Elisabeth Krüger (UFZ),
elisabeth.krueger@ufz.de

EIN DICHTES NETZ

UFZ richtet hydrologisches Observatorium im Bode-Einzugsgebiet ein

Die Umweltprozesse in hydrologischen Einzugsgebieten langfristig zu beobachten, ist eine der Hauptaufgaben der TERENO-Observatorien. Im Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“ richten Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ zu diesem Zweck ein hydrologisches Observatorium im Einzugsgebiet der Vereinigten Bode ein.

Der 169 Kilometer lange Fluss entspringt im Harz und mündet in einen wichtigen Nebenfluss der Elbe, die Saale. Im Einzugsgebiet befindet sich mit der Rappbode-Talsperre eine der größten Trinkwassertalsperren Deutschlands. Das Gebiet umfasst rund 3.300 Quadratkilometer – eine Fläche, die größer ist als das Saarland. Sie wird hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt. Dadurch sind Oberflächen- und Grundwasser stärker belastet, insbesondere mit Phosphor und Stickstoff.

Großes Gefälle bei Niederschlägen

Über das Gebiet existieren dank eines dichten Netzes an verschiedenen Messstationen wertvolle langfristige Beobachtungsdaten, etwa zur Abflussbildung, Wasserqualität und klimatologischen

Aspekten. In keiner anderen Region in Mitteldeutschland gibt es ein so großes Gefälle bei den Niederschlägen: Der Jahresniederschlag reicht von rund 1.500 Millimetern im Mittelgebirge bis zu 400 Millimetern im Unterlauf des Flusssystemes.

Die Forschung im Observatorium umfasst die verschiedensten Disziplinen von der reinen Wasserforschung über die Bodenforschung, die Biodiversitätsforschung und die Klimaforschung bis hin zu sozialwissenschaftlichen Aspekten. In einem ersten Schritt haben die UFZ-Wissenschaftler zwei charakteristische Teileinzugsgebiete ausgewählt. Dort gibt es jeweils einen Standort, der detailliert und intensiv erfasst wird: die Geesgraben-Region mit dem Standort Sauerbach und das Selke-Gebiet mit dem Standort Schäferbach. Am Schäferbach arbeitet das UFZ eng mit der Hochschule Magdeburg/Stendal zusammen. Neben ausgewählten kleinräumigen Messungen setzen die Wissenschaftler auch Fernerkundungstechniken ein, um alle wesentlichen Informationen zur Regionalisierung der jeweiligen Umweltkenngößen zu gewinnen. Daraus wollen sie Modelle erarbeiten, um zukünftige Entwicklungen des Einzugsgebietes zu prognostizieren. ■

DEN REGEN GENAUER MESSEN

Weterradar eingeweiht – Daten online abrufbar

Regen und Wind können kommen. Das TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ ist gerüstet. Seit dem 12. Oktober 2009 ist auf der Sophienhöhe im Kreis Düren ein technisches Highlight in Betrieb, das neue Weterradar des Forschungszentrums Jülich. Das Besondere: Mit der 1,4 Millionen Euro teuren Anlage sind Wissenschaftler in der Lage, Niederschläge im Umkreis von 100 Kilometern noch genauer zu messen und vorherzusagen als bislang. „Wir können den Ort auf 200 Meter genau eingrenzen und außerdem vorhersagen, ob es regnen, schneien oder hageln wird“, erklärt TERENO-Koordinator Professor Harry Vereecken vom Forschungszentrum Jülich.

Auch Windmessungen sind mit der neuen Anlage möglich, die auf einem 34 Meter hohen Turm steht. Dank der modernen Technik können nun

Unwetter und Hochwasser schneller erkannt werden. Die Anlage liefert zudem detaillierte Daten zu den Auswirkungen des Klimawandels auf lokale Ökosysteme. Das Jülicher Weterradar wird in Kombination mit dem baugleichen Weterradar des meteorologischen Instituts der Universität Bonn betrieben. Hieraus ergeben sich einzigartige Möglichkeiten zur Verbesserung der Niederschlagsbestimmung und -vorhersage.

Von den Daten profitieren auch andere: Der Deutsche Wetterdienst kann etwa seine Vorhersagen verbessern, lokale Wasserverbände und der Energiekonzern RWE können die Steuerung von Talsperren und anderen wasserwirtschaftlicher Anlagen optimieren. Seit April 2010 sind die Daten auf der TERENO-Homepage abrufbar. ■

[Daten des Weterradars]



Einweihung des Weterradars durch Professor Harald Bolt, Mitglied des Vorstands des FZ Jülich (4.v.l.)

Pressestimmen zur Einweihung

„Endlich schlauer über Schauer“
WDR, 12.10.2009

„Super-Radar sagt Wetter auf 200 Meter genau vorher“
Bild-Zeitung, 13.10.2009

„Frühwarnung vor Unwettern. Neues Weterradar bei Jülich misst sogar die Größe der Regentropfen“
Westdeutsche Zeitung, 13.10.2009

„Radar zeichnet Klimawandel auf. Anlage auf der Sophienhöhe wird von vielen genutzt“
Kölnischer Stadtanzeiger, 13.10.2009

„Wetterfrösche werden nun noch genauer“
Dürener Zeitung, 13.10.2009

„Regen, Hagel, Schnee. Jülicher Weterradar liefert Detaildaten“
Generalanzeiger Bonn, 20.10.2009

SEEWASSERSPIEGEL SINKT – FORSCHUNG STEIGT

Observatorium „Nordostdeutsches Tiefland“ untersucht sinkende Wasserspiegel von Seen

Viele Seen in Nordostdeutschland haben ein Problem: Sie führen immer weniger Wasser. Diese Entwicklung beobachten Wissenschaftler schon seit den 1980er Jahren. Viele Experten führen sie auf den globalen Klimawandel zurück. Allerdings weiß die Forschung noch nicht genug über die hydrologischen Prozesse, die für die fallenden Wasserspiegel verantwortlich sind.

