

TERENO – Eine Monitoring- und Forschungsplattform zur Erfassung langfristiger Auswirkungen des Globalen Wandels auf regionaler Ebene

*Oliver Bens, Mike Schwank, Theresa Blume, Achim Brauer, Andreas Güntner, Ingo Heinrich, Gerd Helle, Sybille Itzerott, Knut Kaiser, Torsten Sachs, Reinhard F. Hüttl
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*

Global change has triggered a number of environmental changes, such as alterations in climate, geo-resources soil and water, atmospheric chemistry, and land productivity. Many areas of the system Earth-Man are affected, thereby directly impacting the lives of present and future generations. Like many countries, Germany too is also faced with the threat of increased droughts and heat waves, soil degradation, winter storms, water shortages at one extreme and flood events at the other, as well as a decline in biodiversity. These changes can range across broad temporal and spatial scales and present strong regional differences. The TERENO observatory “Northeastern German Lowland” spans an area which is considered as one of the regions in Germany most severely affected by climate change. The impact of increased dry periods is already being felt, drying out the regions’ numerous lakes and mires. The observatory covers the catchment area of the Uecker river, the Müritz National Park, the biosphere reserve Schorfheide-Chorin and the DEMMIN calibration and validation test site operated by the German Aerospace Center (DLR). The GFZ German Research Centre for Geosciences in Potsdam is coordinating work at the observatory and is cooperating closely with universities and other research organisations. Of particular significance is the emphasis being placed on geoarchives and landscape development. The aim is to acquire and combine high quality data on climate and landscape developments in the past and present to develop forecasts for the future.



Herausforderung Globaler Wandel

Welche regionalen Auswirkungen hat der Globale Wandel? Was bedeutet dies für die Qualität, Verfügbarkeit und die Nutzung der Geo-Ressourcen, z. B. von Wasser und Boden? Diesen drängenden Fragen geht die Forschungsinitiative TERENO (TERrestrial ENvironmental Observatories) nach. Für die Entwicklung von leistungsfähigen Modellansätzen zur verbesserten Vorhersage der Auswirkungen von Umweltveränderungen auf terrestrische Systeme, einschließlich von Kompartiment-übergreifenden Wechselwirkungen und Skalenabhängigkeiten, bilden integrierte und langfristige Umweltdaten eine wichtige Voraussetzung. Von großer Bedeutung ist hierbei die Überbrückung der unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen zwischen den lokalen Messungen einerseits und den Skalen des Managements auf der Landschaftsebene andererseits. Das aktuelle Verständnis von Wasser-, Stoff- und Energieflüssen sowie den relevanten prozessualen Wechselwirkungen mit und innerhalb der terrestrischen Systeme basiert vorrangig auf kleinskaligen und disziplinär orientierten Forschungsansätzen. Diese Ansätze können allerdings das Verhalten von Landschaften, das durch die Wechselwirkung verschiedener Kompartimente geprägt ist, oft nur unzureichend erklären. Entsprechend wird der Bedarf zur Entwicklung und Implementierung von großskaligen, langfristig betriebenen und integrierten Forschungsinfrastrukturen für die terrestrische Umweltforschung zur Erfassung von Auswirkungen des Globalen Wandels seit vielen Jahren intensiv diskutiert (Bogena et al., 2012).

Der Aufbau von adäquaten wissenschaftlichen Monitoring- und Forschungsnetzwerken ist anspruchsvoll, kostenintensiv und erfordert die Integration verschiedener Disziplinen. Vor diesem Hintergrund haben sechs Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft begonnen, mit TERENO ein Netzwerk langfristig betriebener, integrierter Observatorien in Deutschland einzurichten (Zacharias et al., 2011). TERENO beschreitet neue Pfade mit einem interdisziplinären und langfristigen Forschungspro-



Abb. 1: Vernetzung von TERENO mit einzelnen fokussierten Bereichen der Umweltforschung

Fig. 1: TERENO networking with focussed fields of environmental sciences

gramm und spannt ein Netzwerk zur Erdbeobachtung über ganz Deutschland auf, welches sich von der Norddeutschen Tiefebene bis zu den Bayerischen Alpen erstreckt. Ziel dieses einzigartigen Großprojekts ist die skalenübergreifende Erfassung langfristiger Auswirkungen des globalen Wandels auf regionaler Ebene (Abb. 1).

