



Deutsche Forschungsgemeinschaft

Langzeitperspektiven und Infrastruktur der terrestrischen Forschung Deutschlands – ein systemischer Ansatz

Strategiepapier

Arbeitsgruppe „Infrastruktur für die terrestrische Forschung“
Senatskommission für Agrarökosystemforschung
Senatskommission für Wasserforschung
Senatskommission für Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften
Nationales Komitee für Global Change Forschung

Deutsche Forschungsgemeinschaft

Kennedyallee 40 • 53175 Bonn

Postanschrift: 53170 Bonn

Telefon: + 49 228 885-1

Telefax: + 49 228 885-2777

postmaster@dfg.de

www.dfg.de

Stand: 9. Januar 2013

Grundlayout, Typografie: Tim Wübben, DFG

Lektorat: Susanne Pütz; Stephanie Henseler, DFG

Titelbild: Agentur Bosse und Meinhard Wissenschaftskommunikation, Bonn



Deutsche Forschungsgemeinschaft

**Langzeitperspektiven und Infrastruktur
der terrestrischen Forschung
Deutschlands – ein systemischer Ansatz**

Strategiepapier

Arbeitsgruppe „Infrastruktur für die terrestrische Forschung“
Senatskommission für Agrarökosystemforschung
Senatskommission für Wasserforschung
Senatskommission für Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften
Nationales Komitee für Global Change Forschung

Verfasser

Kommissionsübergreifende Arbeitsgruppe „Infrastruktur für terrestrische Forschung“

Senatskommission für Agrarökosystemforschung¹, Federführung

Vorsitzende: Prof. Dr. Ingrid Kögel-Knabner

Wissenschaftliches Sekretariat: Dr. Margit v. Lützwow

Senatskommission für Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften²

vertreten durch: Prof. Dr. Erika Kothe

Senatskommission für Wasserforschung

vertreten durch: Prof. Dr. Harry Vereecken

Nationales Komitee für Global Change Forschung

vertreten durch: Prof. Dr. Georg Teutsch

DFG-Geschäftsstelle: Dr. Patricia Schmitz-Möller

DFG-Geschäftsstelle: Dr. Ute Weber

Experten verschiedener Fachgebiete und Institutionen

Prof. Dr. Susanne Crewell, Universität Köln, Fachgebiet Geophysik und Meteorologie

Prof. Dr. Heinz Flessa, Thünen-Institut Braunschweig, Fachgebiet Agrarklimaschutz

Prof. Dr. Bernd Freier, Julius Kühn-Institut

Dr. Klaus Friedrich, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Prof. Dr. Peter Grathwohl, Universität Tübingen, Fachgebiet Geowissenschaften

Prof. Dr. Peter Haase, Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum Frankfurt,

Stellvertretender Vorsitzender von LTER-D

Prof. Dr. Bernd Hansjürgens, UFZ Leipzig, Fachgebiet Sozioökonomie

Prof. Dr. Daniela Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Fachgebiet Regionale Klimamodellierung

Prof. Dr. Florian Jeltsch, Universität Potsdam, Fachgebiet Vegetationsökologie und Naturschutz

Dr. Wolfgang Leuchs, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen

Prof. Dr. Wolfram Mauser, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung

Dr. Uwe Rammert, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Flintbek

Prof. Dr. Erko Stackebrandt, Mitglied der Senatskommission für Biodiversitätsforschung, Paris,

Fachgebiet Molekularbiologie

Prof. Dr. Thilo Streck, Universität Hohenheim, Fachgebiet Biogeophysik

Prof. Dr. Hartmut Stützel, Universität Hannover, Fachgebiet Landwirtschaftliche Produktionssysteme – Nutzpflanzen

Professor Dr. Günther Turian, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart

Direktor Wolfgang Vogel, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Flintbek

Prof. Dr.-Ing. Erwin Zehe, Karlsruher Institut für Technologie, Fachgebiet Hydrologie

¹ Folgekommission der DFG-Senatskommission für Stoffe und Ressourcen in der Landwirtschaft

² Folgekommission der DFG-Senatskommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung

Inhalt

1. Hintergrund und Ziele des Strategiepapiers.....	6
1.1 Adressaten.....	7
1.2 Wissenschaftliche und gesellschaftliche Herausforderungen der terrestrischen Ökosystemforschung.....	7
2. Aktuelle Entwicklungen in der terrestrischen Ökosystemforschung.....	11
2.1 Internationale Untersuchungsgebiete und Forschungsinfrastrukturen.....	11
3. Ausgangsbasis und neue Untersuchungsmethoden.....	14
3.1 Bestehende Standorte.....	14
3.2 Neue Messmethoden und Verknüpfung der Skalen.....	16
3.3 Numerische Modellierung und Rechenkapazitäten.....	17
4. Ziele und Zweck einer integrierenden Infrastruktur.....	18
4.1 Beobachtungs- und Experimentierplattformen.....	18
4.2 Zentrale Datenplattformen und Datenmanagement.....	19
4.3 Internationale Vernetzung.....	21
4.4 Ausbildung und Erkenntnistransfer.....	21
5. Empfehlungen zur Umsetzung.....	22
5.1 Organisation.....	22
5.2 Instrumente.....	22
Anhang.....	24
Literatur.....	24
Abkürzungsverzeichnis und Glossar.....	25
Tabelle 1: Exemplarische Beispiele nationaler und internationaler Plattformen für die Langzeitbeobachtung terrestrischer Systeme.....	28

1. Hintergrund und Ziele des Strategiepapiers

Mit diesem Strategiepapier wollen die Senatskommissionen Konzepte und Empfehlungen vorstellen, die der terrestrischen Umweltforschung Deutschlands Zugang zu adäquaten Forschungsinfrastrukturen sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene sichern sollen. Entsprechende Infrastrukturen sind notwendig, um im Rahmen von Langzeitbeobachtungen negative Entwicklungen unserer Ökosysteme zu erkennen und diesen rechtzeitig entgegenzusteuern oder zumindest gesellschaftlich negative Auswirkungen zu mindern.

Terrestrische Ökosysteme sind Landschaften oder Teile davon, in denen sich Lebensräume mit charakteristischen Strukturen und Funktionen herausgebildet haben. Sie umfassen typischerweise die Kompartimente Atmosphäre, Bio- und Anthroposphäre, Pedosphäre, Geosphäre und die Hydrosphäre mit ihren aquatischen Systemen. Als Teile komplexer Landschaften existieren in terrestrischen Ökosystemen funktionale Beziehungen und Austauschvorgänge (Wärmestrom, Wasser- und Stoffflüsse, chemische Reaktionen etc.) wie z. B. zwischen Produktionsflächen und anderen Lebensräumen (DFG, 2005). Diese beziehen auch die Organismen und ihre Interaktionen mit ihrer abiotischen Umwelt ein.

Die gegenwärtige Entwicklung unserer Erde ist gekennzeichnet durch eine rapide Zunahme der Weltbevölkerung sowie die Ausbreitung westlicher Konsummuster mit steigender Nahrungsmittel- und Energienachfrage (Godfrey et al., 2011); damit verbunden ist auch eine Veränderung gesellschaftlicher Wertemuster. Als Folge menschlicher Eingriffe in terrestrische Ökosysteme beobachten wir eine Verknappung unserer Material- und Leistungsressourcen, wie Energieträger und Rohstoffe, aber auch den Verlust beziehungsweise die Degradation von Böden und Wasservorräten. Dies geht einher mit einer sich langfristig verändernden Zusammensetzung unserer Atmosphäre sowie dem Rückgang der biologischen Vielfalt (u. a. WBGU, 2011; EIA, 2010; FAO & OECD, 2009; Rockström et al., 2009; RS, 2009; UN, 2009; von Braun, 2007). Die Auswirkungen dieser globalen Veränderungen umfassen alle Ökosystemkompartimente.

Terrestrische Ökosysteme weisen eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität, eine hohe Parameter- und Prozesskomplexität sowie eine hohe Skalendynamik auf, was die Vorhersage regionaler Veränderungen zusätzlich erschwert. Die Reaktionen einzelner Ökosystemkompartimente auf Klima- und Landnutzungsänderungen sind daher gegenwärtig weitgehend unbekannt (IPCC, 2007). So ist beispielsweise noch immer ungeklärt, in welchem Maße terrestrische Systeme durch Klimawandel und Landnutzungsänderungen zukünftig zu Senken oder Quellen für klimarelevante Gase werden.

Um natürliche und anthropogene Fluktuationen von Ökosystemen verstehen und bewerten zu können, müssen qualitative und quantitative Veränderungen über längere Zeiträume erfasst und ausgewertet werden, und es muss versucht werden, Ursachen von Landnutzungsveränderungen herauszukristallisieren. Dies gilt für langsame Prozesse, wie die Änderung von Klima und Landnutzung, für Extremereignisse (Hochwasser, Stürme), aber auch für Prozesse mit hoher Variabilität im Hinblick auf eine valide Trendprognose (Stoffeinträge und -austräge, z. B. für Nährstoffe oder anthropogene Schadstoffe sowie mikrobiell gesteuerte Prozesse). Generell erfordert die Beurteilung von komplexen Prozessen und Wirkungsnetzen in Ökosystemen Langzeituntersuchungen über ein Jahrzehnt hinaus. Voraussetzung für die Untersuchung und auch Quantifizierung der oben genannten Zusammenhänge sind dauerhafte und

multiskalige Forschungs- und Monitoringinfrastrukturen, die es erlauben, diese gekoppelten Prozesse aufeinander abgestimmt zu analysieren. Die detaillierte, langfristig angelegte Erfassung der Stoff-, und Energieflüsse sowie der Biodiversität unter Berücksichtigung der sozio-ökonomischen Entwicklungen innerhalb eines Ökosystems ist die notwendige Voraussetzung für die Beantwortung aktueller Fragestellungen mit hoher gesellschaftlicher Relevanz, wie beispielsweise nach

- ▶ dem Erhalt der Adaptationsfähigkeit terrestrischer Ökosysteme auf sich ändernde Umweltbedingungen sowie ihrer Resilienz gegenüber anthropogenen Eingriffen und extremen Ereignissen,
- ▶ der Sicherung der Funktions- und Leistungsfähigkeit terrestrischer Ökosysteme zum Erhalt der Ökosystemdienstleistungen, etwa zur Lebensmittelproduktion oder Klimaregulation und der Sicherung von Boden- und Wasserressourcen,
- ▶ der Ursachenanalyse gegenwärtiger Störfaktoren eines guten Natur- und Umweltzustands und die Ableitung geeigneter Abhilfemaßnahmen (z. B. bei der Umsetzung der Ziele der europäischen Wasserrahmenrichtlinie),
- ▶ dem Aufzeigen von wissenschaftlich begründeten Lösungswegen zur Überwindung von Nutzungskonflikten, z. B. zwischen Nahrungs- und Energieproduktion, zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft oder auch zwischen der Steigerung der Produktionsintensität und Naturschutzbelangen,
- ▶ dem Aufdecken gesellschaftlicher Wertestrukturen und gezielter Ursachenforschung, um Gründe für Entwicklungen aufzudecken und Entscheidungswege zu optimieren.