Eine Frage der Zeit

Hilfreich könnte es sein, sich die Entwicklung in der Vergangenheit anzusehen und Daten von heute mit Daten aus der Zeit zu vergleichen, als die Seen einen vergleichsweise hohen Wasserstand hatten, etwa im frühen Mittelalter. Genau das haben Wissenschaftler an dem vom Deutschen Geoforschungszentrum (GFZ) geführten TERENO-Observatorium „Nordostdeutsches Tiefland“ vor: Sie kombinieren moderne Methoden der Hydrologie und des Wassermanagements mit der Auswertung natürlicher Archive, wie etwa Jahresringe von Bäumen und Seesedimenten. Die Wissenschaftler erhoffen sich dadurch Hinweise auf anthropogene und natürliche Zusammenhänge und Ursachen für Veränderungen der Wasserspiegel. Am Ende lässt sich dann beurteilen, in welchem Maß die heutige Entwicklung auf die Erderwärmung zurückzuführen ist, auf den Einfluss des Menschen oder auf eine Mischung von beidem. Wobei sich im letzteren Fall die Frage stellt, ob und wie man beide Einflüsse voneinander trennen kann. „Wir wollen herausfinden, inwieweit Geschwindigkeit und Ausmaß der jüngsten Seespiegelsenkungen aus dem Rahmen fallen oder sich ähnliche Veränderungen in den

letzten paar tausend Jahren häufiger abgespielt haben. Solche Ereignisse in der Vergangenheit können uns mehr über künftige potentielle Konsequenzen für die See-Ökosysteme und deren Einzugsgebiete sagen“, erklärt Dr. Ingo Heinrich, TERENO-Projektverantwortlicher für die dendroklimatologischen Studien des GFZ.

In einem ersten Schritt hatten die Wissenschaftler bestimmte Seen und verschiedene Waldökosysteme innerhalb des TERENO-Observatoriums näher untersucht: den Redernswalder See, den Krummen See, den Fürstenseer See und den Röhrhahngrund. Dort hatte es infolge des gesunkenen Wasserpegels eine Überraschung gegeben. Aus dem Wasser waren zahlreiche Baumstümpfe aufgetaucht. Erste Analysen der Baumringe ergaben, dass sie nicht lange unter Wasser gestanden haben. Die Bäume waren in den 1920er Jahren gepflanzt und im Jahr 1952 gefällt worden. Weitere Untersuchungen am Redernswalder See ergaben etwas Verblüffendes: Der Wasserpegel muss zwischen 1920 und 1950 mindestens ebenso niedrig gewesen sein wie heute. Danach schien er innerhalb von 30 Jahren auf den Höchststand von 1980 gestiegen zu sein, um anschließend wieder abzusinken.

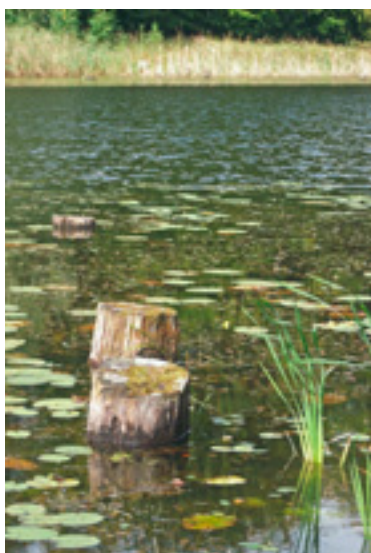
Überraschung aus der Tiefe

Aus Sicht der GFZ-Wissenschaftler zeigt dies, wie dynamisch und empfindlich das Ökosystem See sein kann. Umfassende Analysen von Baumringen, Bohrkernen von Seeablagerung und anderen Datenquellen, wie etwa historische Dokumente, müssen nun die ersten Resultate vom Rederns-

walder See bestätigen. Auch die anderen Seen wollen die Wissenschaftler auf diese Weise detailliert erforschen.

Über Vergangenheit und Gegenwart in die Zukunft blicken

Die Wissenschaftler haben inzwischen nicht nur die alten Baumstümpfe in den Seen unter die Lupe genommen, sondern auch die bis zu 400 Jahre alten intakten Bäume rund um den Redernswalder See. Sie versprechen sich davon Erkenntnisse über ihre Reaktionen auf die Klimadynamik seit Beginn des 16. Jahrhunderts und insbesondere über die Veränderungen im 20. Jahrhundert. Derzeit werden am GFZ die millimeterdicken Bohrkern der Kiefern untersucht. Vorgesehen sind auch chemisch-physikalische Analysen zur präzisen Rekonstruktion der hydroklimatischen Bedingungen in der Vergangenheit. Unterstützung erhalten Ingo Heinrich und das GFZ-Team von dem Experten Dr. Karl-Uwe Heußner vom Deutschen Archäologischen Institut. Gemeinsam wollen die Projektpartner historische und archäologische Hölzer der Region untersuchen, um detaillierte Klima-Informationen über die letzten 1000 Jahre zu gewinnen und damit weitere Erkenntnisse über die Schwankungen der Wasserstände dieser Seen zu sammeln. Die Erkenntnisse über die Entwicklungen in der Vergangenheit, ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden ökologischen Prozesse und die Kombination dieser beiden Schritte werden der Schlüssel zu neuen Modellen sein, mit denen künftige Entwicklungen anhand präziser Aussagen über die Vergangenheit besser vorausgesagt werden können. ■



Unerwartete Entdeckung: Nachdem der Wasserstand gesunken war, tauchten Baumstümpfe aus dem Redernswalder See auf. Erste Analysen ergaben die nächste Überraschung. Die Bäume waren in den 1920er Jahren gepflanzt und 1952 gefällt worden.