Die Observatorien liefern kontinuierlich erfasste Daten unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung für verschiedene Kompartimente der terrestrischen Umwelt. Durch die Analyse von zeitlich hoch aufgelösten Rekonstruktionen der Klimaentwicklung basierend auf Geoarchiven (Zeitraum Jahrhunderte bis Jahrtausende) wird die Verknüpfung mit rezent gemessenen Daten erreicht. Dieser Ansatz ist ein Schlüssel, um Änderungen der regionalen Klimaentwicklung über messtechnisch erfassbare Zeiträume von Trends unterscheiden zu können, die durch den globalen Wandel angetrieben werden. Durch die Verknüpfung von Paläo-Klimadaten mit instrumentell gemessenen Umweltparametern leisten die TERENO-Observatorien einen wichtigen Beitrag, mögliche Abweichungen von regionalen Klimavorhersagen und deren potenziellen Auswirkungen auf den menschlichen Lebensraum frühzeitig zu erkennen. Die TERENO-Observatorien sind daher u. a. direkt in die Aktivitäten von REKLIM (Helmholtz-Initiative Regionaler Klimawandel) eingebunden und sind insbesondere für den Themenbereich „Landoberflächen im Klimasystem“ interessant. Die Forscherinnen und Forscher analysieren hier die komplexen Rückkopplungsmechanismen zwischen der

Links: Blick vom Forschungskran Drönnewitz im TERENO-Observatorium Nordostdeutsche Tiefebene. Der Kran wird für hyperspektrale Messungen eines Waldes genutzt.

Left: View from the research crane Drönnewitz located within the TERENO observatory "Northeastern German Lowlands". The crane is used for hyperspectral measurements of a forest.



Kontakt: O. Bens
(bens@gfz-potsdam.de)