1.1 Adressaten

Das Papier richtet sich übergreifend an drei Zielgruppen: Erstens sollen den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie den Forschungsorganisationen in Deutschland die Möglichkeiten verdeutlicht werden, die die hier vorgeschlagenen Infrastruktursysteme und Kooperationen zur Beantwortung der neu aufgekommenen Fragestellungen bieten. Zweitens richtet sich das Papier an die für Natur, Umwelt und Ressourcennutzung verantwortlichen Behörden und Institutionen auf der Ebene des Bundes und der Länder, indem es auf potenzielle Synergieeffekte aus der Zusammenführung bestehender und der Generierung neuer Daten hinweist. Und drittens sollen die Forschungsförderer Informationen zur Notwendigkeit und zu den Vorteilen einer neuen Generation von Infrastruktursystemen erlangen.

1.2 Wissenschaftliche und gesellschaftliche Herausforderungen der terrestrischen Ökosystemforschung

Die zentrale wissenschaftliche Herausforderung besteht in der Quantifizierung gekoppelter Prozesse und in der Prognose der Dynamik, Resilienz und Adaptation von terrestrischen Ökosystemen in einer sich ändernden Umwelt. Hinzu kommt die Analyse anthropogener Treiber und der durch diese ausgelösten Veränderungen von Ökosystemen. Dazu müssen die naturwissenschaftlichen Erhebungen so ausgerichtet werden, dass sie auch in sozioökonomischen

Projekten verwendet werden können und damit eine systemorientierte Forschung in der fachlich notwendigen Breite erlauben.

Die bestehenden Forschungs- und Monitoringinfrastruktursysteme mit ihren umfangreichen Daten, Mess-, Test- und Modellierungssystemen sind zum größten Teil auf spezielle wissenschaftliche Fragen fokussiert. Sie greifen jeweils Teilaspekte heraus und analysieren diese detailliert. Die Gesellschaft erwartet dagegen ganzheitliche Problemlösungen „aus einer Hand“, unter Einbeziehung aller Akteure und unter Beachtung sowie Offenlegung von Kosten und Nutzen. Zur Lösung komplexer Natur- und Umweltprobleme müssen die verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen mit ihren jeweiligen Kompetenzen beitragen, wobei die Einzelbeiträge der Wissenschaften zu synthetisieren und in eine Gesamtperspektive zu integrieren sind. Diese Herausforderungen konnten bisher nicht gelöst werden (ICSU, 2010; Pliening et al., 2008; UBA, 2003). Folgende **aktuelle Forschungsbereiche** mögen dies beispielhaft verdeutlichen:

- ▶ Als dynamische Systeme haben **Ökosysteme** in bestimmten Grenzen die Fähigkeit zur Selbstregulation und Selbsterneuerung. Werden diese Grenzen durch den Einfluss externer Belastungen überschritten, kann das System in einen neuen Zustand drifteten und damit seine strukturelle und funktionelle Identität verlieren: Das ursprüngliche Ökosystem hört auf zu existieren. Die Dauer des Destabilisierungsprozesses und das Ausmaß der Veränderungen hängen von der Resistenz, der Resilienz und der Fragilität des Ökosystems ab. Diese Eigenschaften sind Gegenstand intensiver Forschung, aber eine Prognose der Widerstandskraft beziehungsweise des Zusammenbrechens von Ökosystemen ist derzeit wegen des hochkomplexen Zusammenwirkens vieler Einzelprozesse, gegebenenfalls über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten hinweg, noch nicht möglich (Doré et al., 2011).
- ▶ Die **Stoffflüsse** in und zwischen den Kompartimenten werden in der Regel durch nicht lineare Prozesse verursacht und sind daher auf komplexe Weise miteinander gekoppelt. Bisher sind die Relevanz der Einflussfaktoren und Trendentwicklungen, beispielsweise hinsichtlich der Bodenbelastung und Produktivität oder auch der Wasserqualität, unzureichend bekannt. Daher sind die Erfassung von Stoffflüssen bis hin zu Massenbilanzen unter Berücksichtigung aller Kompartimente sowie deren Prognose im größeren räumlichen Maßstab derzeit nicht möglich.
- ▶ Innerhalb der einzelnen Kompartimente herrscht eine ausgeprägte räumliche und zum Teil zeitliche **Heterogenität**, deren Erfassung in unterschiedlicher Weise vom verwendeten Beobachtungsmaßstab abhängt. Es fehlen weiterhin Konzepte, wie diese Heterogenität adäquat in Modellen größerer Regionen zu berücksichtigen und wie die Skalenübergänge zu bewältigen sind.
- ▶ Die Veränderungen in der terrestrischen Umwelt, vor allem Landnutzungsänderungen, sind zudem auf eine Vielzahl sich überlagernder **Entwicklungstrends** zurückzuführen, die von dem demografischen Wandel über sich ändernde Konsummuster bis hin zu ökonomischen Globalisierungsprozessen reichen. In den meisten Fällen gibt es keine einheitlichen Datenquellen, die diese Trends übergreifend und in sich konsistent berücksichtigen und in ihren Auswirkungen auf die Umweltkompartimente abbilden. Hier müssen daher auch neue Formen der sozioökonomischen Datengenerierung und -zusammenführung sowie deren Abstimmung mit naturwissenschaftlichen Daten gefunden werden (Ohl & Hansjürgens, 2011).

Eine integrative und bereits im Ansatz systemorientierte Bearbeitung solcher Forschungsthemen trägt wesentlich dazu bei, Langzeitprognosen über Ökosystemveränderungen zu entwickeln und deren Konsequenzen einschließlich der Kosten von Veränderungen von Ökosystemleistungen abzuschätzen. Hierbei sollte ein besonderer Fokus auf die Aussage-sicherheit hochkomplexer und gekoppelter Prognosemodelle gelegt werden, um belastbare Anpassungsstrategien und Handlungsoptionen ableiten beziehungsweise die Unsicherheiten adäquat quantitativ beschreiben zu können.

Prognosen dieser Wandelprozesse und -folgen erfordern eine Entwicklung umfassender Umweltsystemtheorien zur konsistenten Beschreibung dieser rückgekoppelten Dynamiken. Solche umfassenden Umweltsystemtheorien wären nicht nur ein deutlicher Fortschritt in der terrestrischen Umweltforschung, sondern auch eine wichtige Grundlage für eine neue Generation numerischer Modellsysteme, die z. B. Abiotik-Biotik-Wechselwirkungen explizit erfassen und die Rückkopplungen biotischer und abiotischer Anpassungsprozesse quantifizieren können. Simulationen mit dieser neuen Generation rückgekoppelter Modellsysteme würden erheblich dazu beitragen, belastbare und prüfbare Hypothesen zu den Auswirkungen des globalen Wandels in komplexen terrestrischen Ökosystemen besser zu formulieren.

Solche Infrastrukturplattformen wären auch ein „Beschleuniger“ für Einzelforschungsvorhaben, weil aufwendige Voruntersuchungen, wie z. B. die Ermittlung einer funktionellen Bodenkarte oder die Beschaffung von hydrometeorologischen Daten, nicht mehr notwendig sind. Letztendlich sind terrestrische Infrastrukturplattformen ein Schlüssel zur Lösung vieler methodischer Probleme, insbesondere der Skalenproblematik, weil nur durch gemeinschaftliche Anstrengung die dafür notwendigen multiskaligen Beobachtungsnetze mit ausreichender Dichte und Qualität aufgebaut und betrieben werden können.

Für die Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden von Bund und Ländern ergibt sich der Nutzen, dass für die vollzugsorientierten Fragestellungen neben den eigenen Grundlagendaten auch die Forschungsdaten und -ergebnisse der „Wissenschaft“ genutzt werden können. Zudem sollten bestehende und seit Langem etablierte und valide Daten liefernde Einrichtungen weiter unterhalten und in den Gesamtansatz integriert werden. Hier werden langfristig konzipierte Daten- und Monitoringsysteme betrieben, die in Zusammenarbeit mit den Wissenschaftsdisziplinen Datenstandards und qualitätsgesicherte Datenpools auch für zukünftige Projekte bereitstellen können. Dazu gehören neben technischen Messnetzen auch solche, die direkte organismische Reaktionen auf sich verändernde Umweltbedingungen anzeigen (z. B. phänologische Gärten, Erhebungen von Arteninventaren).