Kooperation von GFZ und ZALF

Das Deutsche GeoForschungszentrum GFZ und das Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) kooperieren künftig im Rahmen des Forschungsprojekts TERENO-SoilCan. Beide Einrichtungen unterzeichneten einen Vertrag über den gemeinsamen Betrieb vollautomatisierter Lysimetersysteme am Standort Dedelow. Diese Kooperation und die Bodenlysimeter bilden wichtige Beiträge zum Ausbau des TERENO-Observatoriums „Nordostdeutsches Tiefland“. ■

KONKURRENZKAMPF IM TÜMPEL

Leipziger Forscher setzen Wasserflöhe gegen Mücken ein

Der Sommer hat Einzug gehalten. Damit kommt auch die Zeit eines stechwütigen Plagegeistes, der vor allem nachts sein Unwesen treibt: die Mücke. Wissenschaftler vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig haben im Rahmen von TEREÑO nach natürlichen Lösungen gesucht, um künftigen Plagen vorzubeugen. Ihre Lösung: Kriebstierchen wie etwa Wasserflöhe machen dem Mückennachwuchs den Lebensraum streitig.

Mücken gelten in unseren Gefilden als lästig, aber nicht als gefährlich. Das könnte sich im Zuge des Klimawandels ändern. Durch starke Regenfälle, Überschwemmungen und hohe Temperaturen könnten mehr Feuchtgebiete wie Tümpel oder Sümpfe entstehen – günstige Bedingungen, damit sich die Blutsauger vermehrt fortpflanzen. Nicht nur das, es könnten sich fremde Arten ansiedeln, die Krankheiten wie Malaria übertra-

gen. „Die Tigermücke, die in den Tropen und Subtropen als Überträger der Infektionskrankheit Dengue-Fieber gefürchtet ist, hat sich bereits in mehreren Ländern Südeuropas, der Schweiz und zeitweise auch in Deutschland etabliert“, berichtet der Leipziger Forscher Dr. Matthias Liess.

Fremde Arten auf dem Vormarsch

Bei ihrer Studie im Biosphärenreservat Mittelbe bei Dessau hatten die Forscher vom UFZ eine Saison lang mehrere Wasserstellen beobachtet, wo Mückenlarven und Kriebstierchen auftauchen. Dabei stellten sie fest, dass die beiden Arten nicht gleichzeitig denselben Lebensraum besiedeln können. „Im Wettbewerb um begehrte Nahrungsmittel, wie etwa Algen, hatte der Mückennachwuchs auf lange Sicht stets das Nachsehen“, sagt Dr. Liess. Um diesen Nachteil



Foto: Elmur/Fotolia

Schnellentwickler: die Mücke

auszugleichen, entwickeln sich Mückenlarven in Rekordtempo: Nach rund zwei Wochen entschweben sie der feuchten Kinderstube als flugfähiges Insekt – lange bevor die Konkurrenz so weit ist. Diesem rasanten Wachstum setzen die Leipziger Forscher eine Doppelstrategie entgegen.: Das biologische Schädlingsbekämpfungsmittel BTI tötet die Mückenlarven, während die Ansiedelung von Wasserflöhen dafür sorgt, dass die Mücken die Gewässer nicht neu bevölkern können. Auf diese Weise könnte der Einsatz giftiger Insektizide reduziert werden. Das UFZ hat die Methode bereits erfolgreich in Deutschland und im Kamerun erprobt. Nun soll es patentiert werden. ■

FORSCHUNGSFLUGZEUG TRIFFT WELTRAUMSATELLITEN

Wissenschaftler aus Jülich und Helsinki verbessern Datenmessung zur Bodenfeuchte



Foto: FZ Jülich

Start zum Messflug: das Forschungsflugzeug „Skyvan“



Foto: Raphael Thelen

Interessierter Gast: TV-Moderator Ranga Yogeshwar (l.)

Die Herausforderung ist klar: Der Klimawandel muss zumindest verlangsamt werden. Doch viele Zusammenhänge bei Klima und Klimaveränderungen sind bis heute unzureichend erforscht, etwa das Zusammenspiel von Bodenfeuchte und Salzgehalt der Meere mit den kurz- und langfristigen Entwicklungen in der Atmosphäre. Diese Lücke soll mithilfe des Forschungssatelliten SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) der Europäischen Weltraumagentur ESA geschlossen werden. Der Satellit SMOS misst mit seinem Radiometer die Helligkeits-Temperatur der Erdoberfläche aus einer Höhe von 760 Kilometern. Das erlaubt Rückschlüsse auf die Bodenfeuchtigkeit und den

Salzgehalt der Ozeane. „Dazu gibt es bislang nur ungenaue oder regional begrenzte Daten, obgleich sie Schlüsselfaktoren im globalen Wasserkreislauf sind“, erklärt Dr. Carsten Montzka vom Forschungszentrum Jülich, der das begleitende SMOS-CalVal Projekt betreut.

Genauigkeit überprüfen

Allerdings lieferte ESMOS bisher nur Aufnahmen in grober Auflösung. Daher gab es in den letzten Monaten zusätzlich eine Vielzahl erdnaher Messaktionen. Eine war der Einsatz des Forschungsflugzeugs „Skyvan“ der Technischen Universität

Helsinki. Unter Mitwirkung des Forschungszentrums Jülich überflog es verschiedene Regionen in Europa und machte zeitgleich mit dem SMOS-Satelliten Aufnahmen der Erdoberfläche. Das TEREÑO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ ist eines der europäischen Testgebiete für SMOS. Von Hangelar bei Bonn aus startete die Maschine, um parallel zum SMOS-Satelliten Messungen der Bodenfeuchte im TEREÑO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ durchzuführen. Mit den gewonnenen Daten können die Wissenschaftler die Genauigkeit der Satellitenaufnahmen überprüfen.