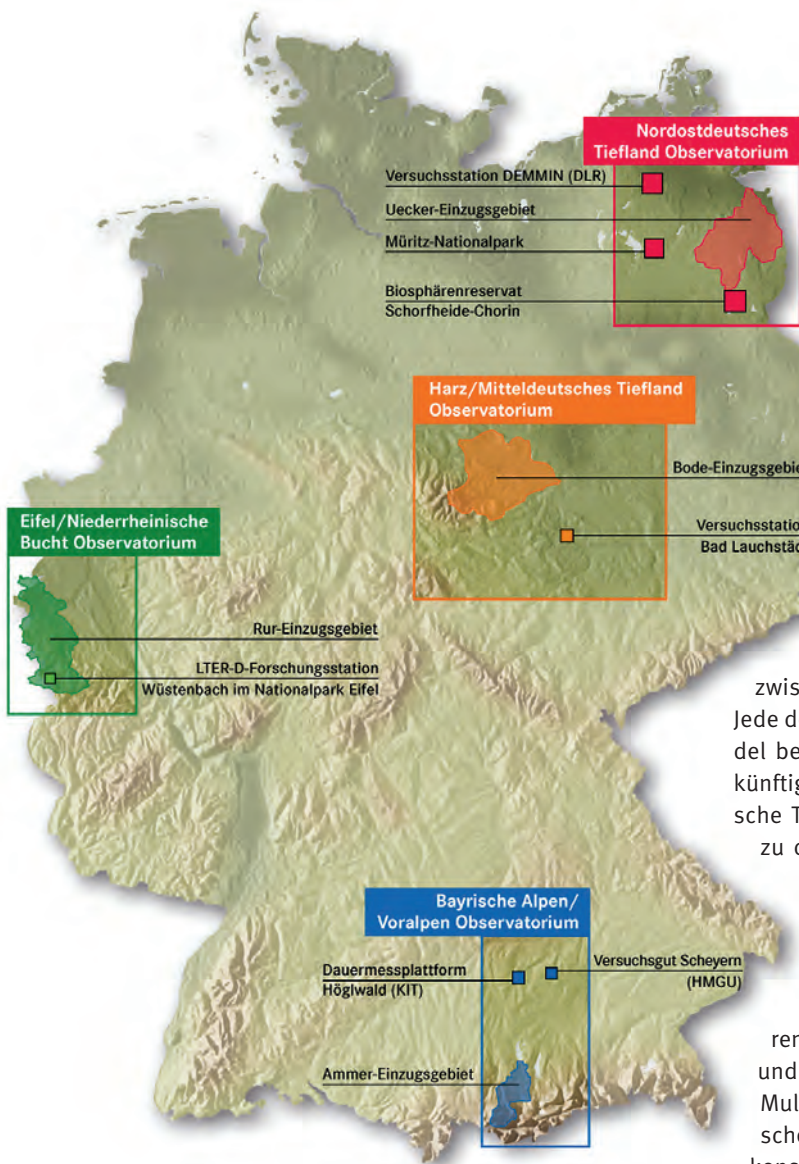


Abb. 2: Lage der vier TERENO-Observatorien, einschließlich ihrer experimentellen Wassereinzugsgebiete und Forschungsstationen

Fig. 2: Position of the TERENO observatories with experimental water catchments and research stations

zwischen Geo-, Hydro- und Atmosphäre zu berücksichtigen. Jede der ausgewählten Regionen ist signifikant vom Klimawandel betroffen bzw. weist eine hohe Vulnerabilität gegenüber künftigen Klimaänderungen auf. Dabei zählt das nordostdeutsche Tiefland mit seinen geringen jährlichen Niederschlägen zu den am stärksten vom Klimawandel betroffenen Regionen Deutschlands.

Das in Nordostdeutschland etablierte Observatorium wird vom GFZ koordiniert und umfasst das Einzugsgebiet der Uecker, den Müritz-Nationalpark, das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin sowie den Kalibrations- und Validationsstandort DEMMIN (Durable Environmental Multidisciplinary Monitoring Information Network) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Neben der Rekonstruktion von Klimadynamik und Landschaftsentwicklung konzentrieren sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des GFZ gemeinsam mit Partnerinnen und Partnern an Universitäten und weiteren Forschungszentren auf die Erforschung von Energie- und Stoffflüssen innerhalb und zwischen oberflächen-naher terrestrischer Kompartimente. Dazu sind die weiteren Kernbereiche Fernerkundung, Hydrologie und Geopedologie wesentliche miteinander verknüpfte Forschungsdisziplinen innerhalb TERENO.

Ein wichtiges Untersuchungsgebiet bildet die geschützte Naturlandschaft in dem 1990 eingerichteten Müritz-Nationalpark, mit 322 km² einer der größten seiner Art in Deutschland. Im Osten grenzt das Einzugsgebiet der Uecker an den Nationalpark, südlich davon liegt die mit dem Biosphärenreservat geschützte Kulturlandschaft Schorfheide-Chorin. Im Norden betreibt das DLR seit 1999 das Testfeld DEMMIN zur Kalibrierung und Validierung von Fernerkundungsmissionen und -daten auf einer Fläche von 30 000 ha, wobei kontinuierlich und hochauflösend Daten zu Boden, Vegetation und Atmosphäre sowie flugzeug- und satellitengestützte Fernerkundungsdaten aufgezeichnet werden. Einen weiteren Untersuchungsstandort für Prozessstudien zur initialen Systementwicklung bildet das sechs Hektar große künstliche Wassereinzugsgebiet Hühnerwasser im Süden Brandenburgs (Schaaf et al., 2011), das über eine Kooperation mit dem an der BTU Cottbus angesiedelten Sonderforschungsbereich-Transregio 38 in TERENO eingebunden ist.

