

Projektbericht

TERENO – Ein langfristiges Beobachtungsnetzwerk für die terrestrische Umweltforschung

TERENO – Long-term monitoring network for terrestrial environmental research

Die Änderungen von Klima und Landnutzung sind die wesentlichen Faktoren des globalen Wandels, deren Auswirkungen auf die Gesellschaft in den nächsten Jahrzehnten weiter zunehmen werden. Diese Veränderungen finden auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen statt. Die sich daraus ergebenden Herausforderungen für die Umweltforschung sind immens, da lebenswichtige Ökosystemfunktionen und Ressourcen beeinflusst werden, die in gegenseitiger Wechselwirkung stehen. Langfristige Trends in Temperatur, Niederschlag und weiteren klimatischen Parametern beeinflussen alle Umweltkompartimente nicht nur direkt, sondern auch indirekt durch komplexe Rückkopplungsmechanismen. Die terrestrische Umweltforschung muss sich dieser Herausforderung mithilfe neuer Forschungsmethoden (z.B. integrierter Ökosystemmodelle) stellen. Für die Entwicklung von leistungsfähigen Modellansätzen zur verbesserten Vorhersage der Auswirkungen von Umweltveränderungen auf terrestrische Systeme sind integrierte, langfristige Umweltdaten notwendig (BRONSTERT et al. 2009, ISCU 2010, NRC 2008, REID et al. 2009, RICHTER & MOBLEY 2009). Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Überbrückung der unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen zwischen den lokalen Messungen einerseits und dem Management auf der Landschaftsebene andererseits. Das aktuelle Verständnis von Wasser-, Stoff- und Energieflüssen sowie den biologischen und physikalischen Randbedingungen und ihren Wechselwirkungen mit und innerhalb der terrestrischen Systeme basiert hauptsächlich auf kleinskaligen und disziplinär orientierten Forschungsansätzen. Diese können allerdings das Verhalten auf der systemischen Ebene oft nur unzureichend erklären. Entsprechend wird die Entwicklung und Implementierung von großskaligen, langfristig betriebenen und integrierten Forschungsinfrastrukturen für die Umweltforschung seit vielen Jahren intensiv diskutiert (BURT et al. 2008, HOOPER et al. 2004, KELLER et al. 2008, LIN 2003, LIN 2010, MCDONNELL et al. 2007, MONTGOMERY et al. 2007, NISBET 2007, PARR et al. 2003, ZOBACK 2001).

Der Aufbau von adäquaten Monitoring- und Forschungsnetzwerken ist anspruchsvoll, kostenintensiv und erfordert die Integration von verschiedenen Disziplinen der angewandten Forschung. Vor diesem Hintergrund hat die Helmholtz-Gemeinschaft 2008 mit TERENO (TERrestrial ENVIRONMENTAL Observatories) begonnen, ein Netzwerk langfristig betriebener, integrierter Umweltobservatorien in Deutschland einzurich-

ten (BOGENA et al. 2006, ZACHARIAS et al. 2011). Ziel dieser Infrastruktur-Initiative ist es, die Auswirkungen des Klima- und Landnutzungswandels auf die terrestrischen Umweltsysteme langfristig, interdisziplinär und skalenübergreifend zu untersuchen. Im Folgenden werden die einzelnen Observatorien und das Lysimeter-Netzwerk SoilCan kurz vorgestellt sowie methodische Aspekte des Datenmanagements erläutert. Als ein Aspekt der zukünftigen Weiterentwicklung der Initiative werden auch die angestrebte Erweiterung der TERENO-Aktivitäten auf den mediterranen Raum sowie weitere wissenschaftliche Kooperationen beschrieben.

1 Die Observatorien

Im Rahmen von TERENO wurden vier terrestrische Observatorien in Regionen, die als repräsentativ für Deutschland und Zentraleuropa gelten können, eingerichtet (Abb. 1).