Interessierter Zuschauer beim Zwischenstopp des „Skyvan“ in Hangelar war auch der Fernsehmoderator Ranga Yogeshwar. Als Physiker forschte er einst selbst in Jülich. „Niemand wusste, wie genau die Aufnahmen des Satelliten sind. Daher ist es sinnvoll, mithilfe der neuen Erkenntnisse die Instrumente des Satelliten zu validieren“, erläuterte er.

Die Validierung wird in den nächsten Monaten abgeschlossen, so dass die Genauigkeit der Satellitendaten in weiterführenden Analysen berücksichtigt werden kann. „Die Informationen helfen uns, das Klima besser zu verstehen und dadurch Wetterprognosen zu verbessern, aber auch Dürren und Überschwemmungen besser vorausszusagen“, sagt Carsten Montzka. ■

[SMOS Cal/Val]

EIN MUSTER FÜR MITTELEUROPA

Was zwischen Wald und Landwirtschaft passiert – die Forschungsplattform „Höglwald“



Seit mehr als 25 Jahren unter wissenschaftlicher Beobachtung: der Höglwald in Bayern

Rund 40 Kilometer nordwestlich von München liegt ein mehr als 100 Jahre alter Fichtenbestand, der Höglwald. Zunächst nichts Ungewöhnliches für eine Region, die durch eine Mischung von bewaldeten und intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen geprägt ist. Dennoch etwas Besonderes: Seit mehr als 25 Jahren nutzen ihn Wissenschaftler als forstliche Langzeit-Forschungsplattform. Daher ist die Plattform ein wichtiger Bestandteil des TERENO-Observatoriums „Bayrische Alpen/Voralpenland“.

Langzeitfolgen im Visier

Der Höglwald zeichnet sich durch hohe Stickstoff-einträge aus der Luft aus, die zu einer Stickstoff-übersättigung des Ökosystems geführt haben und in Konsequenz zu einer hohen Nitratbelastung des Sickerwassers und hohen Treibhausgasemissionen aus dem Boden in Form von Lachgas (N_2O). Der Bereich Atmosphärische Umweltforschung des Instituts für Meteorologie und Klimafor-schung (IMK-IFU) am Karlsruher Institut für

Technologie, einer der sechs TERENO-Partner, führt im Höglwald verschiedene Langzeitunter-suchungen durch. Unter anderem geht es um Langzeiteffekte der Stickstoffeinträge und die Auswirkungen von Waldumbaumaßnahmen auf die Gesamt-Treibhausgasbilanz des Systems. Dafür gibt es seit 1993 auf drei Untersuchungs-flächen voll automatisierte Messsysteme, die ganzjährig den Austausch von Treibhausgasen zwischen dem Boden und der Atmosphäre erfassen. Durch Messungen an einem 50 Meter hohen Turm können die Forscher zudem die ökosystemaren Flüsse von Wasserdampf und Kohlendioxid bestimmen.

Im Rahmen von TERENO haben die Wissen-schaftler des IMK-IFU des Weiteren vor, den Spurengasaustausch an der Schnittstelle zwi-schen Wald und Landwirtschaft zu erfassen. Dazu wollen sie auf einer unmittelbar an den Höglwald angrenzenden landwirtschaftlich ge-nutzten Fläche vollautomatische Messsysteme installieren, die identisch mit den bestehenden Systemen im Höglwald sind. Die Systeme wer-den mit weiteren Instrumenten ausgebaut, um zum Beispiel auch die Ammoniak-einträge aus der Landwirtschaft in den Wald zu erfassen. ■

GEZIELT MANIPULIEREN

Die Versuchsstation Bad Lauchstädt untersucht das Verhalten von Ökosystemen

Die 1895 gegründete Versuchsstation Bad Lauch-städt kann auf eine lange Tradition zurückblicken. Bereits 1902 startete ein heute noch bestehen-der Dauerversuch, einer der weltweit ältesten seiner Art. Dabei untersuchen Wissenschaftler die langfristige Nährstoffdynamik in Abhängig-keit von der landwirtschaftlichen Nutzung. Heu-te gehört die Versuchsstation zum Fachbereich Terrestrische Ökologie des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung – UFZ. Darüber hinaus ist sie eine experimentelle Plattform des TERENO-Observatoriums „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“ und Bestandteil des deutschen und europäischen Netzwerkes für Ökologische Langzeitforschung (LTER-Long Term Ecological Research).

Komplexe Beziehungen erforschen

Die Forschung in Bad Lauchstädt dient sowohl der ökologischen Grundlagenforschung als auch der nachhaltigen Nutzung und dem Schutz von Ökosystemen. In erster Linie geht es darum, die

komplexen Beziehungen in solchen Systemen besser zu verstehen. Das ist nur durch gezielte Experimente möglich. Die UFZ-Wissenschaftle-rinnen und Wissenschaftler manipulieren dazu bei ihren Versuchen gezielt bestimmte Umwel-tgrößen. Das können Einflussgrößen sein, die sich etwa aus dem Landnutzungswandel, den klima-tischen Veränderungen und der Veränderung des Artenpools in den Systemen ergeben. Aus der Reaktion des Ökosystems können sie Rück-schlüsse auf die wesentlichen Wirkungsmecha-nismen und Prozesse ziehen.

So untersuchen sie beispielsweise die Koh-lenstoff- und Stickstoffdynamik in agrarischen Ökosystemen, analysieren Spurengase in Ab-hängigkeit von der Nutzung der Böden und den Wasserkreislauf. Sie beschäftigen sich auch mit Nahrungsnetzen in Ökosystemen, der Rolle von bestimmten Artengruppen in Ökosystemen und sogenannten Sukzessionsprozessen, also der Veränderung von Ökosystemen.