Landoberfläche und der Atmosphäre. Viele physikalische, chemische und biologische Prozesse überlagern sich dort. Es gilt, die Verkettung dieser Prozesse besser zu verstehen. Dies ist der Schlüssel, um regionale Ausprägungen des Klimawandels und deren Folgen besser abschätzen zu können. Dazu benötigen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Umweltdaten, die über einen längeren Zeitraum erfasst werden. Genau das liefert TERENO mit seinen vier Observatorien. Diese Daten helfen zugleich, bestehende Klimamodelle zu überprüfen und das Verständnis der regionalen Klimaänderungen in Deutschland und in Europa zu verbessern. Entsprechend eng arbeiten die beiden Initiativen zusammen.

Die Observatorien

Im Rahmen von TERENO wurden vier terrestrische Observatorien in Regionen, die als repräsentativ für Deutschland bzw. auch als besonders sensitiv bezüglich der Folgen des klimatischen Wandels gelten, eingerichtet (Abb. 2). Durch diese Observatorien werden Umweltveränderungen bis zur Landschaftsskala ($> 10^3$ km²) erfasst. Die Größe der Observatorien erlaubt es, regional charakteristische Gradienten bezüglich der naturräumlichen Bedingungen (z. B. Klima, Böden und Gewässer) und der Landnutzung sowie die Wechselwirkungen

Basis für disziplinenübergreifende Forschungsverbünde und Netzwerke

Die vier Observatorien bilden mit ihrer Basisinfrastruktur eine ideale Voraussetzung zur Etablierung komplementärer Forschungsvorhaben und weiterer wissenschaftlicher Infrastrukturen. TERENO leistet damit einen zentralen Beitrag zur Vernetzung disziplinärer Forschungsaktivitäten in Deutschland und angrenzender Regionen sowie für die Kooperation der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Helmholtz-Zentren mit Partnerinnen und Partnern an Universitäten und weiteren außeruniversitären Einrichtungen. Beispielhaft sind die folgenden Vorhaben zu nennen:

SoilCan – Soils can make a difference in climate change

Im Rahmen von SoilCan wurden in den vier TERENO-Observatorien 126 Lysimeter an 13 Standorten mit einem einheitlichen technischen Konzept aufgebaut. Mit diesem weltweit größten Lysimeter-Netzwerk werden langfristige Datensätze zur klimawandelbedingten Veränderung der obersten rund 1,5 m des Bodens gewonnen, der unter anderem die Grundlage unserer Nahrungsproduktion darstellt. Derartige Datensätze sind weltweit kaum verfügbar. Sie sind jedoch unbedingt notwendig, um Modelle der Austauschprozesse zwischen Hydro-, Pedo-, Bio- und Atmosphäre zu entwickeln bzw. zu verbessern. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Stoff- und Wasserflüsse bzw. -bilanzen in der sogenannten „Critical Zone“. Zur Simulation des prognostizierten Klimawandels an den Standorten der vier TERENO-Observatorien wurden einige mit Bodenmonolithen gefüllten Lysimeter entlang des zu erwartenden Niederschlags- und Temperaturgradienten deutschlandweit getauscht. So sind die Bodenmonolithe an den Zielstationen

im Vergleich zu den Stationen an den Entnahmeorten stets trockeneren und wärmeren Bedingungen ausgesetzt. An den zentralen Versuchsstandorten Selhausen mit atlantischem und Bad Lauchstädt mit kontinentalem Klima wurden Lysimeter aus allen vier Observatorien zusammengeführt. Jedes SoilCan-Lysimeter ist mit Sensoren ausgestattet, die die Erfassung wichtiger Wasserhaushaltskomponenten wie Sickerwasser, Bodenfeuchte, Evapotranspiration und Niederschlag zeitlich hoch aufgelöst ermöglichen.

ICLEA – Virtual Institute of Integrated Climate and Landscape Evolution Analyses

Das Ziel von ICLEA ist die Erstellung einer umfassenden Datengrundlage für ein verbessertes Verständnis der Klima- und Landschaftsgeschichte, um so ein nachhaltiges Umweltmanagement zu ermöglichen. Zugleich erlaubt die Verknüpfung dieser Daten eine Unterscheidung zwischen natürlichen und anthropogenen Einflüssen.