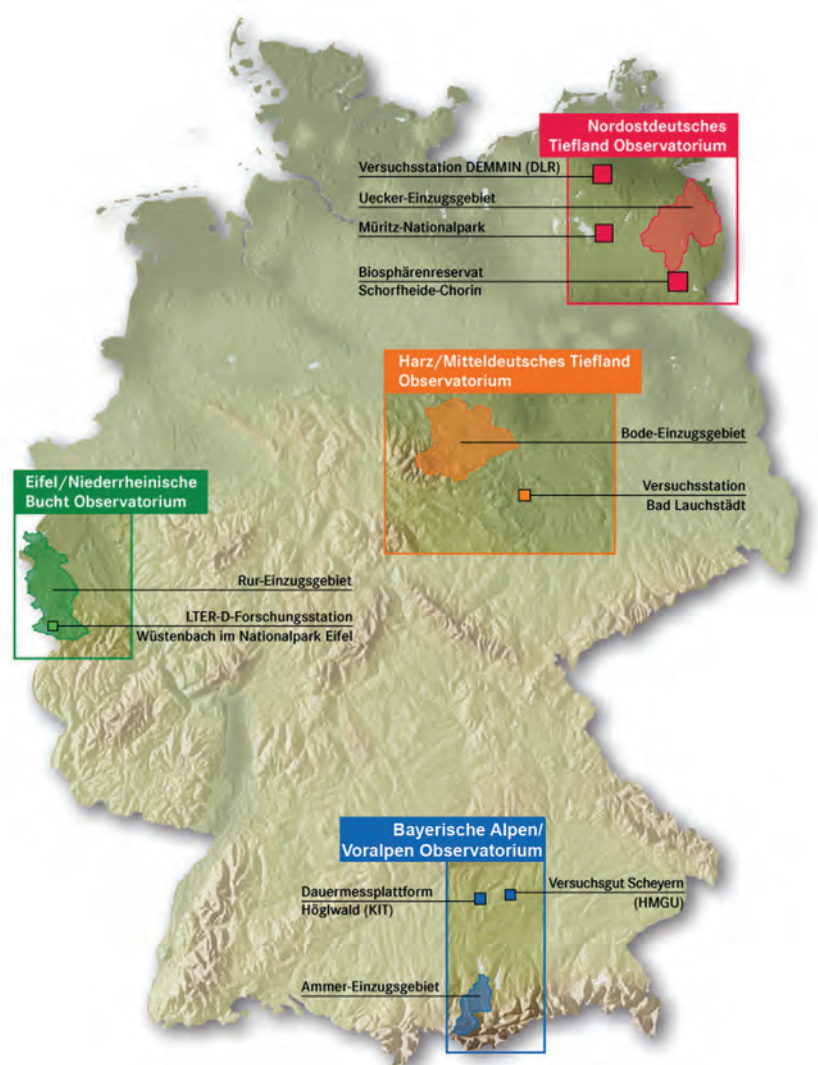


Abbildung 1

Lage der vier TERENO-Observatorien einschließlich ihrer Wassereinzugsgebiete und Forschungsstationen (ZACHARIAS et al. 2011)

Durch die TERENO-Observatorien werden Umweltveränderungen auf der Landschaftsskala ($> 10^3 \text{ km}^2$) erfasst. Die Größe der Observatorien erlaubt es, die vorhandenen, regional charakteristischen Gradienten bezüglich des Klimas, der Böden und der Landnutzung sowie die Wechselwirkungen zwischen der Landoberfläche und der Atmosphäre zu untersuchen. Jede der ausgewählten Regionen ist entweder bereits vom Klimawandel betroffen oder weist eine hohe Vulnerabilität gegenüber den erwarteten Klimaänderungen auf (GLASER 2008).

1.1 Das Observatorium Eifel/Niederrheinische Bucht

Zentrales Forschungsgebiet des Observatoriums Eifel/Niederrheinische Bucht ist das Wassereinzugsgebiet der Rur mit einer Fläche von 2.354 km^2 . Das Einzugsgebiet wird sehr unterschiedlich genutzt: Die tiefer gelegene Region im Norden ist dicht besiedelt und wird intensiv landwirtschaftlich bewirtschaftet, wohingegen die Mittelgebirgsszüge der Eifel im Süden dünn besiedelt sind und über mehrere wichtige Trinkwasserreservoirs und Naherholungsgebiete verfügen. Hier befindet sich auch der Nationalpark Eifel, der als Referenzgebiet für dieses Observatorium fungiert. Das Forschungszentrum Jülich koordiniert das Observatorium, an dem über andere Vorhaben auch zahlreiche weitere Partner (z.B. Universitäten und Behörden) beteiligt sind. Das Wassereinzugsgebiet der Rur ist auch das zentrale Untersuchungsgebiet des transregionalen Sonderforschungsbereichs TR32, in welchem die Universitäten Bonn, Köln und Aachen gemeinsam mit dem Forschungszentrum Jülich auf unterschiedlichen Skalen Muster im Boden-Vegetation-Atmosphäre-Kontinuum untersuchen.

Über das gesamte Einzugsgebiet der Eifel-Rur werden in repräsentativen Landschaftsräumen Intensivmessgebiete betrieben. Im Rahmen von interdisziplinären Forschungsarbeiten werden die lokalen Gebietseigenschaften sowie wichtige Zustandsvariablen und Flüsse auf verschiedenen Raum-Zeit-Skalen erfasst, beispielsweise Bodenfeuchte, Grundwasserstände sowie Wasser-, Stoff- und Energieflüsse. Alle Intensivmessgebiete sind zusätzlich mit Lysimetern des TERENO-Netzwerks SoilCan ausgestattet (s. Kap. 2.3) und sind Bestandteil der europäischen Forschungsinfrastruktur ICOS (Integrated Carbon Observation System), die das Ziel hat, eine langfristige Bilanzierung der Treibhausgasflüsse für Europa zu erstellen.