Bad Lauchstädt: 13,5 Hektar Platz zum Forschen

Der Standort bietet mit seiner 13,5 Hektar gro-ßen Fläche die Möglichkeit, unterschiedliche öko-logische Systeme experimentell zu untersuchen – und zwar in Bezug auf verschiedene räumliche und zeitliche Vorgaben: etwa aus klein- oder großräumiger Sicht oder auf eine Saison oder mehrere Jahrzehnte bezogen. Dazu können For-scher sowohl Klimakammer-, Warmhaus- und Kalthausexperimente als auch Manipulationsver-suche im Freiland durchführen. ■

BEREIT FÜR DEN NIEDERSCHLAG

Drei Regenscanner erweitern das Messnetz von TERENO

Das TERENO-Netzwerk baut die messtechnische Ausstattung seiner Observatorien weiter aus. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat 2009 im Rahmen von TERENO-ICOS (siehe Seite 4) die Finanzierungsgrundlage für drei Regenscanner erteilt. Es handelt sich um X-Band-Wetterradarsysteme mit einer Parabolantenne von 60 Zentimetern Durchmesser, die im 9,41 Gigahertz-Bereich mit einer Peakleistung von 25 Kilowatt betrieben werden. Zwei dieser Scanner stehen bereits, der dritte befindet sich im Aufbau. Dadurch können die Wissenschaftler den Niederschlag besser erfassen und die Niederschlagsraten exakter bestimmen.

Das Regenradar im Ammer Einzugsgebiet erfasst Niederschlag im Umkreis bis zu 50 Kilometer



Foto: Johannes Weinhart, KIT/IMK/FU

Zwei Geräte bereits in Betrieb

Die neuen Wetterradarsysteme erfassen den Niederschlag im Umkreis von 50 Kilometern. Die ermittelten Daten rechnen sie zu minütlichen Mittelwerten um. Je Stunde übertragen sie die gespeicherten Rohdaten über DSL- bzw. UMTS-Verbindungen in die jeweiligen TERENO-Datenzentren. Die weitere Auswertung umfasst die Bereinigung von Störsignalen und die Umrechnung in Niederschlagsraten. Diese Umrechnung

beruht auf einer komplexen Beziehung zwischen der Niederschlagsreflektivität und deren jeweiliger Entfernung zum Radargerät. Dabei verwenden die TERENO-Wissenschaftler neben eigenen Niederschlagsmessungen auch die umliegender Messstationen des Deutschen Wetterdienstes und der Wasserwirtschaftsämter.

Der Regenscanner für das Ammer-Einzugsgebiet im Observatorium „Bayrische Alpen/Voralpenland“ wurde im Juni 2009 auf einem 16 Meter hohen Mast installiert und auf dem 950 Meter hohen Kirnberg im Zentrum des Ammer-Einzugsgebietes in Betrieb genommen. Unmittelbar neben dem Regenradar haben die Wissenschaftler hier zusätzlich einen Wettertransmitter auf einem 10-Meter-Mast angebracht. Er zeichnet Wind, Luftdruck, Temperatur, Feuchte und Nie-

derschlag auf und überträgt diese Daten ebenfalls online weiter.

Der Regenscanner im Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ hat seinen Platz auf dem 36 Meter hohen Messturm im Südwesten des Rur-Einzugsgebietes auf dem Intensivmessfeld Wüstebach im Nationalpark Eifel (siehe Newsletter Nr.1/2009). Er wurde im Juni 2010 in Betrieb genommen und schließt die Lücke im Regenradar messnetz des Wetterradars Sophienhöhe/Jülich und des Meteorologischen Instituts der Universität Bonn.

Für das Bode-Einzugsgebiet im Observatorium „Harz/Mitteldeutsches Tiefland“ sind die Standorterkundungen abgeschlossen, und die Planungen für die Installation wurden begonnen. ■



Foto: FZ Jülich (2), KIT

Installation eines Lysimeters: Der nach oben offene Zylinder wird mit Erde aus dem Boden gefüllt (l.). Anschließend heben die Wissenschaftler den gefüllten Lysimeter aus dem Boden, um die Messinstrumente anzubringen (M.). Am Schluss sind außer Belüftungsrohren und Blitzschutzstangen keinerlei oberirdische Bauteile sichtbar (r.)

SOILCAN:

Installation schreitet voran

Seit März 2010 erfolgt der Aufbau der TERENO-SOILCAN-Infrastruktur. Das Projekt untersucht die Auswirkungen des globalen Wandels auf die Stoff- und Wasserflüsse im Boden, indem Böden unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt werden (siehe Newsletter 1/2008). In den TERENO-Observatorien stehen inzwischen an sieben unterschiedlichen Standorten 84 vollautomatisierte Lysimetersysteme mit ungestörten Bodenausschnitten. Sie sind mit moderner funkbasierter Technologie zur Überwachung und Datenkommunikation ausgestattet. Weitere 32 komplettieren bis September 2010 das Netzwerk. Die Lysimeter werden auf unterschiedlichen Standorten gefüllt und entlang eines Temperatur- und Niederschlagsgradienten innerhalb und zwischen den Observatorien umgesetzt. ■

Observatorium	Standort	Stück	Jahresmittelwerte	
			Temperatur	Niederschlag
Eifel/ Niederrheinische Bucht	Selhausen	24	10°C	720 mm
	Rollesbroich	6	8°C	1150 mm
	Wüstebach	6	7,5°C	1200 mm
Bayerische Alpen/ Voralpen	Scheyern	6	7,4°C	803 mm
	Fendt	18	8,2°C	1030 mm
	Rottenbuch	12	5,5°C	1400 mm
	Grasswang	6	4,5°C	1600 mm
	Garmisch-Partenkirchen	6	6,7°C	1296 mm
Harz/ Mitteldeutsches Tiefland	Bad Lauchstädt	18	8,8°C	487 mm
	Sauerbach	6	9°C	530 mm
	Schäfertal	6	6,9°C	630 mm
Nordostdeutsches Tiefland	Demmin	6	8,1°C	555 mm
	Dedelow	6	8,7°C	483 mm