Dazu werden unterschiedlich zeitskalierte Informationen und Daten integriert analysiert. Neben instrumentellen Monitoringdaten sind dies Fernerkundungsinformationen sowie Zeitreihen von Proxidaten aus natürlichen Archiven, wie jahreszeitlich geschichtete Seeablagerungen und Baumjahresringe. Eine besondere Rolle spielt die Analyse von chemisch-physikalischen Parametern an präzise datierten Geoarchiven mit saisonaler Zeitauflösung, um eine direkte Verknüpfung und Kalibration der Messparameter mit instrumentellen Daten zu gewährleisten, welche Grundlage für qualitativ hochwertige Rekonstruktionen vergangener Entwicklungen ist. ICLEA stellt eine Plattform für die prozessbasierte Analyse von Klima- und Umweltveränderungen bereit. Dies schließt drängende Fragen



Abb. 3: Links: Stechen eines SoilCan Lysimeters am TERENO-Standort Dedelow; rechts: SoilCan Lysimeter mit unterschiedlicher Sensorik zur Messung von Bodenparametern (Fotos: W. Hierold, ZALF)

Fig. 3: Left: Trepanning a SoilCan lysimeter at the TERENO-site Dedelow; right: SoilCan lysimeter equipped with sensors for measuring different types of soil parameters (photographs: W. Hierold, ZALF)



Abb. 4: ICLEA-Bohrkampagne zum Bergen von jahresgeschichteten Seeablagerungen des Großen Fürstenseer Sees (Mecklenburg-Vorpommern)

Fig. 4: ICLEA coring campaign to sample annual laminated lake sediments on lake Großer Fürstenseer See (Mecklenburg-Vorpommern)

nach unterschiedlichen Sensitivitäten, Schwellenwerten und nichtlinearen Prozessen auf unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen ein. Langfristig wird dieses Wissen dazu beitragen, zukünftige Umwelt- und Klimaänderungen besser abschätzen zu können, um effiziente Anpassungsstrategien zu entwickeln.

TEAM – Trace Gas Exchange in the Earth-Atmosphere System on Multiple Scales

Die Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe TEAM untersucht die Austauschprozesse zwischen terrestrischen Systemen und der Atmosphäre auf verschiedenen zeitlichen und vor allem räumlichen Skalen. Ziel ist ein besseres Verständnis der biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse, die den Austausch von Energie und Treibhausgasen zwischen Boden, Vegetation und Atmosphäre steuern sowie ihrer zeitlich-räumlichen Variabilität.

Am Hauptuntersuchungsstandort bei Zarnekow wird für diese Untersuchungen ein mikrometeorologisches Messsystem zur Quantifizierung der turbulenten Energie- und Stoffflüsse (H_2O , CO_2 und CH_4) über mehrere Hektar an einem wiedervernässten, ehemals als Grünland genutzten Flusstalmoor eingerichtet. Kleinräumigere Untersuchungen auf der Quadratmeterskala mit automatisierten Messhauben werden in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) durchgeführt. Regionale Informationen hingegen werden durch den Einsatz einer speziellen Hubschrauber-Schleppsonde und langsam fliegender Motorsegler gewonnen, die beide ebenfalls mit Eddy-Kovarianz-Sensoren ausgestattet sind.

Daten und biogeophysikalisches Prozessverständnis fließen sowohl direkt in die Verbesserung sogenannter SVAT-Modelle (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Models) ein als auch in die Entwicklung von Up-scaling-Verfahren und neuer Modelle

speziell für die Größe der von der Eddy-Kovarianz-Methode integrativ erfassten Flächen.

Ausblick

Ein übergeordnetes Ziel von TERENO ist die Nutzung der in den einzelnen Observatorien erhobenen Umweltdaten für prognosefähige Systemanalysen, um beispielsweise die Einflüsse von Klima- und Landnutzungsänderungen auf die langfristige Verfügbarkeit und Qualität von Wasser- und Bodenressourcen zu untersuchen. Die TERENO-Dateninfrastruktur bildet ein Bindeglied, über das Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Entscheiderinnen und Entscheidern zuverlässige und zugängliche Umweltdaten und weiterführende Produkte zur Verfügung gestellt werden.