Luft, Boden, Gewässer und Organismen stehen in direkter Wechselwirkung. Dadurch sind auch die dort ablaufenden Prozesse mehrfach miteinander gekoppelt (Wärmestrom, Wasser- und Stoffflüsse, biogeochemische Reaktionen etc.). Änderungen in einem Kompartiment wirken sich auch auf die Nachbarkompartimente aus. Die Herausforderung besteht darin, künftige und gegebenenfalls schleichende Veränderungen in diesen heterogenen Kompartimenten rechtzeitig zu erkennen – denn einmal eingetretene großskalige Zustandsänderungen sind häufig nicht reversibel. Beispiele sind die Auswirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf Vegetation und Böden mit Folgen für die Grund- und Oberflächenwasserqualität oder die Auswirkung von fallenden/steigenden Wasserständen auf Ökosysteme und deren Leistungen. Die Beantwortung solcher Fragen und damit auch die Entwicklung von Managementstrategien erfordern die Erfassung von Zustandsgrößen der verschiedenen Kompartimente von der mikroskopischen Skala bis zur Landschaftsskala in langen Zeitreihen (Jahrzehnte). Die Ableitung von Massen- und Energiebilanzen des Gesamtgebietes, die Untersuchung der Integration von Prozessen auf verschiedenen Skalen und Skalenebenen sowie die Aufklärung von Funktionsbeziehungen und Rückkopplungen können jetzt durch die Integration unterschiedlicher Monitoringmethoden der verschiedenen Forschungsdisziplinen erreicht werden. Das Monitoring reicht von boden-, flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundungssystemen über Sensornetzwerke bis hin zur direkten Beprobung von Luft, Boden, Gewässern und Organismen.

2. Aktuelle Entwicklungen in der terrestrischen Ökosystemforschung

In den zurückliegenden 30 Jahren hat es drei zentrale Entwicklungsschritte gegeben, die jetzt den Aufbau systemübergreifender Infrastrukturen Erfolg versprechend erscheinen lassen:

1. Durch die Einrichtung von nationalen wie internationalen Observatorien und Exploratorien besteht eine sehr gute wissenschaftliche Ausgangsbasis für systemische Ansätze, die über bestehende Beschränkungen hinausgehen.
2. Die Entwicklung nicht invasiver Untersuchungsmethoden und der rasante Fortschritt in der boden-, flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundung erlauben die Annäherung der untersuchten Skalen der beteiligten Disziplinen. Diese sind traditionell sehr unterschiedlich, sodass bisher in vielen Bereichen eine Zusammenarbeit kaum möglich schien.
3. Die Entwicklung im Bereich des wissenschaftlichen Rechnens ermöglicht es mittlerweile, gekoppelte Simulationen mit der notwendigen Komplexität sowie in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu rechnen. Die Verfügbarkeit von Hochleistungsrechnern ist aber auch eine notwendige Voraussetzung für das Management und die Analyse von großen Datenmengen, wie sie beispielsweise in der Satelliten- und Fernerkundung anfallen.

Die Untersuchung von Prozessen und Rückkopplungen auf der Skala von Wassereinzugsgebieten oder Landschaften ist durch deren Heterogenität und die Vielfalt der auftretenden Wechselwirkungen schwierig. Hinzu kommt, dass die relevanten Prozesse auf sehr unterschiedlichen, teilweise großen Zeitskalen ablaufen. Deshalb muss eine Forschungsinfrastruktur mit gemeinsamen Forschungsplattformen und Simulationsmodellen langfristig angelegt sein. Unter diesen Bedingungen wird die Forschung durch die enge Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen wesentlich profitieren. In der Vernetzung mit den Aufgaben der zuständigen Behörden kann dadurch ein zusätzlicher gesellschaftlicher Mehrwert geschaffen werden.

2.1 Internationale Untersuchungsgebiete und Forschungsinfrastrukturen

Global betrachtet können die vielfältigen Ökosysteme nur durch internationale Zusammenarbeit abgedeckt werden. Im Bereich der ökologischen und atmosphärischen Forschung werden schon seit mehreren Jahren langfristig und global angelegte terrestrische Forschungsplattformen wie beispielsweise *FLUXNET* oder *LTER* (Erläuterung der Abkürzungen s. Anhang) betrieben. Seit 2011 wird in den USA das *National Ecological Observatory Network (NEON)* aufgebaut. Ziel dieser Plattform ist die Erfassung und Vorhersage ökologischer Veränderungen in 20 ausgewählten ökoklimatischen Zonen des nordamerikanischen Kontinents über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten. Fast gleichzeitig begann in den USA die Einrichtung von *Critical Zone Observatories (CZO)*, finanziert durch die National Science Foundation.

Auf europäischer Ebene befindet sich mit dem *Integrated Carbon Observation System (ICOS)* die erste alle Kompartimente integrierende Forschungsplattform in der Implementierungsphase.

ICOS zielt auf die langfristige Beobachtung von klimawirksamen Spurengasen in der Atmosphäre, im Ozean sowie in terrestrischen Ökosystemen und wird von den europäischen Mitgliedstaaten im Rahmen von *ESFRI* finanziert. Eine weitere *ESFRI*-Initiative stellt die Forschungs- und Experimentierplattform *ANAEE* dar. Diese Initiative fokussiert auf die Entwicklung eines Netzwerks von Experimentierplattformen zur Erkundung, Analyse und Vorhersage von Ökosystemveränderungen im Rahmen des Klima- und Landnutzungswandels in Europa. Weitere Plattformen im Bereich der Biodiversitätsforschung und der hydrologischen Forschung sind entweder in Vorbereitung oder wurden vorgeschlagen (z. B. *LifeWatch*).

Zur Stärkung der deutschen Beteiligung an den europäischen terrestrischen Forschungsplattformen bis hin zu einer führenden und koordinierenden Rolle, ist eine abgestimmte und gemeinsame Vorgehensweise der deutschen Forschung über die Disziplinen und Forschungsorganisationen hinweg notwendig. So könnten die bestehenden und die im Aufbau befindlichen Forschungsplattformen Deutschlands, die in der Regel eher diszipliniert oder den spezifischen Aufgaben der einzelnen Forschungsorganisationen entsprechend ausgerichtet wurden, stärker in diese internationalen Netzwerke integriert werden. Dies würde ihre internationale Sichtbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit zusätzlich stärken. Derzeit ist Deutschland an verschiedenen Plattformen aktiv beteiligt, besitzt jedoch bei keiner der laufenden Aktivitäten auf europäischer Ebene eine Führungsrolle.

Ein gutes Beispiel für die Herausforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten, die eine enge Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen bieten, ist die Kopplung physikalischer Prozesse an der Landoberfläche, der Grenzfläche zwischen den Umweltkompartimenten Boden (inkl. Vegetation) und Atmosphäre. Diese Grenzfläche bildet traditionell auch die Grenze zwischen Disziplinen wie der Hydrologie, der Hydrogeologie, der Bodenwissenschaften und der Pflanzenwissenschaften auf der einen Seite sowie der Meteorologie auf der anderen Seite. Aus Mangel an Daten und übergreifenden Fachkenntnissen werden Flüsse und Zustandsvariablen an solchen Grenzflächen von den einzelnen Disziplinen typischerweise als Randbedingungen behandelt. Bodenwissenschaftler, Hydrologen etc. verwenden Daten von Wetterstationen oder, z.B. für Projektionen auf der Basis von Klimaszenarien, die entsprechenden Daten aus den Klimasimulationen. Nicht selten werden Randflüsse bei der Modellkalibrierung optimiert (Hydrogeologie: Grundwasserneubildung) oder auch einfach negiert (Meteorologie: Gebietsabfluss).

Solche Vereinfachungen mögen ihre Berechtigung bei disziplinären Fragestellungen haben, sind aber nicht mehr akzeptabel, wenn es um die Darstellung des gesamten Wasserkreislaufs geht. Meteorologen sind sich der Bedeutung der Landoberfläche, speziell der Wasserspeicherung des Bodens, für die Ausbildung von Wetterprozessen inzwischen bewusst und beziehen das System Boden-Pflanze mit ein. (Hydro-)Geologen haben begonnen, mikrobielle Stoffumsätze einzubinden. Die grundlegenden Prozesse werden jedoch so stark vereinfacht, dass simulierte Variablen für mögliche Nutzer, z. B. aus den Boden- und Pflanzenwissenschaften oder auch der Agrarökonomie, kaum verwendbar sind. So wird z. B. der Wachstumszustand von Pflanzen, wichtig für die Aufteilung der eingestrahlten Energie in Verdunstung und fühlbaren Wärmefluss, nur indirekt über Strahlungstemperaturen und Reflektivitäten aus der Fernerkundung erfasst. Andererseits wird in typischen Pflanzenwachstumsmodellen die aktuelle Verdunstung aus der potenziellen Verdunstung über Reduktionsfunktionen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte berechnet, ohne dass berücksichtigt wird, wie sich hierdurch die Energieaufteilung an der Landoberfläche ändert. Die Energieaufteilung ist jedoch mit Prozessen in der atmosphärischen Grenzschicht und der Wolken- und Niederschlagsbildung rückgekoppelt. Über die mangelhafte Darstellung solcher Wechselwirkungen hinaus führt die Missachtung von Rückkopplungen zu Inkonsistenzen in den Randflüssen und damit zur Verletzung physikalischer Prinzipien wie in der Energie- und Massenerhaltung.

Eine enge Zusammenarbeit der benachbarten Disziplinen wird es ermöglichen, die Entstehung und die Heterogenität des sensiblen und latenten Wärmeflusses über einer Landschaft mit komplexer Orografie besser zu messen und zu simulieren. Zusätzlich steht zu hoffen, dass auch spezielle messtechnische Probleme wie z. B. die Schließung der Energiebilanz bei Eddy-Flussmessungen gelöst werden können. Auch die Erforschung längerfristiger Rückkopplungen wie jene zwischen Klimawandel, Landnutzung und Geomorphologie wird von einer engen Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen profitieren. Ein zusätzlicher Nutzen entsteht dadurch, dass sich auch disziplinäre Hypothesen und Modelle rigoros überprüfen lassen, wenn Randbedingungen von benachbarten Disziplinen genauer erfasst und z. B. über Prozessmodelle interpoliert werden.