Lysimeterstandorte innerhalb der TERENO-Observatorien

REGIONALE FORSCHUNG, GLOBALER NUTZEN

TERENO stellt seine Arbeit auf dem Deutsche Welle Global Media Forum vor

Den weltweiten Klimawandel können Wissenschaftler relativ gut prognostizieren. Doch wenn es um regionale Veränderungen geht, wird es schwierig. Es fehlt an Modellen und auch an Wissen über die lokalen Auswirkungen, die von Region zu Region ganz unterschiedlich ausfallen können. Genau hier setzt das Großprojekt TERENO an, das von sechs Helmholtz-Zentren getragen wird und mit zahlreichen Hochschulen und weiteren Einrichtungen kooperiert. Maßnahmen, Ziele und Zukunftsaussichten stellten beteiligte Wissenschaftler in einem Workshop beim Deutsche Welle Global Media Forum im Juni in Bonn vor. Dort diskutierten mehr als 1500 Teilnehmer aus 95 Ländern drei Tage lang über „Klimawandel und die Medien“.

„Wir benötigen Daten über einen längeren Zeitraum, aus deren Auswertung wir die notwendigen Modelle ableiten können“, erklärte TERENO-Koordinator Professor Harry Vereecken vom Forschungszentrum Jülich bei dem Workshop, den die Wissenschaftsjournalistin Claudia Ruby moderierte. Daher ist TERENO auf 15 Jahre angelegt. Der entscheidende Unterschied zu anderen

„Wir bringen verschiedene Disziplinen zusammen.“

Harry Vereecken

Projekten: „Wir untersuchen den Klimawandel nicht nur aus einer Fachrichtung, sondern bringen verschiedene Disziplinen zusammen“, betonte Harry Vereecken.

Das Ökosystem von morgen schon heute erforschen

Dafür baut TERENO Observatorien in vier für Deutschland typischen Landschaftsräumen auf. Klimaveränderungen sind auch dort bereits absehbar. „Die Schneegrenze in den Alpen und Vor-alpen wandert nach oben. Statt zu schneien wird es häufiger regnen, wobei die Gefahr von Hochwasser und Überschwemmungen steigt“, sagte Professor Stefan Emeis vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung am Karlsruhe Institute of Technology, einem der sechs TERENO-Partner. Auch die Pflanzen- und Tierwelt verändert sich – es gibt Gewinner und Verlierer. „Die Rotbuche wird im Nordosten und Südwesten Deutschlands schlechtere Wachstumsbedingungen bekommen und wird wahrscheinlich zurückgehen, dagegen breitet sich der Walnussbaum weiter aus“, erläuterte Dr. Stefan Klotz vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Zudem beeinflus-



Sehen noch viel Forschungsbedarf bei der Ergründung des Klimawandels: Stefan Emeis, Harry Vereecken, Clemens Simmer und Stefan Klotz (v.l.n.r.)

„Von TERENO profitieren Wissenschaft und Gesellschaft auf jeden Fall.“

Stefan Klotz

sen sich Tier- und Pflanzenwelt wechselseitig: Weniger Bienen und Hummeln bedeuten eine reduzierte Bestäubungsleistung, damit verringert sich die Zahl der Früchte und Samen bei vielen Pflanzen.

Darüber hinaus verändert der Klimawandel auch die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft. Der Verlust an fruchtbarem Boden, die abnehmende Verfügbarkeit von Wasser und die daraus resultierende notwendige Produktivitätssteigerung machen deutlich: Die ökologischen Folgen haben erhebliche ökonomische Konsequenzen. „Da die Klimaveränderungen stetig voranschreiten, gilt es schneller zu lernen“, stellte Professor Clemens Simmer von der Universität Bonn fest, der mit TERENO eng zusammenarbeitet. Die Forscher verfolgen daher nicht nur den Klimawandel. Sie führen selbst Simulationen und physikalische Experimente durch, um schon heute herauszufinden, wie ein Ökosystem in mehreren Jahren aussehen könnte.

Das Publikum wollte insbesondere wissen, wie die Öffentlichkeit und andere Länder von den Erkenntnissen des Projekts profitieren können. Hier geht TERENO verschiedene Wege. In den vier Observatorien arbeiten die Wissenschaftler eng mit den lokalen Behörden zusammen. Die TERENO-Daten sollen auch dem Deutschen Wetterdienst helfen, Wettervorhersagen und Hochwasserwarnungen zu verbessern. Auch mit Wissenschaftlern anderer Länder, bei-

„Es gilt, schneller zu lernen.“

Clemens Simmer

spielsweise mit dem Center for Hydrology – Hydrological Observatory (HOBE) in Dänemark, wird eng zusammengearbeitet. „Diese Kooperationen

sind eine wichtige Hilfe bei der Evaluierung unserer Erkenntnisse“, hob Stefan Emeis hervor. Die Kontakte beschränken sich nicht nur auf Europa. So unterstützt TERENO den geplanten Aufbau eines ähnlichen Observatorien-Netzwerks im Mittelmeerraum, inklusive Nordafrika. „Wissenschaftler aus Afrika und anderen Teilen der Erde sind herzlich eingeladen, zu uns zu kommen. Entscheidend ist, dass sie dann in ihrer Heimat ihr neues Wissen anwenden“, betonte Clemens Simmer. Von deren Erkenntnissen können dann wiederum die TERENO-Forscher profitieren.