Das bewaldete Einzugsgebiet des Wüstebachs, welches sich im Nationalpark Eifel befindet, ist mit einer Vielzahl von meteorologischen, bodenkundlichen und hydrologischen Sensoren ausgestattet, um den Wasser- und Stoffkreislauf des Waldsystems detailliert untersuchen zu können. Mittels Eddy-Kovarianz-Systemen auf einem 34 Meter hohen Turm werden Treibhausgasflüsse zwischen dem Waldökosystem und der Atmosphäre erfasst. Im Einzugsgebiet des Wüstebachs werden langfristig die Auswirkungen einer Umwandlung eines Fichtenbestands in einen naturnahen Laubmischwald auf den Boden, die Wasserqualität und die Austauschprozesse mit der Atmosphäre, aber auch für die floristische und faunistische Artenvielfalt untersucht. Hierzu wurde ein neuartiges Sensornetzwerk (SoilNet) mit über 1.000 in-situ Messsonden zur Bestimmung der Bodenfeuchte und -temperatur installiert (BOGENA et al. 2010). Darüber hinaus wurden zahlreiche Wassergütestationen mit automatischen Probenahmesystemen und Online-Sensorik eingerichtet.

Das Intensivmessgebiet Rollesbroich ist in ähnlicher Weise instrumentiert wie das Wüstebachgebiet und repräsentiert die

typische Grünlandbewirtschaftung in der Nordeifel. Der Agrarstandort Selhausen befindet sich in der Jülicher Börde und ist zusätzlich mit einer Vielzahl von passiven und aktiven bodengestützten Mikrowellen-Fernerkundungsmethoden zur Messung oberflächennaher Bodenfeuchte ausgestattet und dient auch als Referenzgebiet zur Validierung von Satellitenmissionen, z.B. SMOS (KERR et al. 2001) und SMAP (ENTEKHABI et al. 2010).

1.2 Das Observatorium Harz/Mitteldeutsches Tiefland

Das Observatorium Harz/Mitteldeutsches Tiefland, koordiniert durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, erstreckt sich vom Harz als Mittelgebirge im Westen des Observatoriums über den Flusslauf der Elbe mit seinen Auengebieten im Osten über landwirtschaftlich dominierte Regionen bis hin zu großen Siedlungsregionen wie Leipzig und Halle und umfasst somit verschiedene, für Mitteldeutschland charakteristische Landschaftstypen. Entsprechend groß sind die Unterschiede hinsichtlich der Landnutzung, der Urbanität und der Empfindlichkeit der Region gegenüber klimatischen Veränderungen. So ließen sich in den letzten Jahrzehnten z.B. erste Einflüsse klimatischer Veränderungen beobachten – einige Gebiete leiden zunehmend unter Trockenheit, während sich für die Wintermonate Anstiege in den Niederschlägen zeigen (BERNHOFER et al. 2008). Die Jahresmitteltemperatur stieg dabei um $0,5$ bis $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Basierend auf den Schwerpunkten der Umweltforschung am UFZ stehen Wasser-, Boden- und Biodiversitätsforschung sowie sozialwissenschaftliche Aspekte im Zentrum des TERENO-Observatoriums Harz/Mitteldeutsches Tiefland. Die Monitoring- und Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf verschiedene Bereiche: Das etwa 3.300 km^2 große Wassereinzugsgebiet der Bode bildet das hydrologische Observatorium. Es ist eines der am intensivsten mit meteorologischen und hydrologischen Messeinrichtungen ausgestatteten Einzugsgebiete Deutschlands. Hier werden Zusammenhänge zwischen Klima, Landnutzung und Wasserhaushalt untersucht. Dabei decken die interdisziplinären Forschungsarbeiten verschiedene Skalen vom gesamten Einzugsgebiet der Bode bis hin zu Intensivmessgebieten von wenigen Quadratkilometern Größe für spezifische hydrologische Fragestellungen ab. Hierzu gehören z.B. das Schäfertal-Einzugsgebiet, in dem ein skalenübergreifendes Konzept zum Monitoring der Bodenfeuchtedynamik realisiert wurde, der Waldstandort „Hohes Holz“ – ein ICOS-Standort, an dem Wasser- und Spurengasflüsse in einem Waldökosystem untersucht werden, und ein Flussabschnitt entlang der Selke, welcher vorwiegend der Erforschung von Prozessen an der Schnittstelle zwischen Grund- und Oberflächengewässer dient. Weiterhin wird im Einzugsgebiet der Rappbode Talsperre ein Observatorium zur Erforschung des Stoffhaushalts, vor allem aber der Dynamik des Gehaltes an gelöstem organischen Kohlenstoff in Talsperren betrieben. Die Einflüsse von Klimawandel und veränderter Landnutzung auf die Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren werden entlang des Verlaufes der Bode bis in die Magdeburger Börde und in einem Korridor, der sich von Leipzig über Halle bis zum Harz erstreckt, erforscht. Klimateffekte auf die hydrologisch extremen und besonders sensiblen Lebensräume der Flussauen werden in einer speziellen Auenplattform, welche den Lauf der Elbe von der sächsischen Landesgrenze bis nach Magdeburg umfasst, untersucht. Das Stadtgebiet von Leipzig wurde ausgewählt, um die Wechselwirkungen zwischen Stadtklima und urbanen Prozessen zu untersuchen, und bildet einen Schwerpunkt der sozialwissenschaftlichen Forschung im Observatorium Harz/Mitteldeutsches Tiefland.