3. Ausgangsbasis und neue Untersuchungsmethoden

Die terrestrische Ökosystemforschung Deutschlands mit ihren vorhandenen Beobachtungsplattformen einschließlich der Monitoringsysteme von Bund und Ländern bietet eine sehr gute Ausgangsbasis, um die genannten Herausforderungen aufzugreifen und sich maßgeblich an der Gestaltung europäischer Forschungsplattformen zu beteiligen. Die Einzeldisziplinen einer systemisch orientierten Ökosystemforschung sind insgesamt sehr gut aufgestellt (Adams, 1998) und in einigen Bereichen international führend. Die wissenschaftliche Kompetenz ist breit gefächert und verteilt sich auf Hochschulen, Institute der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, der Leibniz-Gemeinschaft und der Max-Planck-Gesellschaft sowie auf die Ressortforschung. Trotz ihres hohen Niveaus und ihrer großen fachlichen Breite kann die deutsche Ökosystemforschung aber wegen standörtlicher und fachlicher Aufsplitterung ihr Potenzial nicht ausschöpfen (Plieninger et al., 2008; Albarran et al., 2010). Bund und Länder haben umfangreiche qualitätsgesicherte Datenbasen (Boden, Geologie, Hydrologie) aufgebaut und betreiben im internationalen Vergleich dichte Messnetze sowie Messstationen, die in teilweise hoher zeitlicher Auflösung Daten liefern. Gleichwohl werden die Datenschatze aus Mangel an Ressourcen bislang nur unzureichend genutzt. Zudem ist es bislang kaum gelungen, diese naturwissenschaftlichen Daten mit sozioökonomischen Daten zu verbinden. Erste Ansätze hierzu liefern beispielsweise die „ecosystem services“ (TEEB, 2010).

3.1 Bestehende Standorte

Erste integrierende Ökosystem-Forschungszentren wurden in Deutschland in den 1980er-Jahren eingerichtet. Sie hatten das Ziel, im Rahmen von langfristig angelegten Forschungsprojekten effiziente Maßnahmen zur Umweltvorsorge zu konzipieren. Die Zentren wurden an Universitäten sowie Großforschungseinrichtungen etabliert, wie z. B. der *Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM)*, das *Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK)*, das *Forschungszentrum Waldökosysteme (FZW)* in Göttingen und das *Projektzentrum Ökosystemforschung (PZÖ)* in Kiel. Diese, auf die Beantwortung von damals aktuellen und national relevanten Fragestellungen fokussierten Zentren konzentrierten sich beispielsweise auf die Waldschadensforschung oder Themen des Boden- und Gewässerschutzes. Sie hatten einen erheblichen Einfluss auf politische und administrative Entscheidungen beziehungsweise gesetzliche Regelungen und führten darüber hinaus zur Stärkung des Bewusstseins um die Notwendigkeit systemarer Ansätze im Umweltschutz.

Hinzu kommt eine Vielzahl von Messstellen und Untersuchungsstandorten, die primär für behördliche Überwachungsaufgaben oder für fachspezifische Fragestellungen eingerichtet wurden. Bund und Länder betreiben im Rahmen ihrer Aufgaben flächenrepräsentative langjährige Untersuchungsstandorte, Messstellennetze beziehungsweise Monitoringprogramme in den Bereichen Wasser, Boden, Natur, Land- und Forstwirtschaft, Meteorologie und Luft und erheben kontinuierlich oder diskontinuierlich (in minütlicher bis mehrjähriger Auflösung) Mess- oder Analysedaten. Der Bereich der quantitativen und qualitativen Hydrologie umfasst beispielsweise Abflusspegel, Niederschlagsmessstellen, Lysimeterstationen, Gewässergütemessstellen und -stationen sowie Grundwassermessstellen. Für Abflüsse und Wasserstände liegen teilweise Messreihen von mehr als 100 Jahren vor.

Die Bodendauerbeobachtung, die landwirtschaftlichen Dauerversuche, das Agrarmeteorologische Netzwerk, das Biotop- und Artenschutzmonitoring, das Internationale Koordinationsprogramm zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder (*ICP-Forests*) sind seit fast 30 Jahren in Betrieb und liefern wichtige Grundlagen und Zeitreihendaten. Die Luftüberwachungsprogramme sind sowohl auf qualitative Luftverunreinigungen (Immissionsmessungen) als auch auf Belastungen der trockenen und nassen Deposition ausgerichtet.

Seit 2004 ist *LTER-D* als deutsches Netzwerk für ökologische und ökosystemare Langzeitforschung eine Plattform für Kommunikation, Dokumentation und Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der langfristigen, systemorientierten und interdisziplinären Umweltbeobachtung in Deutschland. Es besteht aus 20 *LTER*-Gebieten, die quer über ganz Deutschland die Ökosysteme vom Gebirge bis zum Wattenmeer umfassen. *LTER-D* ist Mitglied im internationalen Verbund *ILTER* sowie im europäischen *LTER-Europe*-Netzwerk (Müller et al., 2010).

Als Neugründungen sind die von der DFG finanzierten *Biodiversitätsexploratorien* und das *iDIV* zu nennen, mit einem integrierenden Ansatz verschiedener Fachdisziplinen der Biodiversitätsforschung. Die Biodiversitätsexploratorien sind über *LTER-D* international eingebunden.

Seit 2008 werden von der Helmholtz-Gemeinschaft die *TERENO*-Standorte ausgebaut, die sich in einem integrierenden Ansatz auf die Beobachtung und Vorhersage gekoppelter Stoffflüsse in terrestrischen Systemen konzentrieren. Ziel ist es, langfristige Datenreihen für die Validierung mathematischer Modelle zur Verfügung zu stellen, neue Technologien zur Erfassung wichtiger Systemzustände zu entwickeln sowie die Grundlage für die Entwicklung von Adaptationsstrategien im Rahmen des Klima- und Landnutzungswandels bereitzustellen. *TERENO*, *ICOS-D* und *LTER-D* werden an einigen Standorten zusammengeführt und die Messungen aufeinander abgestimmt.

Auf eine Zusammenstellung aller in Betrieb befindlichen Untersuchungsgebiete und Stationen wurde im Rahmen dieses Papiers wegen ihrer Vielzahl verzichtet. Stattdessen sind als exemplarische Beispiele einige aktuelle nationale und internationale Initiativen in Tabelle 1 (s. Anhang) aufgeführt. Solche Standorte liefern eine wichtige Basis für die langfristig ausgelegte terrestrische Umweltforschung und für die Ableitung von gesellschaftspolitischen Handlungsstrategien, beispielsweise im Hinblick auf Anpassungsstrategien an den Klimawandel und die Steuerung von Landnutzungsänderungen. Sie sind Referenzpunkte für die globale Beobachtung terrestrischer Ökosysteme.

Die exemplarische Übersicht zeigt jedoch auch, dass die überwiegende Mehrheit der Standorte bislang primär auf fachspezifische und kleinskalige Untersuchungen fokussiert ist und durch verschiedene Einrichtungen betrieben wird. Auch werden sozioökonomische Daten bisher so gut wie gar nicht mit naturwissenschaftlichen Daten über den Zustand und die Trends in den Umweltkompartimenten verbunden. Standorte, die auf einer größeren Untersuchungsskala die verschiedenen Kompartimente und Disziplinen integrieren, befinden sich noch in der Aufbau- (*ICOS*, *TERENO*) oder in der Planungsphase (*NOHA*). In Deutschland fehlt eine koordinierende und institutionenübergreifende Vorgehensweise, um das Potenzial der bestehenden Standorte und der durch sie gewonnenen Erfahrung für eine integrierende Ökosystemforschung auf nationaler wie internationaler Ebene effektiver zu nutzen und sie auch für zuständige Behörden nutzbar zu machen.

3.2 Neue Messmethoden und Verknüpfung der Skalen

Die rasante Entwicklung im Bereich von nicht invasiven Messsystemen (boden-, wasser-, luft- und satellitengestützt) und Sensornetzwerken in Kombination mit modernen Kommunikationssystemen und Geoinformationssystemen (GIS) eröffnet neue Perspektiven und Möglichkeiten, die zum besseren Verständnis und zur Vorhersage terrestrischer Prozesse beitragen werden, wie sie vor wenigen Jahren noch nicht denkbar waren.

Der Übergang von einer primär prozessorientierten, kleinskaligen „Punktmessung“ auf die gesamte Landoberfläche stellt weiterhin eine der größten Herausforderungen in der terrestrischen Ökosystemforschung dar – insbesondere wegen der hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität des Systems. Über das Zusammenspiel von Prozessen, die an den jeweiligen Punktmessungen bis ins Detail erforscht sind, wissen wir in dem dazwischen liegenden Raum, der mit Abstand den größten Teil der Erdoberfläche ausmacht, immer noch erstaunlich wenig.

Die satellitengestützte Fernerkundung der Landoberfläche hat als eine der wenigen flächendeckenden Messansätze prinzipiell das Potenzial, die Lücke zwischen den prozessorientierten/punktbezogenen Ansätzen der klassischen Ökosystemforschung und den in der Fläche notwendigen Antworten auf die gestellten wissenschaftlichen Herausforderungen zu schließen. Unterschiedliche Satelliten erfassen auf verschiedenen Skalen bereits heute die Landoberfläche, das Angebot wird sich in der Zukunft vergrößern. Dank qualitativer Verbesserung wie quantitativer Erweiterung in den letzten Jahren ist aus den Bildern der Vergangenheit inzwischen ein kalibrierter, reproduzierbarer, kontinuierlicher Strom von Messungen der Reflexions- und Emissionseigenschaften der Erdoberfläche geworden. Dieser kontinuierliche Datenstrom der Fernerkundung kann genutzt werden, um die Wechselwirkungen der Biosphäre (als Treiber der terrestrischen Stoffkreisläufe) mit geologischen, meteorologischen und bewirtschaftungsbedingten Parametern aufzuschlüsseln. Beispielsweise werden mikrobiell gesteuerte Stoffumsetzungen in Böden stark durch deren Bewirtschaftung, Temperatur und Niederschlag und die Bodentextur beeinflusst und sind Quellen atmosphärischer Spurengase, die wiederum die Produktivität und Verdunstungsleistung der Pflanzen beeinflussen. Eine geänderte Verdunstungsleistung wirkt sich wiederum lokal und regional auf Einstrahlungsverhältnisse und Niederschlag aus.

Die Präzisionslandwirtschaft setzt Sensoren, Automatisierungstechniken und Informationsverarbeitungssysteme zur prozessorientierten *in-situ*-Datenerhebung für möglichst ortsdifferenzierte und ressourcenschonende Produktionstechniken ein. Sie generiert dabei aber auch eine Vielzahl von Informationen zur Variabilität des Agrarökosystems.

Auf solche Art gewonnene Daten können jedoch nur genutzt werden, wenn es gelingt, sie gemeinsam mit dem Prozessverständnis aus den Observatorien und Exploratorien in Landoberflächenmodellen zu nutzen. Eine weltweite, flächendeckende Anwendung im „Dazwischen“ erfordert neue Ansätze zur fernerkundlichen Informationsgewinnung. Im Gegensatz zu den heute üblichen, lokal gültigen statistischen Regressionsansätzen müssen sie physikalische Zusammenhänge zwischen Landoberflächenprozessen und Heterogenitätsmustern und ihrer Abbildung im Strahlungstransfer erforschen und diese zur Grundlage universell gültiger Algorithmen zur Bestimmung von Struktur und Dynamik der Erdoberfläche machen. Hier zeigt sich, dass wegen der Größe und Komplexität nur disziplin- und ressortübergreifende Verbundforschung erfolgreiche Bearbeitung sichern kann.

3.3 Numerische Modellierung und Rechenkapazitäten

Erst durch die rasante Entwicklung im Bereich des wissenschaftlichen Rechnens und den Einsatz von Hoch- und Höchstleistungsrechnern ist es möglich geworden, Systeme dieser Komplexität mit der benötigten zeitlichen und räumlichen Auflösung zu simulieren. Modelle, die Wasser- und Energieflüsse im System Atmosphäre-Boden/Pflanze-Untergrund darstellen, müssen komplizierte, mindestens zweidimensionale Strömungsfelder in der Atmosphäre und im wassergesättigten und teilgesättigten Untergrund berechnen. Diese Strömungsfelder sind über komplizierte Mechanismen des Energie- und Stoffaustausches an der Landoberfläche (Boden-Pflanze-System) miteinander gekoppelt. Ein weiterer wichtiger Bereich mit komplizierten Wechselwirkungen existiert zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern (hyporheische Zone).

Um Umsetzungen und den Transport von Stoffen zu berechnen, werden an die Strömungsfelder Modelle unterschiedlicher Komplexität angekoppelt, die von einfachen Übertragungsfunktionen bis zu vollgekoppelten thermodynamischen Gleichungen mit Phasenumwandlungen (Auflösung, Fällung) einschließlich der Berücksichtigung der Reaktionskinetik reichen. Fast ebenso rechenintensiv sind räumlich explizite ökonomische Modelle zur Simulation von Landnutzungsänderungen (Multi-Agenten-Systeme), die zumindest bei langfristigen Rechnungen wie Klimaprojektionen mit den biophysikalischen Modellen rückgekoppelt werden müssen.

Ein Mehrfaches dieser schon an die Grenzen der heutigen Rechenkapazitäten stoßenden Rechenleistung wird für inverse Simulationen und die Datenassimilation benötigt. Inverse Simulationen dienen zur Schätzung der räumlichen Verteilung von Parametern, die vor allem im Untergrund (Grundwasser) mit direkten Messungen kaum zugänglich sind. Die Datenassimilation ist bei hochaufgelösten Wetter- und Klimasimulationen zur Abschätzung von Anfangsfeldern und Randwerten sowie für Reanalysen unverzichtbar.

Nach heutiger Auffassung sollten Simulationen, ähnlich wie in der Statistik üblich, mit Konfidenzbereichen versehen werden, gerade wenn sie, meist unter verschiedenen Szenarien, als Grundlage für politische und ökonomische Entscheidungen dienen sollen. Bei großen numerischen Modellen werden die Konfidenzbereiche typischerweise mit Monte-Carlo- oder ähnlichen Techniken erzeugt, die zahlreiche Simulationen mit dem vollgekoppelten Modell und damit höchste Rechenleistung erfordern.

4. Ziele und Zweck einer integrierenden Infrastruktur

Zukünftige integrierende Forschungsinfrastrukturen der terrestrischen Ökosystemforschung müssten die im Folgenden aufgeführten Anforderungen erfüllen:

- ▶ eine systemische und somit kompartiment- und skalenübergreifende Langzeitforschung unterstützen;
- ▶ die verschiedenen Forschungsinstitutionen Deutschlands besser vernetzen, als es gegenwärtig der Fall ist;
- ▶ als Basis angelegt sein, um die Zusammenarbeit mit den staatlichen Ministerien und Behörden auf Bundes- und Landesebene zu intensivieren;
- ▶ Methoden und Dienste zur Datenverfügbarkeit entwickeln, die beispielhaft Messdaten und Untersuchungsergebnisse in standardisierter und qualitätsgesicherter Form anbieten;
- ▶ eine Standardisierung und Harmonisierung von Untersuchungsmethoden und -verfahren ermöglichen;
- ▶ das Potenzial besitzen, in internationale Forschungsnetzwerke integriert zu werden.

In den anschließenden Abschnitten werden Vorschläge für den Aufbau eines deutschen Netzwerks „Infrastruktur für terrestrische Ökosystemforschung“ entwickelt. Diese umfassen die Bereiche Untersuchungsstandorte, Datenmanagement, internationale Vernetzung sowie Ausbildung und Erkenntnistransfer.

4.1 Beobachtungs- und Experimentierplattformen

Kernelement einer integrierenden nationalen Forschungsinfrastruktur sind Beobachtungs- und Experimentierplattformen. Sie umfassen regional lokalisierte Landschaftsausschnitte mit hochinstrumentierten Standorten für die Erfassung der zeitlichen und räumlichen Variabilität von Systemzuständen und der kompartimentübergreifenden Stoffflüsse. Die Untersuchungsstandorte sollten möglichst in ein Wassereinzugsgebiet integriert sein, da dies die Ableitung von Massen- und Energiebilanzen des Gesamtgebiets vereinfacht.

Im Zuge der Etablierung von integrierten terrestrischen Infrastrukturen ist eine engere Abstimmung zwischen Untersuchungsstandorten von Forschungsinstitutionen mit bestehenden Grundlagenerhebungen (z. B. Bodenkartierung, digitale Geländemodelle), Messstationen und Beobachtungsflächen der öffentlichen Einrichtungen wünschenswert, um Synergien hinsichtlich der Datengrundlage wie auch der Auswertung zu nutzen. Insbesondere die Wartung und Sicherung der Systeme könnten durch eine gegenseitige Unterstützung wesentlich verbessert werden.

Die Beobachtungs- und Experimentierplattformen sollen Freiflächen und Standorte zur Durchführung von zielgerichteten Feldversuchen mit kontrollierten Faktorvariationen (z. B. Wasser- und Nährstoffangebot, CO₂-Konzentration) bereitstellen, in denen Wirkungsfaktoren mensch-

licher Eingriffe wie die Bodenbearbeitung oder Düngung ermittelt werden können, die für die Landnutzungsmodellierung unerlässlich sind.

Da in Deutschland eine breite Basis von Untersuchungsstandorten besteht, sollte diese Basis möglichst effektiv genutzt – das heißt vernetzt – werden, um zu einer Abdeckung mit repräsentativen Standorten zu gelangen. Repräsentanz umfasst hierbei: Berücksichtigung der wesentlichen Landschaftsformen und Landnutzungsarten inklusive des urbanen Raums und der verschiedenen Boden- und Klimaregionen Deutschlands.

In einem ersten Schritt müssen die geeigneten existierenden Standorte erfasst und zu einem Infrastrukturnetzwerk zusammengefasst werden. In einem zweiten Schritt wäre dann zu untersuchen, ob zusätzliche Standorte im Hinblick auf nationale und internationale Forschungsfragen beziehungsweise Repräsentanz von Regionen benötigt werden.

Ausgehend vom Stand der jeweiligen Instrumentierung müssen die Untersuchungsgebiete eines Infrastrukturnetzwerks der jeweiligen Fragestellung angepasst mit den modernsten Messtechnologien ausgestattet werden, damit sie einheitlich die folgenden Anforderungen erfüllen können:

- ▶ Eine räumlich und zeitlich hochauflösende Beobachtung ausgewählter Systemzustände und Stoffflüsse. Die Stoffflüsse von Wasser, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphat und ausgewählten, durch den Menschen eingetragenen Substanzen sind kontinuierlich zu messen. In diesem Zusammenhang sollte der Einsatz von Umwelt-Tracern, wie z. B. Isotopenmessungen, verstärkt werden.
- ▶ Eine größtmögliche Reduktion manueller Probenahmen bei der Erfassung von Kerndaten erfolgt durch den Einsatz bodengestützter Beobachtungsmethoden, wie z. B. Feuchtesensoren, *in-situ*-Datenloggern, Oberflächengeophysik, eine multitemporale und mehrskalige Beobachtung durch die Kombination von bodengestützten Beobachtungsmethoden mit Fernerkundungsmethoden.
- ▶ Eine Reduktion der manuellen Probennahme ist auch bei der Erfassung der Biodiversität möglich, z. B. durch *barcoding*, Metagenomanalysen (Jansson, 2011) oder durch *environmental* DNA-Analysen.

Zur Komplettierung der ortsfesten Messeinrichtungen sollte ein Gerätepool mit mobilen Messgeräten etabliert werden, die auch an verschiedenen Standorten genutzt werden können. Hierzu gehören beispielsweise: Radiometer, Georadar, EMI, 3-D-Lidar, DTS, DirectPush, Isotopen-Analysatoren und Bodensensorsysteme. Dies würde die Durchführung von gezielten, zeitlich befristeten Messkampagnen im Rahmen einer standardisierten Vorgehensweise und eines standardisierten Datenmanagements unterstützen.

4.2 Zentrale Datenplattformen und Datenmanagement

Die bislang existierenden Infrastrukturen der terrestrischen Ökosystemforschung arbeiten und forschen zurzeit mit relativ wenig Abstimmung untereinander. Folglich wurden Daten, Untersuchungsmethoden, Auswertungsergebnisse und numerische Modellentwicklungen der verschiedenen Forschungsstandorte nur begrenzt ausgetauscht.

Eine wesentliche Ausgangsbasis zum Management von terrestrischen Systemen liegt im Aufbau einer gemeinsamen Wissensbasis, die zu einem großen Teil aus erhobenen Daten und Messungen besteht. Die erfolgreichen, engen Kooperationen zwischen Behörden und wissenschaftlichen Institutionen innerhalb der Forschungsaktivitäten *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)* sowie zwischen BMBF, BMVBS und Länderprojekten im Rahmen der Förderprogramme *KLIMZUG*, *KLIWAS* und *KLIFF* haben gezeigt, dass ein schneller, unkomplizierter und unbürokratischer Zugang zu existierenden Datenbanken möglich ist. Innerhalb dieser gemeinsamen Projekte – die jedoch keine gemeinsamen Infrastrukturen als Grundlage hatten – konnte ein deutlicher Wissensgewinn für alle Beteiligten erzielt werden.

Die DFG-Biodiversitätsexploratorien haben ein zentrales Datenmanagementsystem, in das erhobene Forschungsdaten eingespeist und miteinander vernetzt werden können. Die Dateninfrastruktur wird derzeit in einem von der DFG finanzierten Projekt weiter professionalisiert, um eine für andere Verbundprojekte verfügbare Informationsinfrastruktur zu schaffen. Eingebettet ist das Projekt in Bestrebungen der Uni Jena/MPI, ein Kompetenzzentrum für Forschungsdatenmanagement aufzubauen.

Im Rahmen von *TERENO* wurde ein zentrales Datenportal *TEODOOR* eingerichtet. Es ist der gemeinsame Zugangspunkt zu den dezentralen Datenbanken der in *TERENO* involvierten Zentren und Institutionen. Die Daten aus *TERENO* werden allen interessierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern oder Institutionen auf Basis eines Abkommens zum Datenmanagement zur Verfügung gestellt. Das Abkommen, das die Standards der Datenübertragung festlegt, garantiert die Kompatibilität des Datenzugangs und gewährleistet eine möglichst effiziente Datensicherung und -prozessierung, die Nutzung vereinbarter Daten- und Metadatenstandards sowie die Wahrung der Datenurheberrechte. Der Datenaustausch wird über Webservices nach Spezifikationen des *Open Geospatial Consortium (OGC)* realisiert. Die Metadaten werden in einer separaten Datenbank gespeichert und über den OGC-kompatiblen Katalogdienst *WCAS* im Internet veröffentlicht.

Die rasante Entwicklung des *Next Generation Sequencing (NGS)* von Metagenomen und Reinkulturen von Arten in der Medizin und Ökologie führt zu einer Datenflut, die sich mit aktuellen Rechnersystemen kaum noch effizient und zeitnah auswerten lässt. Hier bietet sich die Nutzung von Hochleistungsrechnern (High Performance Computer, HPC) an, die mithilfe der Anpassung der Algorithmen zur „Assemblierung“ und zum „Mapping“ der NGS-Daten an die HPC-Hardwarearchitektur neue Dimensionen für eine schnelle und zuverlässige Datenanalyse erreichen wird. Das Potenzial der HPC wird insbesondere dann ausgeschöpft werden, wenn das Metagenom einer Standortprobe mit mehr als 10 000 Arten assembliert, Gene erkannt und Funktionen vorhergesagt werden müssen.

Diese Beispiele sollten als Anlass gesehen werden, im Bereich der Infrastruktur für terrestrische Forschung eine kontinuierliche Öffnung der bestehenden behördlichen und wissenschaftlichen Datenarchive zu vereinbaren – unabhängig von gemeinsam getragenen Einzelprojekten, wie es derzeit in der Regel als Eingangsvoraussetzung gefordert wird.

Für den Zugang zu den umfassenden und verteilten Datenbeständen ist der Betrieb eines Metainformationssystems als zentrale Kommunikations- und Datenmanagementplattform für einen effizienten Informationsaustausch notwendig. Wichtig sind hier Auskünfte über existierende Daten, ihren Lagerungsort, gegebenenfalls detaillierte Inhalte, Maßstabsbereich, For-

mate, Datenschutz, Datenzugang, Nutzungsbedingungen und Ansprechpartner. Der Aufbau und Betrieb eines solchen Metainformationssystems ist sehr aufwendig. Dies betrifft vor allem die langfristige Pflege der zeitlich sehr dynamischen Datenbestände. Daher ist in einem ersten Schritt eine Verzahnung bestehender nationaler und internationaler Metainformationssysteme und Datenplattformen (PortalU, GDI-DE, infoGEO, D-GEO, WasserBLICK, INSPIRE u.v.a.) im Hinblick auf den Datenbedarf der terrestrischen Forschung anzustreben. In einem zweiten Schritt sind die Ziele, die durch diese Verzahnung nicht erreicht werden können, durch geeignete Maßnahmen zu implementieren. Außerdem müssen geeignete Anreize geschaffen werden, um die Datenbesitzer anzuhalten, ihre Datenbestände zeitnah zu dokumentieren und auf einer zentralen Kommunikations- und Datenmanagementplattform bereitzustellen. Die auf Basis terrestrischer Daten erzielten Ergebnisse aus der Forschung müssten im Gegenzug ebenfalls frei zugänglich zurückfließen und zum Bestandteil der Metainformation für terrestrische Forschung werden.

4.3 Internationale Vernetzung

Für eine stärkere Integration deutscher Untersuchungsstandorte in internationale Initiativen ist es notwendig, deren Sichtbarkeit zu erhöhen. Hier könnte ein deutsches Infrastrukturnetzwerk mit seinen Konzepten zur integrierten Beobachtung wichtige Impulse liefern und auch als nationale Kontaktstelle fungieren. Eine zentrale Rolle spielt in diesem Zusammenhang ebenfalls ein zentraler Informations- und Datenzugang.

Die Zusammenarbeit mit bestehenden oder geplanten *ESFRI*-Projekten wie beispielsweise *ICOS*, *ANAEE*, *NOHA*, *LifeWatch* sowie anderen europäischen Aktivitäten (z.B. *ILTER-Europe*) könnte von einem deutschen Infrastrukturnetzwerk mit einer breiteren Repräsentanz unserer Forschungslandschaft unterstützt werden. In Hinblick auf die USA wäre eine engere Vernetzung mit *NEON* und *CZO* aufgrund der guten bestehenden wissenschaftlichen Kontakte Erfolg versprechend.

4.4 Ausbildung und Erkenntnistransfer

Integrierende Forschungsinfrastrukturen bilden eine ideale Plattform, um Studierenden und Doktoranden einen Zugang zu modernst ausgestatteten Forschungsstandorten zu ermöglichen. Durch den fachübergreifenden Ansatz kommen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler leichter in Kontakt mit anderen Fachdisziplinen und deren Arbeitsweisen. Weiterhin ermöglichen entsprechende Standorte, aber auch eine kontinuierliche Weiterbildung von etablierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der Forschung wie auch von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus Behörden hinsichtlich aktueller Entwicklungen der verschiedenen Fachdisziplinen. Letzteres könnte den wechselseitigen Austausch von Forschung und Praxis wesentlich beschleunigen und somit verbessern.

5. Empfehlungen zur Umsetzung

Um ein repräsentatives und international konkurrenzfähiges Netzwerk von Untersuchungsstandorten in Deutschland aufzubauen, schlagen wir ein zweistufiges Verfahren vor, in dem sich zuerst geeignete, bestehende Standorte zu einem Netzwerk zusammenschließen; in einem zweiten Schritt ist zu evaluieren, inwieweit ein solches Netzwerk um neue Standorte ergänzt werden muss. Eine solche Vernetzung kann nur im Rahmen einer gemeinsamen Anstrengung und Unterstützung aller relevanten Akteure gelingen. Hierzu gehören die unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen und die universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie die Forschungsförderer, weiterhin die Ressortforschung und die betreffenden Bundes- und Landesbehörden.

5.1 Organisation

Die Autoren dieser Stellungnahme empfehlen der Allianz der Wissenschaftsorganisationen, das Thema „Infrastruktur für terrestrische Ökosystemforschung“ im Rahmen ihres Forums für Forschungsförderung aufzugreifen. Um ein deutsches Infrastrukturnetzwerk zu initiieren, wird angeregt, eine operativ tätige Arbeitsgruppe mit Vertretern der Allianz-Mitglieder zu etablieren, ergänzt durch Repräsentanten relevanter Bundes- und Landeseinrichtungen sowie der Ressortforschung. Dabei kommt dem BMBF und dem BMU eine zentrale Bedeutung zu, da die langfristig angelegte Forschungsförderung in den Aufgabenbereich des BMBF fällt; die nachhaltige Sicherung unserer Umwelt bildet die Kernaufgabe des BMU.

5.2 Instrumente

Die Aufgabe der Arbeitsgruppe liegt im Aufbau des beschriebenen Infrastrukturnetzwerks. Dabei sind in einem ersten Schritt die Rahmenbedingungen wie bestehende Infrastrukturen, Datengrundlage und -verfügbarkeit zusammenzustellen. Hierauf aufbauend könnte im Rahmen eines Wettbewerbs ein Initialnetzwerk etabliert werden, in dem sich bestehende Plattformen um Aufnahme in den Verbund bewerben. Voraussetzung für die Aufnahme in das Netzwerk wäre neben einer geeigneten vorhandenen Infrastruktur der Wille und die Kompetenz, die eigenen Untersuchungen verstärkt in eine kompartimentübergreifende, systemische Forschung zu integrieren sowie sich an der Weiterentwicklung gemeinsamer Forschung, des Datenmanagements und – wo möglich – an internationalen Plattformen zu beteiligen. Ein solches Netzwerk könnte durch weitere Wettbewerbsrunden sukzessive erweitert werden. Die Arbeitsgruppe hätte im Rahmen dieses Prozesses auch die Aufgabe, bei der Auswahl der Bewerberinstitutionen auf einen Ausgleich bezüglich der unterschiedlichen Ausgangssituationen von außeruniversitären, universitären und behördlichen Gruppen zu achten. Falls erkennbar wird, dass im Hinblick auf nationale und internationale Forschungsfragen oder hinsichtlich der Repräsentanz von Regionen bestimmte Untersuchungsstandorte oder auch Instrumentierungen fehlen, müssten diese gezielt neu eingerichtet werden.

Auch die Entwicklung von zentralen Datenplattformen und Managementstrukturen für die terrestrische Ökosystemforschung erfordert als ersten Schritt eine Sichtung der bisherigen

Datenbanken und Managementansätze. Dabei ist zu berücksichtigen, welche Datenhaltungsstrukturen von den Behörden und wissenschaftlichen Institutionen bereits verwendet werden und wie eine Verknüpfung mit bereits bestehenden Datenbanken durchgeführt werden kann. Daher wäre es sinnvoll, dass unter dem Dach der oben genannten Arbeitsgruppe eine **Expertengruppe** die Ausarbeitung eines Konzepts „**Datenmanagement**“ übernimmt.

Die Einrichtung der integrierenden Forschungsplattformen ist von zentraler Bedeutung für die Entwicklung umfassender Umwelt-System-Theorien. Die hohe Komplexität interagierender abiotischer und biotischer Rückkoppelungen terrestrischer ökologischer Systeme erfordert eine langfristige kompartiment- und skalenübergreifende Datenerfassung und -verarbeitung. Eine solche systemische Wissensgrundlage erlaubt die modellgestützte Entwicklung und kontinuierliche Überprüfung von Umwelt-System-Theorien, verlässlichere Prognosen von Dynamik, Resilienz und Adaptation terrestrischer Ökosysteme in einer sich ändernden Umwelt. Um dieses Ziel von Beginn an zu fördern, wird die Einrichtung einer **Expertengruppe** „**Umwelt-System-Theorien**“ im Rahmen der oben beschriebenen Allianz-Arbeitsgruppe angeregt.

Zusätzlich sollte unter dem Dach der oben genannten Arbeitsgruppe eine **Expertengruppe** „**Internationale Vernetzung**“ gebildet werden mit der Aufgabe, ein Konzept zu entwickeln, wie bestehende Standorte beziehungsweise Standorte eines deutschen Netzwerks frühzeitig in internationale Initiativen eingebettet werden können. Ein solches Konzept sollte weiterhin Empfehlungen beinhalten, wie die deutsche Wissenschaft stärker als bisher die Entwicklung internationaler Initiativen gestalten kann.

Anhang

Literatur

- J. Adams, 1998: Benchmarking international research. *Nature*, 396 (6712): 615–618.
- P. Albarran, J. Crespo, I. Ortuno, J. Ruiz-Castillo, 2010: A comparison of the scientific performance of the U.S. and the European Union at the turn of the 21st century. *Scientometrics*, 85: 329–344.
- DFG, 2005: Perspektiven der agrarwissenschaftlichen Forschung / Future Perspectives of Agricultural Science and Research. Denkschrift/Memorandum. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- T. Doré, D. Makowski, E. Malézieux, N. Munier-Jolain, M. Tchamitchian, P. Tittone, 2011: Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34: 197–210.
- EIA, 2010: U.S. Energy Information Administration / International Energy Outlook.
- FAO & OECD, 2009: Agricultural outlook 2009–2018. OECD, Paris.
- H. C. J. Godfrey, J. Pretty, S. M. Thomas, E. J. Warham, J. R. Beddington, 2011: Linking policy on climate and food. *Science*, 331: 1013–1014.
- ICSU, 2010: Earth System Sciences for Global Sustainability: The Grand Challenges. International Council for Sciences, Paris.
- IPCC, 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin.
- J. Jansson, 2011: Towards „Tera-terra“: Terabase sequencing of terrestrial metagenomes. *Microbe*, ASM news 6, 309–315.
- F. Müller, C. Baessler, H. Schubert, S. Klotz, 2010: Long-term ecological research: between theory and application. Springer, Dordrecht.
- C. Ohl, B. Hansjürgens, 2011: Environment. In: German Data Forum (Ed.): Building on Progress. Expanding the Research Infrastructure for the Social, Economic, and Behavioral Sciences, Vol. 2, pp. 1217–1229.
- T. Plieninger, E. Barlösius, R. F. Hüttl, 2008: Die deutsche Agrarwissenschaft: Lokale Probleme, globale Forschungsfragen. *GAIA*, 17: 289–291.
- J. Rockström, W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, J. A. Foley, 2009: A safe operating space for humanity. *Nature*, 461: 472–475.
- RS, 2009: Royal Society Policy Document. Reaping the benefits. Science and the sustainable intensification of global agriculture. In: D. Baulcombe, I. Crute, B. Davies, J. Dunwell, M. Gale, J. Jones, J. Pretty, W. Sutherland, C. Toulmin, N. Green, S. Mee, A. J. Simpson, J. Stilgoe (Eds). The Royal Society Science Policy, London, 6–9 Carlton House Terrace, SW1Y 5AG.
- TEEB, 2010: Die Ökonomie von Ökosystemen und Biodiversität: Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren (TEEB, 2010: The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature). Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TEEB – eine Synthese. Münster.
- UBA, 2003: Synopse von Ansätzen zur systemaren Umweltforschung – deutsche Beiträge zum Ökosystemmanagement. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 200 11 201, UBA-FB 000536. ISSN 0722 – 186X.
- UN, 2009: World population prospects: the 2008 revision population database. Available online at: <http://esa.un.org/unpp/index.asp?panel=1>.

J. von Braun, 2007: The World Food Situation: New Driving Forces and Required Actions. International Food Policy, Research Institute, Washington, DC, USA.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), 2011: Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin.

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

Allianz der Wissenschaftsorganisationen	Mitglieder sind die Alexander von Humboldt-Stiftung (AvH), die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD), die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG), die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) sowie die Hochschulrektorenkonferenz (HRK), die Leibniz-Gemeinschaft, die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) und der Wissenschaftsrat (WR).
ANAEE	Analysis and Experimentation on Ecosystems
BITÖK	Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (1989–2004)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
CZO	Critical Zone Observatory
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DirectPush	Eine geophysikalische Untersuchungsmethodik, die mit kleinen Maschinen kleinkalibrige Mess- und Probenahmesonden schnell und kosteneffizient in den Untergrund vortreibt.
D-GEO	Deutscher Beitrag zur Group on Earth Observations und zum Aufbau des Global Earth Observation System of Systems
DTS	Distributed Temperature Sensing. DTS verwendet Glasfaserkabeln zur Bestimmung von Bodenfeuchte und -temperatur.
EMI	Electric Magnetic Induction, geophysikalisches Messverfahren zur nicht invasiven Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeiten von Böden und Sedimenten
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures. ESFRI bewegt sich als multidisziplinäre Plattform für die EU-Länder auf einer Art Metaebene der europäischen Forschungsaktivitäten.
FAM	Forschungsverbund Agrarökosysteme München (1990–2003)
FAO	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
FLUXNET	Globales Netzwerk von Standorten mit mikrometeorologischen Messtürmen mit Eddy-Kovarianz-System zur Erfassung des Energie-, Wasser- und Spurengasaustauschs zwischen der Landoberfläche und der bodennahen Atmosphäre. Ziel ist die Bereitstellung von Informationen zur Validierung von Fernerkundungsprodukten für Nettoprimärproduktion, Evaporation und Energieabsorption.
FZW	Forschungszentrum Waldökosysteme an der Universität Göttingen (1989–2003)
GCEF	Global Change Exploratory Facility
Georadar	engl. Ground Penetrating Radar (GPR) oder Radio Echo Sounding (RES), wird zur Charakterisierung des Untergrundes eingesetzt und erfasst insbesondere die elektrische Permittivität durch Reflexionsmessungen von gesendeten elektromagnetischen Wellen.
GDI-DE	Die Geodateninfrastruktur Deutschland ist eine Initiative von Bund, Ländern und Kommunen. Die Partner vernetzen Geodaten aus ganz Deutschland. Politik, Wirtschaft und Privatpersonen können auf diese Daten zugreifen, die eine zuverlässige Grundlage für effiziente Entscheidungen bieten.
HPC	High Performance Computer
ICOS	Integrated Carbon Observation System
ICP-Forests	Internationales Kooperationsprogramm zur Erfassung und Überwachung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Wälder

iDIV	Forschungszentrum der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zur „Integrativen Biodiversitätsforschung“ (seit 1.10.2012). http://www.idiv-biodiversity.de/
infoGEO	Internetportal der Staatlichen Geologischen Dienste. http://www.geokommission.de/
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe. Richtlinie zum Aufbau einer europäischen Geodateninfrastruktur
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KLIFF	Klimafolgenforschung in Niedersachsen. Anpassungsstrategien an den Klimawandel
KLIMZUG	BMBF-Verbundprojekt: Klimawandel in Regionen. Mit KLIMZUG sollen ausgehend von konkreten lokalen Anforderungen innovative Anpassungsstrategien an den Klimawandel und damit einhergehende Wetterextreme für Regionen entwickelt werden.
KLIWAS	Ressortforschungsprogramm des BMVBS: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen
LAI	Leaf Area Index, Blattflächenindex
3-D-Lidar	Light detection and ranging, eine dem Radar verwandte Methode zur entfernungs aufgelösten Messung atmosphärischer Variablen
LifeWatch	Research Infrastructure: E-Science and Technology Infrastructure for Biodiversity Data and Observatories
ILTER	ILTER steht für ökosystemare Langzeitforschung (Long-Term Ecosystem Research): Forschung, die sich mit der Gesamtheit von Ökosystemen, der Entwicklung von Prozessen und Strukturen über Jahrzehnte befasst.
ILTER-D	Long-Term Ecosystem Research-Deutschland. Das deutsche Netzwerk für ökologische und ökosystemare Langzeitforschung ist eine Plattform für Kommunikation, Dokumentation und Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der langfristigen, systemorientierten und interdisziplinären Umweltbeobachtung in Deutschland. ILTER-D ist Mitglied im internationalen LTER-Verbund ILTER sowie im regionalen Netzwerk LTER-Europe. ILTER und LTER-Europe sind offene Verbünde, die sich ausschließlich durch die Verpflichtung auf gemeinsame Ziele definieren. LTER-Europe konzentriert sich auf eine gemeinsame Forschungsstrategie sowie die Festlegung von Kriterien und Standards für die europäischen nationalen Netzwerke.
NEON	National Ecological Observatory Network der U.S. National Science Foundation
NGS	Next Generation Sequencing
NOHA	Network of Hydrological Observatories, das EU-Projekt soll den Wasserhaushalt in vielen Regionen Europas erfassen.
OGC	Das Open Geospatial Consortium ist eine 1994 gegründete gemeinnützige Organisation, die sich zum Ziel gesetzt hat, die Entwicklung von raumbezogener Informationsverarbeitung (insbesondere Geodaten) auf Basis allgemeingültiger Standards zum Zweck der Interoperabilität festzulegen. Das OGC setzt sich aus Mitgliedern von Regierungsorganisationen, privater Industrie und Universitäten zusammen.
PortalU	Umweltportal Deutschland. Internetserviceangebot der Umweltverwaltungen des Bundes und der Länder Deutschlands. http://www.portalu.de/
PZÖ	Projektzentrum Ökosystemforschung in Kiel
Radiometer	Detektor zur Messung der Helligkeitstemperatur von Oberflächen
Reanalyse	Rekonstruktion der Bedingungen in Atmosphäre und an der Erdoberfläche durch Kombination von historischen Beobachtungen und Vorhersagemodell. Besonders bekannt ist die Europäische Reanalyse ERA-40, die das Klima für den Zeitraum von 1957 bis 2001 beschreibt.
TDR-Sonden	Sonden zur Messung des Bodenwassergehalts
TanDEM-X	Die TanDEM-X-Mission (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement) basiert auf zwei nahezu identischen Erdbeobachtungssatelliten: TerraSAR-X und TanDEM-X. Beide sind mit einem modernen, leistungsfähigen Radarsystem, dem Synthetic Aperture Radar (SAR), ausgestattet. Mit diesem kann die Erde nicht nur bei Tageslicht, sondern auch bei Nacht und Wolkenbedeckung beobachtet werden.
TEODOOR	Datenportal der TERENO-Beobachtungsplattform

TERENO	TERrestrial ENvironmental Observatories. Initiative der Helmholtz-Gemeinschaft, zielt auf die Schaffung einer Beobachtungsplattform, die verschiedenste terrestrische Observatorien in unterschiedlichen Regionen verbindet. 2008 wurden drei Observatorien errichtet.
TERENO-MED	Basierend auf den Konzepten und Erfahrungen des TERENO-Projektes in Deutschland wurde ab 2012 damit begonnen, TERENO-MED, ein Observatorien-Netzwerk speziell für den mediterranen Raum, aufzubauen, wobei der Schwerpunkt der Aktivität zunächst auf der Untersuchung des Wasserkreislaufs liegt.
UN	United Nations
WasserBLICK	Ein Bund-Länder-Informationportal der Bundesrepublik Deutschland zum Themenschwerpunkt Europäische Wasserrahmenrichtlinie
WCAS	Web Catalogue Service (WCAS), auch Catalogue Service for the Web (CSW) genannt. Internet-gestützte Veröffentlichung von Informationen über Geonanwendungen, Geodienste und Geodaten (Metadaten) in einer Geodaten-Infrastruktur. Der Dienst enthält selbst keine Geodaten, sondern lediglich beschreibende Metadaten. Dieser Geodienst wurde durch das Open Geospatial Consortium (OGC) spezifiziert.

Tabelle 1: Exemplarische Beispiele nationaler und internationaler Plattformen für die Langzeitbeobachtung terrestrischer Systeme

Plattform	Kompartiment	Landnutzung	Skala	Status	Exp.	Obs.	Hyp.	RS	Laufzeit*	Organisation
Nationale Plattformen – Deutschland										
ICOS-D	PE/BIO/AT	W/A/G	P/F	G	-	+	+	-	2008–2031	BMBF
Boden-Dauerbeobachtung (BDF)	PE/BIO/HY	W/A/G	P/F	L	-	+	-	-	Start 1982	Länder
Bodenzustandserhebung Wald (BZE)	PE/BIO/HY	W	P/F	L	+	+	-	-	Start 1987	Länder
Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW)	PE/BIO/HY	A/G	P/F	L	+	+	-	-	Start 2011	Thünen-Institut
Landwirtschaftliche Dauerversuche	PE/BIO	A/G	P/F	L	+	+	+/-	-	unterschiedliche Laufzeiten	Länder
ICP-Forest Level	PE/BIO/AT	W	P/F	L	-	+	-	-	Länder	Länder
TERENO	PE/BIO/AT/HY/GE	W/A/G	P/F/E/R	L	+	+	+	+	Start 2008	HGF
GCEF	PE/BIO	A/G	P/F	G	+	-	+	-	Start 2012	HGF
COSYNA	BIO/AT/HY	Meer	R	L	-	+	-	+	Start 2009	HGF
DFG-Biodiv. Exploratorien	PE/BIO	W/A/G	P/F/I	L	+	+	+	-	Start 2006	DFG
Agrarmeteorologisches Netzwerk	PE/BIO	W/A/G	P/F	L	-	+	-	-	unterschiedliche Laufzeiten	DWD
LTER-D	PE/BIO	W/A/G	P/F/I	L	-	+	+	+	Start 2004	LTER
WasserBLiCK, WISE	HY	W/A/G	P/F/E/R	L	-	+	-	-	Start 2004	Bund und Länder
Nationale Plattformen – Andere Länder										
MISTRALS	PE/BIO/AT/HY	W/A/G	P/F/R	L	+	+	+	+	2007–2020	CNRS, France
NATIONAL CRITICAL ZONE OBSERVATORY PROGRAME	PE/BIO/AT/HY	W/A/G	P/F/E/R	L	+	+	+	-	Start 2007	USA
NEON	PE/BIO/AT/HY	W/A/G	P/F/E/R/G	L	-	+	-/+	+	2012 Start der Konstruktionsphase	USA
Internationale Plattformen										
ANAE	PE/BIO	W/A/G	P/F/R	G	+	+	+	+	2010 Start der Vorbereitungsphase	ESFRI
ICOS	PE/BIO/AT/HY	W/A/G	P/F/R/G	L	-	+	+	-	Start 2014	ESFRI
IAGOS	AT/BIO	-	R	L	-	+	+	-	Start 2012	ESFRI
NOHA	PE/BIO/AT/HY	W/A/G	P/F/E/R	G	+	+	+	+	in Planung	ESFRI
SOILTREC	PE/HY	W/A/G	P	L	+	+	+	-	2009	EU
LTER-Europe	PE/BIO/HY	W/A/G	P/F/E/R	L	-	+	-	-	2003	LTER
TERENO-MED	PE/BIO/AT/HY	W/A/G	P/F/E	G	+	+	+	+	Start 2012	HGF

Legende

Kompartiment:	AT = Atmosphäre, BIO = Biosphäre, HY = Hydrosphäre, PE = Pedosphäre, GE = Geosphäre
Landnutzung:	A = Acker, W = Wald, G = Grasland
Skala:	P = Plot (10^2 m ²), F = Feld (10^4 m ²), E = Einzugsgebiet (10^9 m ²), R = Region (10^{10} m ²), G = Global/Kontinental
Status:	G = Geplant, L = Laufend
Methodik:	Exp. = Experimente, Obs. = Observations (Beobachtungen), Hyp. = hypothesenbasiert, RS = Remote Sensing (Fernerkundung)

**Laufzeit soweit bekannt*

Plattformen

ANAEE	Analysis and Experimentation on Ecosystems
CNRS	Centre national de la recherche scientifique, France
COSYNA	Coastal Biodiversity Exploratories
DFG-Expl.	DFG Biodiversity Exploratories
GCEF	Global Change Exploratory Facility
IAGOS	In Service Aircraft for a Global Observing System
ICP Forests	International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests
ICOS	Integrated Carbon Observation System
LTER-D	Long-Term Ecosystem Research-Deutschland
LTER-Europe	Long-Term Ecosystem Research Europe
MISTRALS	Mediterranean Integrated Studies at Regional and Local Scales
NEON	National Ecological Observatory Network
NOHA	Network of Hydrological Observatories for Water Resources Research in Europe
SOILTREC	Soil Transformations in European Catchments
TERENO	TERrestrial ENvironmental Observatories
TERENO-MED	TERrestrial ENvironmental Observatories-Mediterranean



Deutsche Forschungsgemeinschaft

Kennedyallee 40 · 53175 Bonn

Postanschrift: 53170 Bonn

Telefon: +49 228 885-1

Telefax: +49 228 885-2777

postmaster@dfg.de

www.dfg.de