Bessere Wettervorhersagen

Auf die Frage, ob nach 15 Jahren Großprojekt alle wesentlichen Fragen beantwortet sein werden, antworteten alle vier TERENO-Forscher mit einem klaren „Nein“. „Die Gesellschaft entwickelt sich weiter, die Wissenschaft ebenso. Es

„Internationale Kooperationen helfen bei der Daten-Evaluierung.“

Stefan Emeis

werden neue Fragen aufkommen. Vielleicht haben wir aufgrund unserer Erkenntnisse sogar noch mehr Fragen als heute“, mutmaßte Stefan Emeis. Stefan Klotz wies auf die großen Zeiträume hin, in denen Entwicklungen bei Ökosystemen stattfinden: „Ein Feld kann jedes Jahr neu bestellt werden. Zur Regeneration von artenreichem und produktivem Grasland sind mindestens fünf bis zehn Jahre notwendig, bei Wäldern muss man von Jahrhunderten ausgehen. Deshalb brauchen wir Langzeitdaten. Und egal, welche Fragen in 15 oder mehr Jahren gestellt werden, von den Erkenntnissen von TERENO werden Wissenschaft und Gesellschaft auf jeden Fall profitieren.“ ■

[Deutsche Welle Global Media Forum 2010]
[Der Workshop als Audiodatei]

WENN DAS WASSER SCHWINDET

Konferenz beleuchtet aktuelle Probleme in Nordostdeutschland

Der Wasserhaushalt im ostdeutschen Tiefland ist „im Stress“: In den vergangenen 20 bis 30 Jahren sind vielerorts die Grundwasserspiegel und die Pegel grundwassergespeister Seen um ein bis zwei Meter gesunken. Auch trocknen Bäche im Sommer häufiger als früher aus. Über Ausmaß, Ursachen und Folgen sowie notwendige Anpassungsmaßnahmen diskutierten 130 Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung sowie von Umweltverbänden bei der Konferenz „Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Nordostdeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen“ am 22. und 23. April in Potsdam. Die acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der TERENO-Partner Deutsches GeoForschungszentrum GFZ hatten die Veranstaltung gemeinsam organisiert.

Intelligentes Management gefragt

Die Experten haben verschiedene Ursachen für die Veränderungen ausgemacht: die nachhaltig wirksamen Entwässerungen zugunsten intensiver Acker- und Grünlandnutzung in den 1950er bis 1980er Jahren, die den Waldanteil dominierenden wasserzehrenden Kiefern-(Mono-)Kulturen und der Einfluss des Klimawandels. Zudem strapazieren großflächig die Landwirtschaft und lokal der Bergbau den Wasserhaushalt. Auch steht die

Forderung des Natur- und Landschaftsschutzes nach einem notwendigen „maximalen Rückhalt von Wasser in der Landschaft“ teilweise in Widerspruch zu den etablierten Landnutzungen. Zukunftsszenarien prognostizieren für die kommenden Jahrzehnte eine Verschärfung der Probleme. Weitere Konflikte könnten dazukommen – wenn nicht durch ein intelligentes Wassermanagement gegengesteuert wird. Hier gilt es, einerseits vermeidbare „Leaks“ im regionalen Wasserhaushalt zu schließen und andererseits fallweise die bestehenden Nutzungsansprüche neu zu balancieren. Die Forschung kann dazu entscheidend beitragen: etwa mit der Beobachtung und Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen sowie mit der Revitalisierung des Wasserhaushaltes von Flüssen, Seen und Mooren. Die Erkenntnisse sind insbesondere für die Forschung im TERENO-Observatorium „Nordostdeutsches Tiefland“ wichtig, da hier die historischen, aktuellen und zukünftigen Wasserhaushaltsveränderungen einen Schwerpunkt bilden. ■

Die Konferenzmaterialien sind zum Herunterladen auf der Internetseite von acatech erhältlich; ein umfangreicher Konferenzband wird im Herbst 2010 erscheinen.

[\[Konferenzbeiträge\]](#)

GEMEINSAME STANDARDS FESTLEGEN

Kurzlehrgang über die Grundlagen der mikrometeorologischen Flussmessung

Alle vier TERENO-Observatorien erhalten Stationen zur Messung von Energie- und Spurengasflüssen mit der sogenannten Eddy-Kovarianz-Methode. Die dort erhobenen Daten dienen dem Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufs und der terrestrischen Treibhausgasemissionen. Um sich über die Grundlagen dieser Methode, aber auch speziellere Aspekte mikrometeorologischer Messungen auszutauschen, hatte das Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Bereich Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IfU) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im April zu einem einwöchigen Kurzlehrgang nach Garmisch-Partenkirchen eingeladen. Ein besonders für TERENO wichtiges Ziel war die gemeinsame Festlegung auf bestimmte Standards bezüglich Instrumentierung, Aufbau, Qualitätssicherung und -kontrolle sowie Auswertungsstrategien und -programme.

Insgesamt 19 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TERENO-Partner Forschungszentrum Jülich, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ Leipzig und KIT sowie der Universität Trier nahmen teil. Jeweils vormittags machten sie sich mit den theoretischen Grundlagen der Eddy-Kovarianz-Methode vertraut. An den Nachmittagen wurden ein exemplarischer Messaufbau in Betrieb genommen und die erhobenen Daten ausgewertet.

Unterschiedliche „Philosophien“ zusammenbringen

Die Themen des Kurses reichten von der Theorie der Atmosphärischen Grenzschicht und des turbulenten Austauschs über Qualitätstests bis hin zu der Frage, wie man mit den unvermeidlichen



Foto: U. Mefner



Foto: acatech/Michael Fahrig

oben: Der Große Fürstenseer See bei Neustrelitz verlor in den vergangenen rund 30 Jahren etwa 1,2 Meter Wasserspiegelhöhe

Mitte: Erfolgreich wiedervernässt wurden inzwischen die Löcknitzwiesen bei Kloster Lehnin

unten: Praxisübung – die Workshop-Teilnehmer mussten ein eigenes Test-Messsystem aufbauen



Foto: Matthias Maeder, KIT/IMK IfU

Datenlücken umgeht, wenn man monatliche oder jährliche Summen der Austauschströme erfassen möchte. Die Kursteilnehmer, eine bunte Mischung aus Eddy-Neulingen, Eddy-Datennutzern und Eddy-Turmbetreibern, zeigten sich hochzufrieden. „Hätte ich so eine gute Vorlesung über Turbulenz nur mal an der Uni gehabt“, war ein Satz, den man mehrfach hörte.