In TERENO spielen dabei in besonderem Maße auch flächenbezogene Daten in verschiedenen zeitlichen und räumlichen Auflösungen und Darstellungen, z. B. Punktdaten aus Messstationen, Rasterdaten aus der Fernerkundung, Vektordaten und Zeitreihendaten eine wichtige Rolle. Diese Daten werden in unterschiedlichen thematischen Ausrichtungen (z. B. Klima, Wasser, Boden und Fernerkundung) von Forschungsgruppen an zahlreichen Institutionen verwendet.

Aufgrund der Heterogenität und der großen Menge der gewonnenen Daten und Metadaten sowie der bereits bestehenden Dateninfrastrukturen in den beteiligten Institutionen verfolgt TERENO ein dezentrales Datenmanagementkonzept. Die Leitidee hierbei ist die Verknüpfung lokaler, unabhängiger Infrastrukturen (Daten- bzw. Metadatenbanken) in den einzelnen Observatorien über standardisierte OGC-Schnittstellen mit einer zentralen TERENO-Portalanwendung (TEODOOR; <http://tereno.net>), welche die Daten der vier Observatorien über Such-, Visualisierungs- und Downloadwerkzeuge der wissenschaftlichen Gemeinschaft sowie der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung stellt. Auf diese Weise wird eine größtmögliche Flexibilität des Datenmanagements in den einzelnen Observatorien ermöglicht, zugleich wird die Übertragbarkeit der Daten aus den einzelnen Observatorien gewährleistet. Mit diesem Vorgehen wird zudem ermöglicht, weitere Observatorien oder andere behördliche Datenhalter einbinden zu können.

Zusätzlich zur Funktion als gemeinsame Informations- und Austauschplattform für den TERENO-Verbund hat das TEODOOR-Portal die Funktion, die Daten aus den einzelnen Observatorien zusammenzuführen und zu veröffentlichen. Dies erfolgt mit einer Reihe von Werkzeugen, wie z. B. der hierarchischen Stichwortsuche oder durch Web-GIS-Funktionalitäten, die es dem Benutzer erlauben, einen detaillierten Einblick in die verschiedenen Observatorien, Testgebiete und Messnetze zu gewinnen. Visualisierungswerkzeuge ermöglichen es, die Daten von verschiedenen Zeitreihen und Variablen zu selektieren, darzustellen, zu überprüfen und entsprechend einer gemeinsamen Datenpolitik herunterzuladen und zu



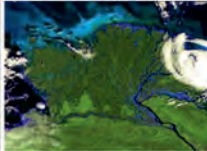


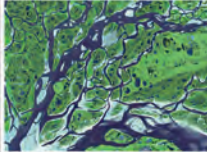


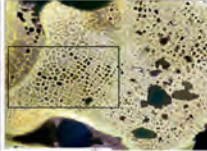
METHODE		TERENO-NO	ARKTIS
	Flugzeugbasierte Mikrometeorologie Regional (100 – 10.000 km ²)		
	Helikopterbasierte Mikrometeorologie Subregional (1 – 100 km ²)		
	Bodengestützte Mikrometeorologie Ökosystemskala (0,001 – 1 km ²)		

Abb. 5: Die in TEAM angewandten Methoden und damit erfassten räumlichen Skalen mit ihren primären Oberflächenstrukturen am Hauptuntersuchungsstandort im TERENO-NO Observatorium und an den Transfer-Standorten in der Arktis. Bodengestützte Eddy Kovarianz ermöglicht Prozeßstudien auf der Ökosystemskala und liefert kontinuierliche, hochaufgelöste Zeitreihen der Flüsse. Helikoptergestützte Eddy Kovarianz mit der „Helipod“-Sonde der Technischen Universität Braunschweig liefert Informationen zur großflächigen räumlichen Variabilität sowie sub-regionale integrierte Flüsse, während flugzeuggestützte Eddy Kovarianz regionale Skalen abdecken und somit die Helipod-Messungen auf für Politik und Management-Entscheidungen relevante Skalen erweitern kann. (Unter Verwendung von Bildmaterial der NASA, ESA, von Google Earth, von Astrid Lampert, TU Braunschweig und von Julia Boike, AWI)

Fig. 5: TEAM's methods and associated spatial scales with their main surface features at the primary TERENO-NO and Arctic transfer sites. Ground-based eddy covariance will enable process-studies on the ecosystem scale and produce continuous high-resolution flux time series. Helicopter-based eddy covariance using the TU Braunschweig „Helipod“ system will provide information on the spatial variability of fluxes and produces sub-regional scale integrated fluxes while aircraft-based eddy covariance can cover regional scales and, thus, extend the Helipod measurements to policy and management relevant scales.

nutzen. Derzeit sind zeitaktuelle Daten von mehr als 450 automatischen Stationen frei über das Portal TEODDOR verfügbar. Damit leistet TERENO wichtige Beiträge zu einer wissenschaftsbasierten Entscheidungsfindung für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen an die Auswirkungen des Klima- und Landschaftswandels auf regionaler Ebene.

Literatur

- Bogena, H., Kunkel, R., Krüger, K., Zacharias, S., Pütz, T., Schwank, M., Bens, O., Borg, E., Brauer, A., Dietrich, P., Hajnsek, I., Kunstmann, H., Munch, J., Papen, H., Priesack, E., Schmid, H., Teutsch, G., Wollschläger, U. und Vereecken, H. (2012): TERENO – Ein langfristiges Beobachtungsnetzwerk für die Global Change Forschung. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 56: 138-143.
- Germer, S., Kaiser, K., Bens, O., Hüttl, R. F. (2011): Water Balance Changes and Responses of Ecosystems and Society in the Berlin-Brandenburg Region - a Review. - *Die Erde*, 142, 1-2, 65-95.
- Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R. F., Kaiser, K., Knierim, A. (Eds.) (2012): *Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel in Deutschland*. Stuttgart, 299 p.
- Hüttl, R. F., Bens, O. (Eds.) (2012): *Georesource Wasser - Herausforderung Globaler Wandel : Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland*, (acatech Studie), Berlin, 262 p.
- Hüttl, R. F., Emmermann, R., Germer, S., Naumann, M., Bens, O. (Eds.) (2011): *Globaler Wandel und regionale Entwicklung : Anpassungsstrategien an globale Herausforderungen in der Region Berlin-Brandenburg*, Berlin [u.a.], 197 p.
- Jonard, F., Weihermüller, L., Jadoon, M., Schwank, M., Vereecken, H., Lambot, S. (2011): Mapping field-scale soil moisture with L-band radiometer and ground-penetrating radar over bare soil. - *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49, 8, 2863-2875, 10.1109/TGRS.2011.2114890.
- Schaaf, W., Bens, O., Fischer, A., Gerke, H. H., Gerwin, W., Grünewald, U., Holländer, H., Kögel-Knabner, I., Mutz, M., Schloter, M., Schulin, R., Veste, M., Winter, S., Hüttl, R. F. (2011): Patterns and processes of initial terrestrial-ecosystem development. - *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 174, 2, 229-239, 10.1002/jpln.201000158.
- Zacharias, S., Bogena, H., Samaniego, L., Mauder, M., Fuß, R., Pütz, T., Frenzel, M., Schwank, M., Baessler, C., Butterbach-Bahl, K., Bens, O., Borg, E., Brauer, A., Dietrich, P., Hajnsek, I., Helle, G., Kiese, R., Kunstmann, H., Klotz, S., Munch, J. C., Papen, H., Priesack, E., Schmid, H. P., Steinbrecher, R., Rosenbaum, U., Teutsch, G., Vereecken, H. (2011): A network of terrestrial environmental observatories in Germany. - *Vadose Zone Journal*, 10, 3, 955-973, 10.2136/vzj2010.0139.

Weitere Informationen:

www.tereno.net (Helmholtz-Forschungsplattform TERENO)
www.iclea.de (Helmholtz-Virtuelles Institut ICLEA)
www.tu-cottbus.de/sfb_trr/.de (Sonderforschungsbereich-Transregio 38)