1.3 Das Observatorium Bayerische Alpen/Voralpen

Das Karlsruher Institut für Technologie und das Helmholtz-Zentrum München koordinieren das Observatorium Bayerische Alpen/Voralpen. In dem zentralen Untersuchungsgebiet des Observatoriums, dem 709 km² großen Einzugsgebiet der Ammer, werden die Auswirkungen des Klimawandels auf völlig unterschiedliche Landschaften untersucht. So liegt beispielsweise der höchste Punkt 2.185 m über dem Meer, wohingegen der Gebietsausfluss der Ammer auf 533 m Höhe liegt. Die langfristige mittlere jährliche Niederschlagsmenge im nördlichen Teil beträgt 1.100 mm, im südlichen Teil mit den Gipfeln der Ammergauer Alpen mehr als 2.000 mm. Insbesondere die Austauschvorgänge zwischen Boden und Atmosphäre unter kurzfristigen und extremen Wetterereignissen werden hier untersucht. An drei Standorten entlang des topografischen Profils – in den Orten Fendt, Rotenbuch und Graswang – wurden Messstationen errichtet und unter anderem mit Klimastationen, Eddy-Kovarianz-Systemen sowie 36 Lysimetern ausgestattet. Ergänzt wird die Instrumentierung im Ammer-Einzugsgebiet durch einen Regenscanner auf dem 950 m hohen Kirnberg. Das X-Band Mikrowellenradar misst den Niederschlag in einem Umkreis von 50 km.

Rund 70 km nördlich vom Ammer-Einzugsgebiet und etwa 40 km westlich von München befindet sich der Höglwald. Der rund hundert Jahre alte Fichtenbestand ist Teil einer Region, die durch eine Mischung aus bewaldeten und intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen geprägt ist. Mithilfe der 1993 eingerichteten Forschungsplattform untersuchen Wissenschaftler den Austausch von Spurengasen zwischen Boden und Atmosphäre, insbesondere von Stickstoffverbindungen wie Lachgas oder Ammoniak.

Ein weiterer Standort des Observatoriums ist die Forschungsstation Scheyern mit einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 150 ha. Seit 1990 erforschen Wissenschaftler auf diesem Versuchsgut des Benediktinerklosters Methoden der umweltschonenden Landwirtschaft. Seit 2005 ist das Helmholtz-Zentrum München Pächter des Hofes.

1.4 Das Observatorium Nordostdeutsches Tiefland

Das nordostdeutsche Tiefland zählt zu den am stärksten vom Klimawandel betroffenen Gegenden Deutschlands. Das TERENO-Observatorium, koordiniert durch das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), 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 die Arbeiten im Observatorium auf drei weitere Kernbereiche: Fernerkundung, Hydrologie, Geopedologie und Geo-Archive. Ein wichtiges Untersuchungsgebiet ist der 1990 gegründete Müritz-Nationalpark, mit 322 km² einer der größten seiner Art in Deutschland. Die Landschaft ist jung und wurde von drei Eiszeiten geformt, zuletzt vor 15.000 Jahren. Neben Waldgebieten finden sich dort zahlreiche Seen sowie Moore. Im Osten grenzt an den Müritz-Nationalpark das Einzugsgebiet der Uecker, südlich davon liegt das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Interessant sind diese Regionen wegen der unterschiedlichen Nutzung. Anders als beim nahezu unberührt gebliebenen Müritz-Nationalpark sind die Eingriffe durch den Menschen in den beiden anderen Gebieten wesentlich ausge-

prägter. In der Schorfheide wird der Wald durch aufgeforstete Kiefern dominiert, die Landnutzung ist moderat und durch ökologische Landwirtschaft geprägt. Große Teile des Einzugsgebietes der Uecker werden dagegen intensiv landwirtschaftlich genutzt.

Im Norden betreibt das DLR seit 1999 das Testfeld DEMMIN zur Kalibration und Validation von Fernerkundungsmissionen und -daten auf einer Fläche von 30.000 ha, wobei kontinuierlich Daten zur Vegetation, zum Boden, zu Stoffprozessen zwischen Boden und Atmosphäre sowie flugzeug- und satellitengestützte Fernerkundungsdaten aufgezeichnet werden.

2 SoilCan: Das TERENO Lysimeter-Netzwerk

Im Rahmen von TERENO-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 terrestrischer Systeme gewonnen. Derartige Datensätze sind weltweit kaum verfügbar. Sie sind jedoch unbedingt notwendig, um Modelle zu Austauschprozessen zwischen Biosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre zu entwickeln und zu verbessern. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Stoff- und Wasserflüsse beziehungsweise -bilanzen im Boden, aber auch die Wechselwirkung Boden/Atmosphäre wird an verschiedenen Standorten untersucht. Die wissenschaftlichen Herausforderungen von SoilCan-Lysimetern betreffen:

- Veränderungen der gekoppelten Kohlenstoff-Stickstoff-Kreisläufe und deren Speicherdynamik
- Biosphären-Atmosphären-Austausch von klimarelevanten Spurengasen
- Veränderungen der Vegetation und Biodiversität
- Änderungen aller Komponenten der terrestrischen Hydrologie wie beispielsweise Wasserbilanz, Verdunstung, Niederschlagsvariabilität, Wasserrückhaltekapazität
- Überbrückung des Skalensprungs von der Punkt- zur Feldskala (Up-Scaling)

Zur Simulation des prognostizierten Klimawandels der TERENO-Observatorien wurden die 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 trockener und wärmeren Versuchsbedingungen ausgesetzt. An den zentralen Versuchsstandorten Selhausen mit atlantischem und Bad Lauchstädt mit kontinentalem Klima wurden Lysimeter aus allen vier Observatorien zusammengeführt.

Die Lysimeter sind aus Edelstahl und besitzen eine Oberfläche von einem Quadratmeter und eine Länge von anderthalb Metern. Zur perfekten Adaption der Lysimeter an die reale Situation im natürlich gelagerten Boden werden über Saugkerzenrechen und Steuertensiometer innerhalb und außerhalb der Lysimeter die unteren Randbedingungen gesteuert. Diese Intensivmess-einrichtungen wurden in die jeweiligen Untersuchungsstandorte der TERENO-Observatorien integriert. Der Bewuchs der Lysimeter orientiert sich an den jeweiligen Herkunftsorten, die sowohl auf ackerbaulich genutzten Flächen als auch auf Grünlandflächen liegen. Um die Bewirtschaftung bei den ackerbaulich genutzten Lysimetern zu vereinheitlichen, erfolgt eine minimale

Bodenbearbeitung mit der Fruchtfolge Winterweizen-Erbsen-Wintergerste-Raps.

Jedes SoilCan-Lysimeter hängt an sehr präzisen Wägezellen, die die Erfassung der wichtigen Wasserhaushaltskomponenten Sickerwasser, Wassergehaltsänderung im Boden, Evapotranspiration und Niederschlag zeitlich hoch aufgelöst ermöglichen. Um Informationen über den Boden in den Lysimetern zu erhalten, wurden verschiedene Sensoren wie Tensiometer und Wassergehaltssonden zur Messung des Wasserpotentials und der Bodenfeuchte, Temperatursensoren und Kohlendioxid-Gassensoren installiert. Das gebildete Sickerwasser wird ebenfalls gravimetrisch erfasst, es werden Aliquote zur chemischen Analyse entnommen und in Jahreszeiten mit aufwärts gerichtetem Wasserfluss über den Saugkerzenrechen wieder in die Lysimetersohle zurückgepumpt. Dadurch entspricht der Wasserhaushalt stets den realen Szenarien des natürlichen Standortes. Die Lysimetersysteme sind vollautomatisiert, Datenkommunikation und Überwachung erfolgen über modernste funkbasierte Technologien. Um lokale klimatische Besonderheiten einzubeziehen, steht in unmittelbarer Nachbarschaft jeder Station eine Wetterstation.

3 Das TERENO-Datenmanagement

Übergeordnetes Ziel von TERENO ist letztlich die Nutzung der in den einzelnen Observatorien erhobenen Umweltdaten für prognosefähige Systemanalysen, um beispielsweise die Einflüsse etwaiger Klima- und Landnutzungsänderungen auf die langfristige Verfügbarkeit und Qualität von Wasserressourcen abschätzen zu können. Der gesamte Erfolg von Langzeitprojekten wie TERENO hängt ganz entscheidend von einer gut organisierten Datenverwaltung, dem Datenaustausch zwischen den beteiligten Teilprojekten und der Verfügbarmachung der erhobenen Daten ab. Die TERENO-Dateninfrastruktur bildet das Bindeglied, über das Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern zuverlässige und zugängliche Umweltdaten und weiterführende Produkte zur Verfügung gestellt werden.

Bei den meisten Dateninfrastrukturen werden überwiegend dateibasierte Daten wie Dokumentationen, Bilder und Berichte verarbeitet. In TERENO hingegen spielen 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. Wasser, Klima, Biodiversität, Fernerkundung, Sozioökonomie) von unterschiedlichen Forschungsgruppen und Institutionen verwendet.

Aufgrund der Heterogenität der Daten, der großen Menge der bereits vorhandenen Daten und Metadaten sowie der bereits bestehenden Dateninfrastrukturen in den beteiligten Institutionen wird in TERENO ein dezentrales Datenmanagementkonzept umgesetzt. Die Grundidee hierbei ist die Verknüpfung lokaler unabhängiger Infrastrukturen (Daten- bzw. Metadatenbanken) in den einzelnen Observatorien über standardisierte OGC-Schnittstellen mit einer zentralen TERENO-Portalanwendung (TEODOOR), welches die Daten aller Observatorien über Such-, Visualisierungs- und Downloadwerkzeuge der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung stellt. Auf diese Weise wird zum einen eine größtmögliche Flexibilität des Datenmanagements in den einzelnen Observatorien sichergestellt. Zum anderen wird aber auch die

Übertragbarkeit der Daten aus den einzelnen Observatorien gewährleistet, die es ermöglicht, auch weitere Observatorien (z.B. TERENO-MED, s. Kap. 4) oder andere behördliche Datenhalter ohne größeren Aufwand einbinden zu können.

Während der Einrichtung und Instrumentierung der TERENO-Observatorien wurden von den beteiligten Zentren Dateninfrastrukturen eingerichtet. Die derzeit gesammelten Felddaten aus automatischen Klima- und Abfluss-Stationen, Eddy-Kovarianz-Stationen, der installierten SoilNet-Netzwerke und der SoilCan-Lysimeter belaufen sich auf rund 150.000 Datenwerte pro Stunde und Observatorium. Darüber hinaus produzieren Wetterradare umfangreiche Mengen an Rohdaten und prozessierten Daten in der Größenordnung von 500 MB pro Stunde. Um diese kontinuierlichen Datenströme verarbeiten zu können, wurden neben effektiven Werkzeugen für eine automatisierte Datenspeicherung und -archivierung auch Methoden für regelmäßige Plausibilitätsprüfungen entwickelt, um z.B. Daten von defekten Sensoren zu diskriminieren. Neben der Datenqualität spielt insbesondere die adäquate Beschreibung der Datenbestände über Metadaten eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grunde werden Daten immer als eine Kombination der Daten und der beschreibenden Metadaten behandelt. Durch ein gemeinsames TERENO-Metadatenprofil wurde eine einheitliche Datenbeschreibung innerhalb des TERENO-Verbundes sichergestellt.

Zusätzlich zu seiner Funktion als gemeinsame Informations- und Austauschplattform für den TERENO-Verbund hat das TEODOOR-Portal (www.tereno.net) die Funktion, die Daten aus den einzelnen Observatorien zusammenzuführen und zu veröffentlichen. Dies erfolgt durch eine Reihe von Werkzeugen wie z.B. der hierarchischen Suche nach Stichworten oder durch Web-GIS-Funktionalitäten, die es dem Benutzer erlauben, einen detaillierten Einblick in die verschiedenen Observatorien, Testgebiete und Messnetze zu erhalten. Datenvisualisierungswerkzeuge erlauben es, die Daten von verschiedenen Zeitreihen und Variablen zu selektieren, darzustellen, zu überprüfen und schließlich konform der gemeinsamen Datenpolitik auch heruntergeladen zu können. Derzeit sind zeitaktuelle Daten von mehr als 450 automatischen Stationen frei verfügbar.

Die Definition und Umsetzung geeigneter Schnittstellen und Standards für den Datenaustausch zwischen den lokalen Datenbanken und TEODOOR ist die größte Herausforderung bei der Schaffung distributiver Dateninfrastrukturen. In TERENO erfolgt dieser Austausch über standardisierte OGC-konforme Web-Dienste, die für jedes Observatorium aufgebaut und betrieben werden und welche die Daten und Metadaten für die interne und öffentliche Verwendung bereitstellen. Ein neu entwickelter OGC-konformer Sensor Observation Service (SOS) ist in der Lage, Rasterdatenzeitreihen liefern zu können, und eröffnet damit eine Reihe erweiterter Funktionalitäten für die Veröffentlichung von Wetterradar- und Fernerkundungsdaten.

4 TERENO-MED: Das mediterrane TERENO-Netzwerk

Der mediterrane Raum ist weltweit eine der Regionen, die durch die Effekte des globalen Wandels wie Klimawandel, Landnutzungswandel, Bevölkerungswachstum und Urbanisierung bereits heute besonders betroffen ist und in Zukunft noch stärker betroffen sein wird. Eine vorausschauende Planung und Bewirt-

schaftung der natürlichen Ressourcen ist in dieser Region allerdings nur sehr begrenzt möglich, da zuverlässige Daten und wissenschaftliche Untersuchungen hinsichtlich einer integrierten Umweltbetrachtung nicht zugänglich sind oder sogar gänzlich fehlen. Gleichzeitig ist diese Region sowohl politisch als auch ökonomisch von enormer Bedeutung für den gesamten europäischen Raum.

Die beiden Helmholtz-Zentren UFZ und Jülich haben daher das mediterrane TERENO-Netzwerk initiiert (TERENO-MED), in dem eine Reihe mediterraner „Global Change Observatorien“ an repräsentativen Standorten rund um das Mittelmeer gemeinsam mit lokalen Partnern eingerichtet und betrieben werden. Zurzeit werden Partner vor Ort sowie geeignete Observatorien-Standorte unter anderem in Spanien, Italien, der Türkei, Zypern, Griechenland, Tunesien, Marokko und im Nahen Osten evaluiert.

Aufgrund der drängenden Fragen zum Thema Wasserknappheit und ressourceneffiziente Wassernutzung liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen von TERENO-MED zunächst auf der Betrachtung wasserbezogener Probleme und fokussiert damit auf die Bereiche Hydrologie, Hydrogeologie und Klima sowie auf Untersuchungen der Wasserqualität. Auf Grundlage der gesammelten Daten sollen Szenarien der zukünftigen Entwicklung der Wasserressourcen erstellt werden. Es sollen Lösungen erarbeitet werden, die helfen können, Probleme der Wasserknappheit zu überwinden bzw. sich an diese frühzeitig anzupassen. TERENO-MED strebt dabei auch eine enge Einbindung von Partnern aus bestehenden Forschungsnetzwerken und Projekten an, um vorhandenes Wissen einzubinden und starke Partnerschaften zu etablieren. Eine erste Kooperationsvereinbarung zwischen TERENO-MED und dem von Frankreich koordinierten Observatorien-Netzwerk „SICMED“ (Surfaces et Interfaces Continentales en Méditerranée) wurde bereits unterzeichnet. Die beiden Initiativen planen ihre Aktivitäten so weit wie möglich zusammenzuführen, gemeinsame Projekte zu entwickeln und gemeinsame Standorte zu nutzen.

5 Wissenschaftliche Kooperation

Die Kooperation in den Observatorien beschränkt sich nicht nur auf die sechs Helmholtz-Zentren. Auch Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Behörden und Nationalparks sind eng in das TERENO-Netzwerk eingebunden. Auf diese Weise kann ein großer Teil der terrestrischen Forschung in Deutschland gebündelt und bislang getrennt laufende Aktivitäten können zusammengeführt werden. Durch die Anbindung an andere nationale und internationale Netzwerke wird die Zusammenarbeit auch auf europäischer und internationaler Ebene kontinuierlich ausgeweitet. So ist TERENO beispielsweise Partner von ICOS-Deutschland, dem nationalen Teil der europäischen Beobachtungsplattform zur Erforschung des Kohlenstoffkreislaufes und der Treibhausgasemissionen. Über TERENO-MED und den Mittelmeerraum hinaus entstehen mit dem Projekt WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use, www.wascal.org) zukünftig auch enge Verbindungen zu der Region Westafrika. WASCAL ist eine internationale und interdisziplinäre Forschungsinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), an der zehn westafrikanische Länder (Benin, Burkina Faso, Elfenbeinküste, Gambia, Ghana, Mali, Niger, Nigeria, Senegal und Togo) beteiligt sind. Wie bei TERENO sollen im Rahmen von WASCAL mithilfe von Langzeitdaten verbesserte

Klimavorhersagen durchgeführt und Anpassungsmaßnahmen abgeleitet werden. Hierbei wird das Datenmanagementsystem, das für TERENO entwickelt wurde, übernommen und auf die speziellen Bedürfnisse angepasst werden.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Heye Bogena; Dr. Ralf Kunkel; Dr. Thomas Pütz;
Prof. Dr. Harry Vereecken
Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut Agrosphäre (IBG-3), Institut für Bio- und Geowissenschaften
52425 Jülich
h.bogena@fz-juelich.de

Elisabeth Krüger; Dr. Steffen Zacharias; Prof. Dr. Peter Dietrich;
Dr. Ute Wollschläger
UFZ-Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH

Prof. Dr. Harald Kunstmann; Prof. Dr. Hans Papen;
Prof. Dr. Hans Peter Schmid
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK)

Prof. Dr. Jean Charles Munch; Dr. Eckart Priesack
Helmholtz Zentrum München GmbH, HMGU

Dr. Mike Schwank; Dr. Oliver Bens; Prof. Dr. Achim Brauer
Deutsches GeoForschungsZentrum, GFZ

Dr. Erik Borg; Dr. Irena Hajnsek
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Literaturverzeichnis

- BERNHOFER, C., V. GOLDBERG, J. FRANKE, M. SURKE & J. ADAM (2008): REKLI – Sachsen-Anhalt II Regionale Klimadiagnose für Sachsen-Anhalt. – Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (VertragNr.: 32/294/07), 66 S.
- BOGENA, H.R., K. SCHULZ & H. VERECKEN (2006): TERENO – Towards a network of observatories in terrestrial environmental research. – *Adv. Geosci.* 9, 109–114
- BOGENA, H.R., M. HERBST, J.A. HUISMAN, U. ROSENBAUM, A. WEUTHEN & H. VERECKEN (2010): Potential of wireless sensor networks for measuring soil water content variability. – *Vadose Zone Journal* 9, 1002–1013
- BRONSTERT, J., D. KNEIS & H.R. BOGENA (2009): Interactions and feedbacks in hydrological change: Relevance and possibilities of modelling. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 53 (5), 289–304
- BURT, T.P., N.J.K. HOWDEN, F. WORRALL & M.J. WHELAN (2008): Importance of long-term monitoring for detecting environmental change: lessons from a lowland river in South East England. – *Biogeosciences* 5, 1529–1535
- ENTEKHABI, D., E.G. NJOKU, P.E. O'NEILL, K.H. KELLOGG, W.T. CROW, W.N. EDELSTEIN, J.K. ENTIN, D.D. GOODMAN, T.J. JACKSON, J. JOHNSON, J. KIMBALL, J.R. PIEPMEIER, R.D. KOSTER, N. MARTIN, K.C. MCDONALD, M. MOGHADDAM, S. MORAN, R. REICHLE, J.C. SHI, M.W. SPENCER, S.W. THURMAN, T. LEUNG, J. VAN ZYL (2010): The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission. – *Proceedings of IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 98 (5), 704–716

- GLASER, R. (2008): Klimageschichte Mitteleuropas – 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen mit Prognosen für das 21. Jahrhundert. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- HOOPER, R., K. RECKHOW & L. BAND (2004): Designing a network of hydrologic observatories; [Online] http://www.cuahsi.org/publications/Neuse_Report_final.pdf.
- ISCU (International Social Science Council) (2010): Grand challenges in global sustainability research: A systems approach to research priorities for the decade
- KELLER, M., D.S. SCHIMMEL, W.W. HARGROVE & F.M. HOFFMAN (2008). A continental strategy for the National Ecological Observatory Network. – *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, 282–284
- KERR, Y., P. WALDTEUFEL, J.-P. WIGNERON, J.-M. MARTINUZZI, J. FONT & M. BERGER (2001): Soil moisture retrieval from space: The Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission. – *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 39 (8), 1729–1735
- LIN, H. (2003): *Hydropedology: bridging disciplines, scales, and data.* – *Vadose Zone Journal* 2, 1–11
- LIN, H. (2010): Earth's Critical Zone and *hydropedology: concepts, characteristics, and advances.* – *Hydrology And Earth System Sciences* 14, 25–45
- MCDONNELL, J., M. SIVAPALAN, K. VACHE, S. DUNN, G. GRANT, R. HAGGERTY, C. HINZ, R. HOOPER, J. KIRCHNER, M.L. RODERICK, J. SELKER & M. WEILER (2007): Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology. – *Water Resources Research* 43: W07301; doi:10.1029/2006WR005467
- MONTGOMERY, J.L., T. HARMON, W. KAISER, A. SANDERSON, C.N. HAAS, R. HOOPER, B. MINSKER, J. SCHNOOR, N.L. CLESCERI, W. GRAHAM & P. BREZONIK (2007): The WATERS network: An integrated environmental observatory network for water research. – *Environmental Science & Technology* 41, 6642–6647
- NISBET, E. (2007): Earth monitoring: Cinderella science. – *Nature* 450, 789–790
- NRC (National Research Council) (2008): *Understanding and Respond to Climate Change*, 28 pp.
- PARR, T.W., A.R.J. SIER, R.W. BATTARBEE, A. MACKAY & J. BURGESS (2003): Detecting environmental change: science and society – perspectives on long-term research and monitoring in the 21st century. – *Science Of The Total Environment* 310, 1–8
- REID, W.V., C. BRECHIGNAC & Y.T. LEE (2009): Earth System Research Priorities. – *Science* 325, 245–245
- RICHTER, D.D. & M.L. MOBLEY (2009): Monitoring Earth's Critical Zone. – *Science* 326, 1067–1068
- ZACHARIAS, S., H.R. BOGENA, L. SAMANIEGO, M. MAUDER, R. FUß, T. PÜTZ, M. FRENZEL, M. SCHWANK, C. BAESSLER, K. BUTTERBACH-BAHL, O. BENS, E. BORG, A. BRAUER, P. DIETRICH, I. HAJNSEK, G. HELLE, R. KIESE, H. KUNSTMANN, S. KLOTZ, J.C. MUNCH, H. PAPEN, E. PRIESACK, H.P. SCHMID, R. STEINBRECHER, U. ROSENBAUM, G. TEUTSCH & H. VERECKEN (2011): A Network of Terrestrial Environmental Observatories in Germany. – *Vadose Zone Journal* 10, 955–973; doi:10.2136/vzj2010.0139
- ZOBACK, M.L. (2001): Grand challenges in earth and environmental sciences: sciences, stewardship, and service for the twenty-first century. – *GSA Today* 12, 41–47

Tagungsbericht

Wasser ohne Grenzen – Tag der Hydrologie 2012 in Freiburg Water without limits – Hydrology Day 2012

Am Donnerstag, 22. März und Freitag, 23. März 2012 fand in Freiburg im Breisgau der „Tag der Hydrologie 2012“ statt. Gastgeber der Veranstaltung in diesem Jahr war das Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, unterstützt von der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW), dem Hauptausschuss Hydrologie und Wasserbewirtschaftung der DWA, der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DHG) und dem Förderverein Hydrologie in Freiburg. Über 300 Teilnehmerinnen und Teilnehmer beteiligten sich an der wichtigsten hydrologischen Fachtagung im deutschen Sprachraum.

Hydrologie und Wasserwirtschaft fordern eine integrative Betrachtungsweise und stoßen deshalb häufig an disziplinäre, me-

thodische und administrative Grenzen. Das Thema der Konferenz „Wasser ohne Grenzen“ rückte diese Inter- und Transdisziplinarität von Hydrologie und Wasserwirtschaft in den Vordergrund und thematisierte und diskutierte Arbeiten, die physische und disziplinäre Grenzbereiche erforschen, Methoden über Barrieren hinweg anwenden und Ansätze zur Überwindung von Grenzen aufzeigen.

Die 123 präsentierten Beiträge waren zwar in drei Themenbereiche gegliedert, betrafen jedoch oft auch mehr als einen der folgenden Bereiche:

Thema 1: Grenzbereiche (Forschung, Modellierung)

Beiträge in diesem Bereich stellten Prozesse dar, die den Wasser- und Stoffaustausch steuern, und beschäftigten sich mit der Entwicklung und Anwendung von neuen Messmethoden oder Modellen. So konzentrierten sich Studien auf die ungesättigte