Der praktische Teil bot Gelegenheit, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herauszuarbeiten. Während sich die TERENO-Teilnehmer bei der Messtechnik schnell einigten, gibt es bei der Auswertung noch offene Fragen. Beispielsweise nutzen einige selbst entwickelte Auswertungsprogramme, die natürlich eigenen „Philosophien“ folgen. Sobald alle Gruppen erste Daten erfasst haben, wollen sich die Teilnehmer ein weiteres Mal treffen, um die gemeinsame Strategie zur Datenauswertung weiterzuentwickeln. ■

VERÖFFENTLICHUNGEN

Potenzial bestätigt

Drahtlose Netzwerke eignen sich hervorragend, um die Bodenfeuchte nahezu in Echtzeit über größere Flächen zu messen. Die ersten Versuche mit dem funkbasierten Sensorennetzwerk „SoilNet“, das das Forschungszentrum Jülich entwickelt hat, haben dies bestätigt. Rund vier Monate lang lieferten 1200 Sensoren mehr als sechs Millionen Messwerte im Einzugsgebiet des Wüstebachs, einem Testgebiet, das zum

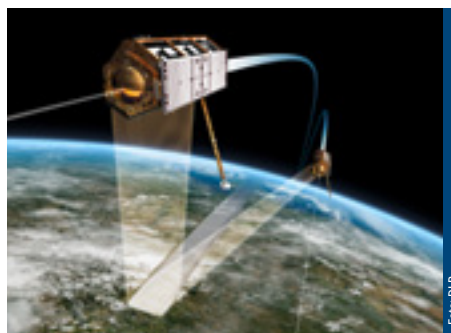
TERENO-Observatorium „Eifel/Niederrheinische Bucht“ gehört. Die Veröffentlichung präsentiert die ersten Ergebnisse der statistischen und geostatistischen Analyse der Daten.

H.R. Bogaen, M. Herbst, J.A. Huisman, U. Rosenbaum, A. Weuthen, and H. Vereecken. 2010. Potential of wireless sensor networks for measuring soil water content variability. *Vadose Zone Journal*, doi:10.2136/vzj2009.0173 ■

[[Vadose Zone Journal](#)]

Radarsatellit TanDEM-X gestartet

Deutschlands zweiter nationaler Erdbeobachtungssatellit „TanDEM-X“ hat am 21. Juni 2010 seine Mission im Weltall aufgenommen. Eine russisch-ukrainische Trägerrakete brachte ihn vom Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan in seine vorgesehene Umlaufbahn. Gemeinsam mit seinem Zwilling „TerraSAR-X“, der seit 2007 unseren Planeten umrundet, vermisst er in den kommenden drei Jahren die Erde. Daraus soll ein digitales 3D-Modell in bisher unerreichter Genauigkeit entstehen. Davon wird auch TERENO profitieren: Die hochaufgelösten Daten des Höhenmodells werden in den Coordination-Teams (CTs) als Arbeitsgrundlage zur Geokodierung von Bilddaten und als Eingangsparameter für diverse hydrologische Modellierungen zur Anwendung kommen. Zudem wird TanDEM-X auch Informationen zur 2D-Vegetationsstruktur liefern können. Die Satellitenmission ist ein Gemeinschaftsprojekt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und der Astrium GmbH, das das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie fördert. ■



Formationsflug im All: Die beiden Satelliten TanDEM-X und TerraSAR-X vermessen die komplette Landoberfläche der Erde

Mehr Infos im neuen Gewand

TERENO hat seine Homepage überarbeitet. Neben einem neuen Design erwarten die Besucher eine übersichtlichere Navigation und weitere Informationen, etwa zu Zielsetzung, Organisation und Veranstaltungen. Die neue Homepage informiert nun detailliert über die Instrumentierung in den Observatorien. Zum Teil ist es bereits möglich, sich die Visualisierung von Daten anzuschauen, etwa der vom Wetterradar des Forschungszentrums Jülich. Darüber hinaus stellen sich alle Koordinationsteams vor. Selbstverständlich sind auch ein Downloadbereich sowie alle Ausgaben des Newsletters vorhanden. ■ [\[www.tereno.net\]](http://www.tereno.net)

KONTAKT | KOORDINATION

Dr. Heye Bogena

Institut Agrosphäre (ICG-4)
Forschungszentrum Jülich
Tel.: +49 (0)2461/61-6752
E-Mail: h.bogena@fz-juelich.de

Dr. Steffen Zacharias

Fachbereich Monitoring- und Erkundungstechnologien
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Tel.: +49 (0)341/235-1381
E-Mail: steffen.zacharias@ufz.de

Prof. Dr. Harald Kunstmann

Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU)
Karlsruher Institut für Technologie
Tel.: +49 (0)8821/183-208
E-Mail: harald.kunstmann@kit.edu

www.tereno.net

IMPRESSUM

Herausgeber:

TERENO

Redaktion:

Christian Hohlfeld (verantwortlich)
www.trio-medien.de

Übersetzung:

Christina Harrison

Autoren:

Boris Hänßler, Raphael Thelen, Sabine Wygas

Grafik und Layout:

www.axeptDESIGN.de

FZJ	Forschungszentrum Jülich (Koordination)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
HMGU	Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
GFZ	Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum