



## > Georessource Boden – Wirtschaftsfaktor und Ökosystemdienstleister

Empfehlungen für eine Bündelung der wissenschaftlichen  
Kompetenz im Boden- und Landmanagement

acatech (Hrsg.)

# acatech POSITION

Dezember 2012

**Herausgeber:**

acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN, 2012

Geschäftsstelle  
Residenz München  
Hofgartenstraße 2  
80539 München

Hauptstadtbüro  
Unter den Linden 14  
10117 Berlin

Brüssel-Büro  
Rue du Commerce/Handelsstraat 31  
1000 Brüssel  
Belgien

T +49 (0) 89 / 5 20 30 90  
F +49 (0) 89 / 5 20 30 99

T +49 (0) 30 / 2 06 30 96 10  
F +49 (0) 30 / 2 06 30 96 11

T + 32 (0) 2 / 5 04 60 60  
F + 32 (0) 2 / 5 04 60 69

E-Mail: [info@acatech.de](mailto:info@acatech.de)  
Internet: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

Koordination: Dr. Claus Gerhard Bannick

Redaktion: Holger Schnell, Linda Treugut

Layout-Konzeption: acatech

Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,  
Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf [www.springer.com](http://www.springer.com)

#### **> DIE REIHE acatech POSITION**

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Die Positionen enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Entscheidungsträger in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Die Positionen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.



# > INHALT

<b>KURZFASSUNG</b>	<b>6</b>
<b>PROJEKT</b>	<b>8</b>
<b>1 THEMENFELDER UND HERAUSFORDERUNGEN</b>	<b>9</b>
1.1 Böden und Ernährung	10
1.2 Böden und nachwachsende Rohstoffe	12
1.3 Böden und Klima	13
1.4 Böden und Wasser	14
1.5 Böden und Ökonomie	14
1.6 Böden und anthropogene Nutzungen	16
<b>2 DIE FORSCHUNGSLANDSCHAFT</b>	<b>17</b>
2.1 Forschungsstrukturen	17
2.2 Forschungsinstitutionen	18
2.3 Forschungsförderung	21
2.4 Wissenschaftliche Vereinigungen	23
2.5 Europäische und globale Einordnung des deutschen Forschungsstandorts	24
<b>3 NOTWENDIGE UND NEUE HANDLUNGSFELDER</b>	<b>26</b>
3.1 Bodenressourcen und Flächenmanagement	26
3.2 Bodenlandschaften, Landnutzung und Klimawandel	28
3.3 Soil Engineering und Melioration – Inwertsetzung degradierter Flächen	29
3.4 Boden, Ernährung und Gesundheit	30
3.5 Standortspezifische Biogeochemie und Stoffdynamik in Böden	32
3.6 Boden-Wasser-Pflanze-Interaktionen	33
3.7 Boden-Biodiversität	35
3.8 Innovative Methoden, Sensortechniken und Geofernerkundung	36
3.9 Bodendatenmanagement und Versuchsinfrastrukturen	37
3.10 Boden-Sozioökonomie	38
3.11 Technologien der Bodenbewirtschaftung	40
<b>4 EMPFEHLUNGEN</b>	<b>42</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>46</b>
<b>LITERATUR</b>	<b>47</b>

## KURZFASSUNG

Böden bilden eine wesentliche Lebensgrundlage der Menschen. Sie sind die oberste belebte Schicht der Erdkruste, die aus mineralischem und organischem Ausgangsmaterial, Wasser, Luft und lebenden Organismen besteht. Im Boden trifft die Lithosphäre (Gestein) auf die Atmosphäre (Luft), Hydrosphäre (Wasser) und Biosphäre (Flora und Fauna). Die Überschneidung dieser vier Umweltkompartimente macht den Boden zu einem sehr sensiblen, komplexen System. Böden sind nur in geringem Umfang vermehrbar; Bodenverlust ist oft nicht umkehrbar. Die völlige Wiederherstellung der Böden mit ihren Funktionen dauert im besten Fall Jahrzehnte bis Jahrhunderte. Eine weitere Inkulturation von Böden, zum Beispiel durch Rodung von (Ur-)Wäldern ist als nicht nachhaltig zu bewerten. Deshalb sind bewirtschaftbare Böden eine begrenzte Ressource.

### Ökosystemdienstleister und Wirtschaftsfaktor

Böden erfüllen verschiedene Funktionen. Auf ihnen wachsen Pflanzen, die als Nahrungs- und Futtermittel dienen, zur Energiegewinnung verwendet oder rohstofflich genutzt werden. Neben der Produktionsfunktion (Erzeugung von Biomasse) erbringen die Böden weitere wichtige Ökosystemdienstleistungen. Sie filtern Niederschlagswasser auf dem Weg zum Grundwasser und können insbesondere organische Schadstoffe in weniger schädliche Stoffe umwandeln oder sogar ganz abbauen. Damit sind sie die Voraussetzung für gesunde Nahrungsmittel und gesundes Trinkwasser. Der Nährstoffbestand in Böden versorgt die auf den Böden wachsenden Pflanzen, die für Mensch und Tier essenziell sind. Die in und auf Böden lebenden Organismen zersetzen Pflanzenreste und wandeln diese in klimawichtigen (da stabilen) Humus um. Durch die Zersetzung werden aber auch enthaltene Nährstoffe in den biologischen Kreislauf rückgeführt und somit recycelt. Kurz: Gesunde Böden sorgen für einen reibungslosen Stoffkreislauf.

Nur intakte Böden garantieren die für Mensch und Umwelt unverzichtbaren Naturraumleistungen von Ökosystemen. Dazu gehören die Erhaltung der Biodiversität, die Sicherung der Biomasseproduktion auch bei klimatischen

Extremen und die Stabilisierung von Landschaftsstrukturen. Der Boden ist jedoch nicht nur für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung von Bedeutung, sondern auch als Basis von Siedlungen, Verkehrswegen sowie anderer Infrastrukturen. Dazu zählt auch, dass die Menschen Böden als Fläche für Erholung nutzen.

Insbesondere die Produktionsfunktionen der Böden sichern seit Jahrtausenden das Wachstum von Volkswirtschaften. Denn als Ausgangspunkt aller biobasierten Wertschöpfungsketten stellen Böden einen zentralen Wirtschaftsfaktor dar. Ein Beispiel: Die bundesdeutsche Ernährungsindustrie als viertgrößte Branche Deutschlands weist für 2010 einen Jahresumsatz von etwa 150 Milliarden Euro auf. Böden sind zudem in der Regel Eigentum und haben teilweise einen hohen monetären Wert. Kauf- und Pachtpreise von Böden sind umso höher, je ausgeprägter deren Produktions- und Nutzungsfunktionen sind und je mehr damit die Aussicht auf größere monetäre Erträge besteht. Wachsende Bedeutung nicht nur bei der Preisentwicklung kommt der zunehmenden Konkurrenz um unterschiedliche Landnutzungsformen und dessen Management zu.

### Herausforderungen im Boden- und Landmanagement

Der Klimawandel beeinflusst sowohl die Produktions- als auch Ökosystemfunktionen des Bodens in negativer wie auch positiver Hinsicht: Klimatische Veränderungen sorgen nicht nur dafür, dass Ernteerträge regional und jährlich schwanken. Steigt die mittlere Temperatur und verändert sich die Verteilung von Niederschlägen, bringt dies auch die empfindlichen physikochemischen Prozesse und den Stoffumsatz in Böden aus dem Gleichgewicht. Insbesondere in Entwicklungsländern verknappen sich dadurch Produktionspotenziale fruchtbarer Bodenflächen.

Andererseits können durch die Zunahme von Niederschlägen bislang unfruchtbare Regionen wieder in Produktion kommen. In eher kühleren Regionen kann sich die Produktivität durch steigende Temperaturen auch verbessern. Insofern wird es sowohl Gewinner als auch Verlierer des Klimawandels geben.

Trotz der unsicheren, teils schwierigeren klimatischen Bedingungen müssen die Böden weltweit einem steigenden Bedarf an Biomasse nachkommen. Im Jahr 2050 ist die Ernährung von rund neun Milliarden Menschen auf der Erde zu sichern – etwa ein Drittel mehr als heute. Gleichzeitig erleben erneuerbare Energien und Biokraftstoffe aus Biomasse Aufwind. Deshalb müssen die Erträge aus der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung erhöht werden, ohne Nachhaltigkeitskriterien aus dem Blick zu verlieren. Mit dem Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen und Nahrungsmitteln wächst auch die Nachfrage nach fruchtbaren Böden und die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten treten in verschärfte Konkurrenz zueinander. Anschließende Wertschöpfungsketten sind effizient und möglichst verlustfrei zu gestalten.

Diesen Herausforderungen in der Bodennutzung muss auch die Forschung zum Boden- und Landmanagement begegnen. Die wissenschaftlichen Fachdisziplinen in dem Themenbereich sind aufgrund ihrer historischen Entwicklung breit gefächert. Dies zeigt sich in Deutschland auch in der strukturellen Vielfalt der Forschungsinstitutionen. Daraus resultiert, dass das Themenfeld in den verschiedenen Forschungseinrichtungen in unterschiedlicher Tiefe bearbeitet wird. Die neuen Rahmenbedingungen erfordern aber eine strategische Abstimmung von Forschungsfragen und umfassende, fächerübergreifende Antworten, die das zersplitterte Forschungsfeld in Deutschland zurzeit nicht zu geben vermag. Zugleich trübt die Vielfalt in den deutschen Bodenwissenschaften ihre internationale Sichtbarkeit und Deutschland wird es in der vorhandenen Aufstellung nicht schaffen, eine Führungsposition in der globalen Forschungslandschaft wiederzuerlangen.

#### **Handlungsfelder für die interdisziplinäre Forschung**

Aufgrund der großen Herausforderungen wie Klimawandel, Ressourcenknappheit, Ernährungssicherheit und Materialmanagement bedarf die deutsche Bodenforschung einer Konsentierung auf breiter fachlicher Basis. In den folgenden prioritären Handlungsfeldern sollten die

Einzeldisziplinen fächerübergreifend zusammenarbeiten, um umfassende Lösungen zu finden:

- Bodenressourcen und Flächenmanagement
- Bodenlandschaften, Landnutzung und Klimawandel
- Soil Engineering und Melioration – Inwertsetzung degradierter Flächen
- Boden, Ernährung und Gesundheit
- Standortspezifische Biogeochemie und Stoffdynamik in Böden
- Boden-Wasser-Pflanze-Interaktionen
- Boden-Biodiversität
- Innovative Methoden, Sensortechniken und Geofernerkundung
- Bodendatenmanagement und Versuchsinfrastrukturen
- Boden-Sozioökonomie
- Technologien der Bodenbewirtschaftung

#### **Empfehlungen**

Eine interdisziplinär zusammengesetzte acatech Projektgruppe hat das Forschungs- und Technologiefeld Boden analysiert. Aus den Ergebnissen wurden nachfolgende Empfehlungen abgeleitet:

- Bedeutung der Böden als endliche Georessource stärker als bisher national, europäisch und global in den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext stellen
- Bodenproduktivität erhöhen unter Berücksichtigung des Erhalts von Ökosystemdienstleistungen
- Landmanagement zeitnah auf negative Effekte des Klimawandels einstellen und innovative Formen zur Steuerung der Boden- und Landnutzungskonkurrenzen entwickeln
- Konsens hinsichtlich Priorisierung notwendiger Forschungsfelder herstellen
- Fachwissen bündeln und institutionelle Zusammenarbeit zwischen den relevanten Akteuren und Personen in Deutschland transdisziplinär fördern
- Wissens- und Technologietransfer von der Wissenschaft in die Wirtschaft und Praxis gewährleisten

# PROJEKT

## > PROJEKTLEITUNG

Prof. Dr. Franz Makeschin, TU Dresden/acatech

## > PROJEKTGRUPPE

- Klaus J. Beckmann, Deutsches Institut für Urbanistik/acatech
- Detlev Dähnert, Vattenfall Deutschland
- Wolf Eckelmann, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Jens-Uwe Fischer, Universität Leipzig/acatech
- Hans-Georg Frede, Universität Gießen/acatech
- Detlev Ganten, Charité-Universitätsmedizin Berlin
- Bernd Hansjürgens, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig
- Thomas Hirth, Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB)
- Ingrid Kögel-Knabner, Technische Universität München/acatech
- Peter Pickel, John Deere
- Michael Schlöter, Helmholtz Zentrum München
- Richard Schmuck, Bayer
- Thomas Scholten, Universität Tübingen
- Michael Sommer, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
- Georg Teutsch, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig
- Harry Vereecken, Forschungszentrum Jülich
- Friedhelm von Blanckenburg, Deutsches GeoForschungszentrum GFZ

## > REVIEWER

- Günter Blöschl, Technische Universität Wien/acatech
- Hannes Flüher, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich/acatech
- Dieter Jahn, BASF SE
- Fritz Vahrenholt, RWE Innogy/acatech

acatech dankt allen externen Fachgutachtern. Die Inhalte der vorliegenden Position liegen in der alleinigen Verantwortung von acatech.

## > PROJEKTKOORDINATION

Dr. Claus Gerhard Bannick

## > PROJEKTVERLAUF

Projektlaufzeit: 01/2011 – 11/2012

Diese acatech POSITION wurde im November 2012 durch das acatech Präsidium syndiziert.

## > FINANZIERUNG

Das Projekt wurde aus Mitteln des acatech Fördervereins finanziert.

# 1 THEMENFELDER UND HERAUSFORDERUNGEN

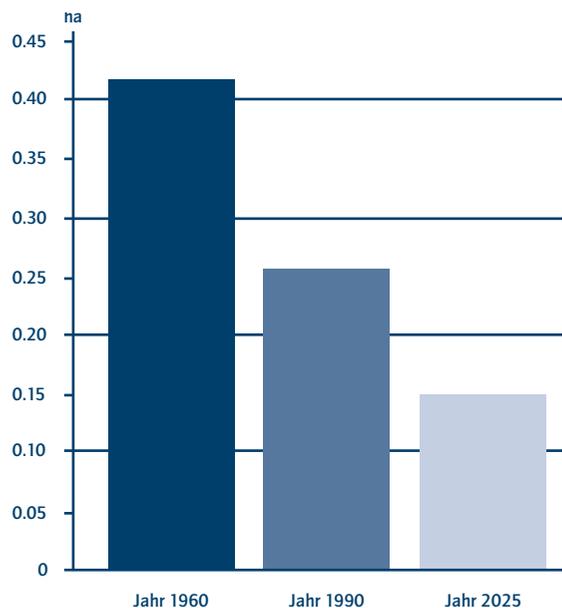
Über Jahrtausende hinweg waren es die Böden, deren Produktionsfunktionen die Lebensqualität in Volkswirtschaften sicherten. Die produzierte Biomasse deckte die Bedarfe in allen Lebensbereichen, diente als Nahrungs- und Futtermittel, Werkstoff und Heizmaterial. Dies änderte sich mit der Etablierung neuer Werkstoffe aus fossilen Kohlenstoffquellen. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts war die Ernährungssicherung die wichtigste Aufgabe der Böden. Gefördert durch beeindruckende Fortschritte der Agrartechnik, der Verfügbarkeit von Düngern und Pflanzenschutzmitteln, der Pflanzenzüchtung und vor allem auch des Wissens, schien die Produktivität von Böden nahezu grenzenlos. Durch nicht ausreichende Beachtung der natürlichen Gesetzmäßigkeiten und Nutzungsgrenzen wurden und werden Böden und ihre benachbarten Umweltkompartimente in ihren Funktionen jedoch zunehmend belastet, teilweise sogar zerstört. Heute gewinnt die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen wieder an Bedeutung und erhöht den Produktivitätsdruck auf die Böden. Auf der anderen Seite gehen erhebliche Mengen an Biomasse durch eine nicht effiziente Nutzung, mangelnde Logistik oder unsachgemäße Lagerung verloren.

In Böden treffen die Umweltkompartimente Atmo-, Hydro-, Litho- und Biosphäre im System Erde aufeinander. Sie sind die wesentliche Grundlage der terrestrischen Biomasseproduktion und erbringen eine Vielzahl weiterer Ökosystemdienstleistungen wie die langfristige Bindung von organischem Kohlenstoff (C-Sequestrierung) und Regulierungen im Wasserkreislauf. Böden sind Archive für die Natur- und Klimageschichte und liefern unter anderem wichtige Informationen zur Einschätzung aktueller und zu erwartender Umweltveränderungen. Böden sind der Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen und tragen zur funktionalen Diversität von Landschaften bei. Böden spielen eine wichtige Rolle im Stoffkreislauf: Sie dienen als Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen, da sie als Filter und Puffer wirken sowie die Stoffumwandlung bewerkstelligen: Sie filtern Niederschlagswasser auf dem Weg zum Grundwasser,

wandeln insbesondere organische Schadstoffe in weniger schädliche Stoffe um, bauen Pflanzenreste ab und recyceln und speichern enthaltene Nährstoffe. Letztlich sind Böden Standorte für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung, werden als Fläche für Siedlung und Erholung genutzt, dienen als Rohstoffe sowie als Standort für Verkehr, Ver- und Entsorgung und sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen.

Nicht nur in Deutschland und Europa, auch weltweit nimmt der Stellenwert des Bodens aufgrund des zunehmenden Bedarfs an Biomasse und damit auch die Verantwortung für einen sorgsameren Umgang und seine nachhaltige Nutzung zu. Dies gilt vor allem für Entwicklungs- und Schwellenländer, die in bestimmten Regionen von dem voranschreitenden Klimawandel und seinen Wirkungen auf die Entwicklung von Bodenqualitäten besonders negativ betroffen sind.

Abbildung 1: Verfügbare Landfläche (in ha) pro Kopf der Weltbevölkerung<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Nach FNL 2012.

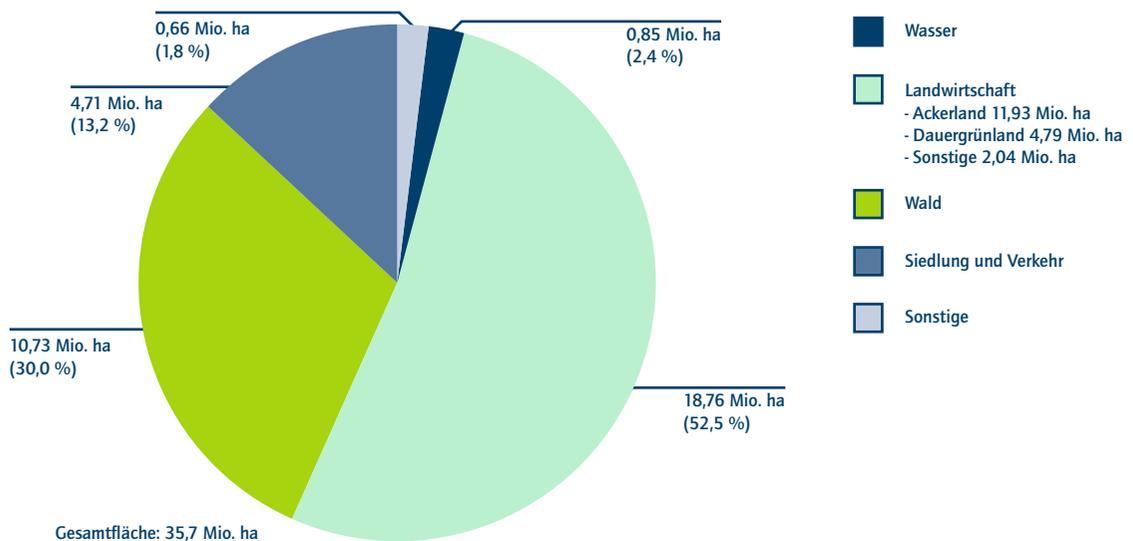
Stärker als bisher sind in diesem Zusammenhang neben den naturwissenschaftlichen auch die sozioökonomischen Aspekte zu berücksichtigen.

### 1.1 BÖDEN UND ERNÄHRUNG

Böden dienen seit alters her hauptsächlich der Produktion beziehungsweise Nutzung pflanzlicher und tierischer Produkte zur Ernährung der Menschen. Weltweit werden ca. 5 Milliarden Hektar Bodenfläche landwirtschaftlich genutzt. Davon entfallen ca. 3,5 Milliarden Hektar auf Grünland und ca. 1,5 Milliarden Hektar auf Ackerland. Die Waldfläche beträgt ca. 3,9 Milliarden Hektar. Nach Schätzungen des Internationalen Instituts für angewandte Systemanalyse (IIASA) steht beim gegenwärtigen Stand

der Technik und ohne zusätzliche Waldrodung noch eine Flächenreserve in der Größenordnung von ca. 440 Millionen Hektar zur Ausdehnung der Ackerfläche zur Verfügung.<sup>2</sup> Weltweit nimmt die zur Verfügung stehende produktive Bodenfläche infolge von Degradation und Flächenverbrauch ab. Gleichzeitig steigen hingegen die Ansprüche an die Bodenfunktionen.<sup>3</sup> Noch im Jahr 1960 standen pro Kopf der Weltbevölkerung mehr als 0,4 Hektar Ackerland zur Verfügung. Im Jahr 1990 waren es rund 0,25 Hektar; 2025 werden es nur noch etwa 0,15 Hektar sein (siehe Abb. 1).<sup>4</sup> Die Ernährung von 9 Milliarden Menschen im Jahr 2050 erfordert allerdings eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion von 70 bis 100 Prozent.<sup>5</sup> Unter den sich verändernden Klimabedingungen sind deshalb leistungsfähigere Verfahren der Landnutzung unerlässlich. Dabei bestehen die Herausforderungen nicht nur

Abbildung 2: Flächenanteile in Deutschland im Jahr 2008<sup>6</sup>



<sup>2</sup> OECD 2007.  
<sup>3</sup> BÖR 2010a.  
<sup>4</sup> FNL 2012.  
<sup>5</sup> Godfray et al. 2010.  
<sup>6</sup> StatBa 2009; BÖR 2010a.

in der Gewährleistung der Ernährungssicherheit sowie der Produktion von Biomasse für Rohstoffe und regenerative Energie. Auch die weitergehende Anpassung an den Klimawandel und ihr Beitrag zum Klimaschutz stellt die Bodennutzung vor neue Anforderungen.

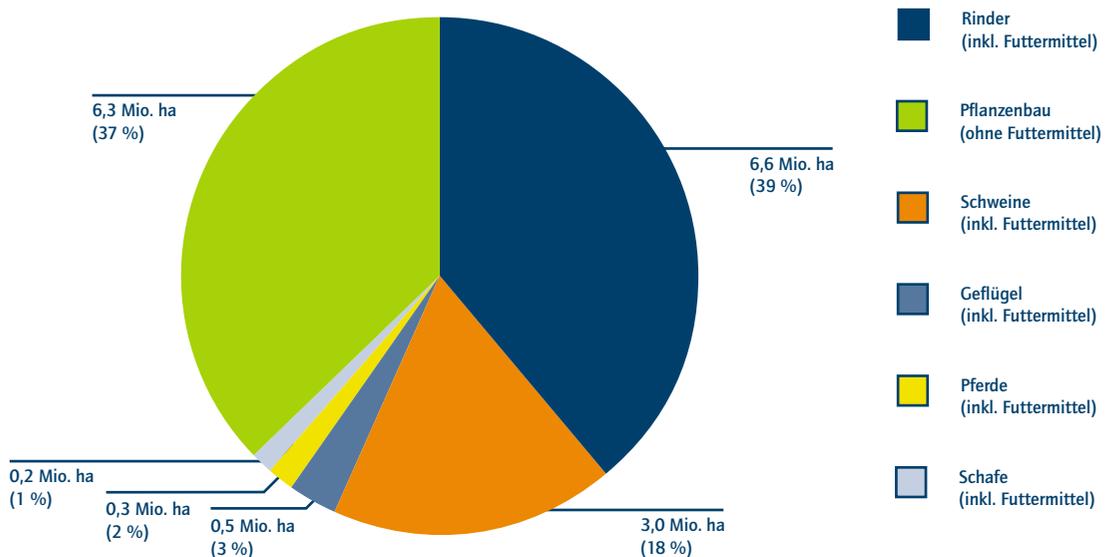
Die steigenden Bedarfe an landwirtschaftlichen Produkten sind ein wesentlicher Faktor der Umnutzung von Waldböden in landwirtschaftliche Produktionsflächen, so unter anderem in Brasilien und Indonesien. Ein Anstieg der Nachfrage nach Lebensmitteln und Bioenergie bis 2050 verstärkt den Druck auf die Wälder weiter.<sup>7</sup> Der Bedarf an erhöhter Nahrungsmittelproduktion und wirtschaftlicher Entwicklung ist in Entwicklungs- und Schwellenländern am höchsten. Erste Schätzungen zeigen, dass die zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Flächenreserven bereits in

den späten 2020er Jahren erschöpft sein werden, mit großer Sicherheit aber bis spätestens 2050.<sup>8</sup>

In Deutschland werden rund 53 Prozent von den insgesamt etwas mehr als 357 000 Quadratkilometern landwirtschaftlich genutzt, 30 Prozent sind von Wald bedeckt (Abb. 2). Knapp 3 Prozent umfassen die großen Tagebaue im nordöstlichen Nordrhein-Westfalen und in den neuen Bundesländern.<sup>9</sup> Etwa 13 Prozent der bundesdeutschen Fläche sind sogenannte Siedlungs- und Verkehrsflächen.

In Deutschland dient der größte Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche (etwa 70 Prozent) der Bereitstellung von Futtermitteln (Abb. 3). Demgegenüber beansprucht der Pflanzenbau zur Nahrungsmittelproduktion und Energiepflanzenenerzeugung nur etwa ein Drittel der

Abbildung 3: Bodennutzung für Tierhaltung und Pflanzenbau in Deutschland im Jahr 2006 in % der Landfläche und Millionen Hektar<sup>10</sup>



<sup>7</sup> von Braun 2007.

<sup>8</sup> Lambin/Meyfroidt 2011.

<sup>9</sup> UBA 2009.

<sup>10</sup> IÖW 2008.

landwirtschaftlichen Fläche.<sup>11</sup> Allein die forstlichen Erzeugnisse werden überwiegend energetisch oder rohstofflich verwertet. Zu berücksichtigen ist jedoch der inzwischen stark angestiegene Anteil von Kulturarten wie Mais, die zur energetischen und stofflichen Nutzung verwendet werden (siehe dazu auch Kapitel 1.2).

Der Flächenbedarf für die Produktion der in Deutschland insgesamt verbrauchten Lebensmittel liegt bei der aktuellen Produktionsweise (konventionell und ökologisch) bei ca. 20 Millionen Hektar pro Jahr. Darin sind auch die Flächen für die Produktion von importierten Nahrungs- und

Futtermitteln (Produktion in anderen Ländern) einbezogen.<sup>13</sup> Unter kalkulatorischer Berücksichtigung von Im- und Exporten würde in Deutschland bei konventioneller Landwirtschaft eine Fläche von ca. 17,2 Millionen Hektar allein für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion benötigt, um die aktuellen Verbrauchsgewohnheiten befriedigen zu können. Würde nur auf Basis ökologischer Wirtschaftsweise gearbeitet, würde sich aufgrund der geringeren Erträge im ökologischen Landbau bei gleichem Verbrauch der Flächenanspruch insgesamt um 5,5 Millionen Hektar auf etwa 22,7 Millionen Hektar erhöhen.<sup>14</sup> Spezifische Zahlen sind in Tabelle 1 dargestellt. Seufert et al. bestätigen Entsprechendes auch auf globaler Ebene.

Tabelle 1: Flächenbedarf durch Produktionsweise: konventionell – ökologisch<sup>12</sup>

INLÄNDISCHER FLÄCHENBEDARF FÜR DIE ERZEUGUNG VERSCHIEDENER PFLANZLICHER UND TIERISCHER NAHRUNGSMITTEL SOWIE VON FLEISCH BEI UNTERSCHIEDLICHEN LANDBEWIRTSCHAFTUNGSSYSTEMEN		
INLÄNDISCHER FLÄCHENANSATZ	KONVENTIONELL/INTEGRIERT M <sup>2</sup> /1.000 KCAL	ÖKOLOGISCH M <sup>2</sup> / 1.000 KCAL
Weizenmehl	0,6	1,0
Roggenmehl	0,9	1,3
Sonstiges Getreide	0,9	1,3
Hülsenfrüchte	5,2	6,5
Kartoffeln	0,5	0,9
Zucker	0,4	0,4
Schweinefleisch	2,8	4,5
Geflügelfleisch	3,5	5,1
Schaf- und Ziegenfleisch	14,4	16,0
Milch	2,8	3,7
Rind- und Kalbfleisch	4,3	5,6

## 1.2 BÖDEN UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe zur energetischen und stofflichen Verwendung belegt mittlerweile mit ca. 2,3 Millionen Hektar 20 Prozent der gesamten Ackerfläche in Deutschland.<sup>15</sup> Damit werden jedoch nur knapp 2 Prozent des bundesdeutschen Energiebedarfs gedeckt. Prognosen gehen für Bioenergie von einem Potenzial der bis 2030 benötigten Fläche von 2,4 bis zu 4,3 Millionen Hektar aus, je nachdem, ob beziehungsweise wie stark Naturschutzziele berücksichtigt werden.<sup>16</sup>

Absehbar werden für die Produktion von Biomasse andere Quellen als der Boden nicht zu erschließen sein. Einer weiteren Ausdehnung von produktiven Agrarflächen stehen Gründe des Klimaschutzes insbesondere im internationalen Kontext und des Naturschutzes auch in Deutschland entgegen. Großschutzgebiete, Nationalparks, Biosphärenreservate und Naturparks nehmen etwa 8 Millionen Hektar in Anspruch. Hier dominieren weitgehend die regulativen,

<sup>11</sup> IÖW 2008.

<sup>12</sup> Seemüller 2000.

<sup>13</sup> Öko-Institut 2005.

<sup>14</sup> Seufert et al. 2012.

<sup>15</sup> FNR 2012.

<sup>16</sup> DLR/IFEU/WI 2004; Öko-Institut 2004.

kulturellen und Basis-Ökosystemfunktionen, im Gegensatz zu den Versorgungsleistungen, die hauptsächlich die agrarische und forstliche Produktion betreffen.

Eine Erschließung weiterer Flächen für die Biomasseproduktion ist in Deutschland nach aktuellem Kenntnisstand nur in beschränktem Umfang möglich. Konservative Schätzungen gehen davon aus, dass allenfalls 176 000 Hektar in landwirtschaftliche Nutzung gebracht werden können.<sup>17</sup> Genaue Planzahlen mit Untersetzung der standörtlichen Wertigkeit und Bodenqualität liegen hier nicht vor.

Die gesellschaftliche Erwartungshaltung hat sich vor allem in Mitteleuropa dahin gehend entwickelt, dass Böden nicht nur zur Produktion von Biomasse genutzt werden, sondern dass auch den Ökosystemfunktionen und damit den ökologischen Dienstleistungen (Ecosystem Services) für die Ökosysteme selbst und der Umwelt Rechnung getragen wird. Deren Quantifizierung und (sozio-) ökonomische Bewertung steht jedoch noch ganz am Anfang. Besonderes Augenmerk gilt deshalb der Erhaltung der nachhaltigen Leistungsfähigkeit von Böden, der Wechselwirkung mit anderen Schutzgütern, den Stoffkreisläufen und den Bodenfunktionen für die Ernährung und Gesundheit des Menschen im Rahmen der globalen Ernährungssicherung.

### 1.3 BÖDEN UND KLIMA

Böden und Landnutzung werden maßgeblich vom Klima beeinflusst. Sie beeinflussen aber auch ihrerseits die Entwicklung des Klimas, indem sie atmosphärischen Kohlenstoff im Humus binden und somit die durch Kohlendioxid und weitere Klimagase bedingte Klimawirkung vermindern. Die wichtigste Beziehung zwischen Boden und Klimasystem besteht in einem Austausch von Treibhausgasen, vor allem von Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas. Die Vegetation ist

dabei die Brücke, über die etwa Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre in den Boden gelangt. Quantitative Aussagen, wie viel des zuvor in der Pflanze gespeicherten Kohlenstoffs als Humus längerfristig in Böden gespeichert bleiben kann, sind bislang nur in Form grober Schätzungen verfügbar.

Langfristige Veränderungen von Temperatur und Niederschlag wirken sich auf die Fähigkeit der Böden aus, Stoffe ab-, um- und aufzubauen. Steigt die mittlere Temperatur und verändert sich die Verteilung von Niederschlägen, wie es aktuell Folge des zu beobachtenden Klimawandels ist, verändert dies zunächst den Wasserhaushalt. Das wirkt sich wiederum auf die physikochemischen Prozesse aus, die durch Wasser beeinflusst werden. In der Folge beeinträchtigt dies das Bodenökosystem mit seiner Vielfalt an Bioorganismen, die Interaktion zwischen den Organismen und damit den mit ihnen verbundenen Stoffumsatz sowie den Stofftransport in Böden.

Diese Veränderungen und damit auch Konsequenzen für eine künftige Landnutzung sind bereits heute für Landwirtschaft, Gartenbau, Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft absehbar. Diese Bereiche müssen sich zeitnah an die Klimaänderungen anpassen. Strategien und Maßnahmen zur Anpassung sind zunächst für das Boden- und Landmanagement zu entwickeln. Ziel ist es, sowohl die natürlichen Ökosystemfunktionen als auch Nutzungsfunktionen auf hohem Niveau zu halten oder sogar auszubauen. Darauf wird bereits in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel hingewiesen.<sup>18</sup> Wie relevant rechtzeitige Anpassungsmaßnahmen sind, wird in der acatech POSITION „Anpassungsstrategien in der Klimapolitik“ dargelegt.<sup>19</sup>

Die Anpassung an die Klimaänderungen ist national, aber auch in Europa und weltweit notwendige Voraussetzung für das Überleben künftiger Generationen. Prognosen, wie sich der Klimawandel auf die Prozesse im Boden und damit auf

<sup>17</sup> KBU 2009.

<sup>18</sup> Bundesregierung 2008.

<sup>19</sup> acatech 2012.

die künftige Bodennutzung auswirkt, lassen sich weitgehend nur durch das Studium der Verhältnisse in Gebieten treffen, die bereits heute dem erwarteten Klima entsprechen oder sehr schnell und sensibel auf geringfügige Klimaänderungen reagieren. Die zu erwartenden Veränderungen von Bodenfunktionen können die Standortbedingungen beeinträchtigen, aber auch verbessern. Es wird deutlich, dass die Komplexität des Systems Boden mit seinen vielen Regelkreisen und Rückkopplungsmechanismen zu erheblichen Schwierigkeiten bei quantitativen Voraussagen führt und diese mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Hinzu kommen regionale Effekte, da sich die Folgen des Klimawandels sehr unterschiedlich ausprägen. Wechselwirkungen zwischen Klima, Boden, Nutzung beziehungsweise Vegetation und weiteren Standortfaktoren erfordern eine räumlich standortdifferenzierte Bewertung der Folgen von Klimawirkungen.

#### 1.4 BÖDEN UND WASSER

Mit über 70 Prozent hat Wasser einen deutlich größeren Anteil an der Oberfläche der Erde als die Landflächen mit etwa 30 Prozent. Schnittstellen und Interaktionen sind damit naturgemäß gegeben. Wasser ist zudem zentral für alle Lebensvorgänge und damit nicht nur die wesentliche Voraussetzung für fruchtbare Böden, sondern für alle biologischen und chemischen Prozesse in und auf Böden. Dies ist zunächst unabhängig von der Wasserqualität. Besonders an den Schnittstellen zwischen Meeren und Landflächen haben sich (Öko-) Systeme gebildet, die Salzwasser benötigen. Abseits dieser Bereiche ist jedoch Süßwasser das entscheidende Ko-Medium. Süßwasser macht aber nur wenige Prozent des gesamt vorkommenden Wassers aus und ist damit auch – im globalen Maßstab – eine begrenzte Ressource.

In der Regel erfolgt der Zugang des Wassers in den Böden über den Niederschlag. Je nach Intensität solcher

Niederschläge oder Jahreszeit (zum Beispiel nach der Schneeschmelze) können Böden jedoch auch von über die Ufer tretenden Oberflächengewässern überflutet werden. Dies hat in bestimmten Regionen der Welt positiven Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit. In anderen Bereichen führen solche Überschwemmungen zu Erosion und Bodendegradation. Eine weitere Möglichkeit der Wasserzufuhr ist die Interaktion von (Ober-) Böden mit hoch anstehendem Grundwasser. Entscheidende Größe für die Wirkung des Wassers auf und in Böden sind deren hydraulischen Fähigkeiten.

Über Evapotranspiration (insbesondere und vor allem bei der Pflanzenproduktion) wird Wasser der Atmosphäre zurückgeführt. Wasser wird damit scheinbar verbraucht. Die Effizienz des Wassereinsatzes wird wesentlich durch das Wasser- und Bodenmanagement bestimmt. In Abhängigkeit von Böden und Region wird hierbei auf verschiedene Wasservorkommen zurückgegriffen (Oberflächenwasser, Grundwasser, im Boden gespeichertes Wasser). Die Funktion des Bodens hinsichtlich der verfügbaren Wassermengen wird bislang unterschätzt. Böden erfüllen nicht nur wichtige Funktionen der Speicherung des Wassers im Hinblick auf die Pflanzen, sondern auch im Hinblick auf die Dynamik des Wassers im Wasserkreislauf. Ohne Böden wären unter anderem Hochwässer in der Regel wesentlich stärker. Bodenabtrag und Bodenverdichtung führen deshalb meist zur Erhöhung der Hochwassergefahr. Diese Beispiele sollen zeigen, dass sektorale Betrachtungen im Bereich Boden-Wasser nicht zielführend sind. Hier muss ein Schulterschluss zwischen Boden- und Landmanagement mit dem integrierten Management von Wasserressourcen erfolgen, also eine gesamtheitliche Betrachtung von Einzugsgebieten in der Landschaft.

#### 1.5 BÖDEN UND ÖKONOMIE

Böden sind in der Regel Eigentum und haben dadurch auch einen, teilweise hohen, monetären Wert. Böden sind die Basis aller biobasierten Wertschöpfungsketten. Die

bundesdeutsche Ernährungsindustrie als viertgrößte Branche Deutschlands weist für 2010 einen Jahresumsatz von etwa 150 Milliarden Euro auf<sup>20</sup>, im Bereich der Bioenergie wird für das Jahr 2020 ein Gesamtumsatz von 20 Milliarden Euro prognostiziert<sup>21</sup>, im rohstofflichen Bereich – stellvertretend hierfür steht die biotechnologische Produktion<sup>22</sup> – waren es im Jahr 2010 2,4 Milliarden Euro<sup>23</sup>. Die Deutsche Holzindustrie konnte 2011 einen Umsatz von 32,8 Milliarden Euro erwirtschaften.<sup>24</sup>

Die Quantität und Qualität von Böden haben direkten Einfluss auf deren wirtschaftliche Bedeutung. Die Ökonomie beziehungsweise die sie bestimmenden Rahmenbedingungen sind in der Regel der wichtigste Faktor, der beim Boden- und Landmanagement berücksichtigt wird, sowohl im nationalen als auch im internationalen Kontext.

Für die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland ergibt sich ein Gesamtwert von ca. 151 Milliarden Euro.<sup>25</sup> Der durchschnittliche Kaufpreis (etwa 9.000 Euro) für einen Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland ist – bei sehr großen regionalen Unterschieden – 2008 gegenüber 2007 im Westen um knapp 5 Prozent und im Osten um 20 Prozent gestiegen. Zusätzlich hat sich die Dynamik auf dem Bodenmarkt in den letzten Jahren deutlich erhöht. Die Summe aller getätigten Bodenverkäufe erhöhte sich im Westen von 2007 bis 2008 um 15 Prozent auf 865,7 Millionen Euro, während sie im Osten Deutschlands 2008 sogar um 52 Prozent (548,4 Millionen Euro) zunahm.<sup>26</sup> Auch innerhalb der Europäischen Union ergibt sich ein heterogenes Bild bei der Betrachtung von Bodenpreisen und -preisentwicklungen; Swinnen et al. berichten

von Variationen um bis zu 2.000 Prozent.<sup>27</sup> Entsprechende Daten für forstlich genutzte Flächen liegen bislang nicht vor.

62 Prozent aller Böden werden in Deutschland verpachtet. Die Pachtpreise im landwirtschaftlichen Bereich sind im letzten Jahrzehnt regional stark gestiegen, was unter anderem auf die Subvention von Energie aus Biomasse zurückgeführt werden kann. Die für Neupachten gezahlten Preise in den neuen Ländern lagen 2007 mit 129 Euro je Hektar bei etwa knapp der Hälfte des Pachtpreinsniveaus in Westdeutschland von 279 Euro je Hektar.<sup>28</sup>

Zudem ist das Bewusstsein für den Wert von Ökosystemdienstleistungen nicht nur in ökologischer, sondern auch in ökonomischer Hinsicht in den letzten Jahren deutlich gewachsen. Deren Wert kann bislang jedoch nur sehr partiell und nur für wenige ausgewählte Dienstleistungen quantifiziert werden. Eine Literaturanalyse kommt zu dem Schluss, dass die Bewertung von Böden hinsichtlich ihrer vielfältigen Ökosystemdienstleistungen im Vergleich zu anderen terrestrischen Ökosystemen vernachlässigt wurde und verlässliche Daten deshalb nicht verfügbar sind.<sup>29</sup>

Grundlage der Bodenbewertung in Deutschland stellt immer noch die Klassifizierung nach den sogenannten Bodenpunkten dar, die auf Basis der Bodenschätzung ermittelt werden. Ausgangspunkt dieses Verfahrens ist die Bewertung der Fruchtbarkeit der Böden, die erstmals in den 1930er Jahren für das damalige gesamte Reichsgebiet nach einheitlichen Vorgaben durchgeführt wurde. Grundlage war das „Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens vom 16. Oktober 1934“. Diese Bodenschätzwerte fließen noch

<sup>20</sup> BVE 2012.

<sup>21</sup> BBE 2012.

<sup>22</sup> 64 Prozent der zugehörigen Biomasse werden jedoch aktuell importiert.

<sup>23</sup> BMBF 2012.

<sup>24</sup> Baulinks 2012.

<sup>25</sup> BÖR 2010a.

<sup>26</sup> Bodenmarkt 2010.

<sup>27</sup> Swinnen et al. 2010.

<sup>28</sup> DBV 2009.

<sup>29</sup> Gerdes et al. 2010.

heute in die Besteuerung ein, ökosystemare Bewertungen hingegen nicht. Eine Bewertung anderer Ökosystemleistungen steht hier noch am Anfang, wenngleich das Bewusstsein für den Wert von Ökosystemleistungen durch die internationale TEEB-Studie<sup>30</sup> erheblich angestiegen ist.

Kauf- und Pachtpreise von Böden sind abhängig von deren Produktionsfunktion. So wird der Produktionswert der Landwirtschaft in Deutschland für die pflanzliche Erzeugung für das Jahr 2007 mit 23,3 Milliarden Euro angegeben. Der Wert der Erzeugung forstwirtschaftlicher Güter lag im selben Jahr bei 3,6 Milliarden Euro.<sup>31</sup> Die vor allem in Mitteleuropa erwirtschafteten hohen Erträge sind das Resultat einer auf unterschiedliche Standorte abgestimmten Bewirtschaftung.

Die bearbeitbaren Bodenflächen in Deutschland und weltweit werden knapper. Deshalb weichen internationale Konzerne sowie auch Staaten mit nicht ausreichender eigener Landfläche (unter anderem China und Indien) auf Flächen in Drittlandstaaten aus. Zu den Triebkräften dieser Landnahme („Land Grabbing“) gehören das starke Verlangen nach Nahrungsmittelsicherung, die Möglichkeit der kostenintensiven Futtermittel- und Biokraftstoffproduktion sowie die Spekulation auf Agrarmärkten. Dies hat negative ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen in den betroffenen Ländern. Die Landnahme bedroht die kleinbäuerliche Landwirtschaft, gefährdet die Ernährungssicherheit, verschärft Landkonflikte und führt auch zu ökologischen Schäden und Umweltzerstörung, zum Beispiel durch erhöhten Wasserverbrauch, durch Rodung von Waldgebieten oder durch Übernutzung von Böden.

## 1.6 BÖDEN UND ANTHROPOGENE NUTZUNGEN

Förderprogramme für Biokraftstoffe haben einen Nachfrageboom nach Ackerflächen und Agrarrohstoffen ausgelöst.

Die Konkurrenz zwischen unterschiedlichen landwirtschaftlichen Nutzungen verstärkt sich. Im Ergebnis steigen weltweit die Lebensmittelpreise, die gesellschaftliche Diskussion um „Tank oder Teller“ nimmt an Fahrt auf. Der Nutzungsdruck auf landwirtschaftliche Flächen steigt. Auch die doppelte Betroffenheit landwirtschaftlicher Flächen bei infrastruktureller Inanspruchnahme verschärft den Druck zusätzlich. Als Folge der Energiewende werden weitere erhebliche Flächenansprüche im Außenbereich wie großflächige Windenergie- und Speicheranlagen, neue Formen der Gasförderung (Fracking) und Agrobusiness zu neuen Flächenkonkurrenzen beitragen.

Obwohl in den zurückliegenden Jahren wissenschaftlich intensiv über eine Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, Flächensparen und -recycling geforscht wurde, sind wesentliche Fortschritte nicht erzielt worden. Der Umfang von Siedlungs-, Wirtschafts- und Verkehrsfläche beträgt aktuell rund 4,6 Millionen Hektar beziehungsweise 13 Prozent der Fläche Deutschlands.

Der derzeitige Flächenverbrauch liegt nach wie vor auf einem Niveau von mehr als 75 Hektar pro Tag. Ziel der Bundesregierung ist es, bis zum Jahr 2020 die Flächeninanspruchnahme für Siedlungen und Verkehr auf 30 Hektar pro Tag zu reduzieren.

Eine wichtige Bodenfunktion ist auch kultureller Art: Der Boden dient als historisches Archiv. Je nach seinen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften konserviert der Boden die Spuren seiner langen natürlichen Entstehungsgeschichte und die auf ihn erfolgten anthropogenen Einwirkungen: Er wird damit zum Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Aufgabe des Bodenschutzes ist es dann, den Boden vor beeinträchtigender Inanspruchnahme zu schützen. Dies ergibt sich aus den Ausführungen in der Begründung zum Bundes-Bodenschutz-Gesetz.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> TEEB 2010.

<sup>31</sup> StatBa 2009.

<sup>32</sup> Bundestag 1997.

## 2 DIE FORSCHUNGSLANDSCHAFT

Die am Themenbereich Boden- und Landmanagement beteiligten wissenschaftlichen Fachdisziplinen unterliegen aufgrund ihrer historischen Entwicklung, Anbindung und Ausrichtung einer breiten fachlichen Diversität, die sich in Deutschland auch in einer sehr breiten infrastrukturellen Vielfalt niederschlägt. Daraus resultieren durchaus unterschiedliche Bearbeitungstiefen des Themenfeldes in den verschiedenen Forschungseinrichtungen. Die fachliche Diversität beginnt bereits mit den unterschiedlichen Auffassungen von Böden als Fläche (eher geografischer / planerischer / nutzungsorientierter Ansatz) oder als dreidimensionale Körper (eher bodenwissenschaftlicher / prozessoraler / funktionaler Ansatz). „Land“ ist ein weiterergängiger Begriff in diesem Zusammenhang. Als „Land“ ist der nicht von Wasser bedeckte terrestrische Teil der Erdoberfläche zu verstehen.

Neben den Naturwissenschaften sind auch wirtschafts-, ingenieur- und sozialwissenschaftliche Fächer beteiligt. Damit wird versucht, Fragestellungen, die bislang eher mit naturwissenschaftlich-technologischem Schwerpunkt bearbeitet wurden, verstärkt im gesamtgesellschaftlichen Kontext zu betrachten. Das Forschungsfeld Boden- und Landmanagement integriert somit disziplinübergreifend unterschiedliche, aber themenverwandte Fragestellungen und stellt damit eine thematische Fokussierung dar.

Diese Beispiele zeigen, dass es sich bei den Begriffen „Boden / Böden“ und „Land / Fläche“ nicht um Gegensätze oder Synonyme, sondern um sich ergänzende Begrifflichkeiten unterschiedlicher Disziplinen beziehungsweise Bewertungskonzepte handelt, die gleichberechtigt nebeneinander stehen und somit auch gemeinsam betrachtet, untersucht und bewertet werden müssen. Deutlich wird auch, dass Fragen des Boden- und Landmanagements sehr weit über die klassischen Sektoren der Land- und Forstwirtschaft hinausgehen.

### 2.1 FORSCHUNGSSTRUKTUREN

Die für den Themenbereich wesentlichen Forschungsfächer haben ihre fachliche Heimat hauptsächlich in den Agrar- und Forstwissenschaften sowie in den Geowissenschaften, in den Umweltwissenschaften sowie in planungs- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen. In Deutschland wurden in den vergangenen Jahrzehnten Böden mit ihren verschiedenen Ökosystemfunktionen insbesondere hinsichtlich ihrer Schutzbedürftigkeit thematisiert. Dies hatte Auswirkungen auf die bodenbezogene Forschung und die politische Einordnung des Themas in den Umweltbereich. Diese einseitige, stark reduzierte Einordnung wird dem Themenfeld jedoch vor dem Hintergrund der oben skizzierten nationalen und globalen Herausforderungen nicht länger gerecht.

Neben dem fachlichen Bezug ist auch eine Zuordnung des Boden- und Landmanagements hinsichtlich der institutionellen Anbindung möglich. Es lassen sich grundsätzlich vier Säulen innerhalb der Forschungslandschaft unterscheiden (siehe Abb. 4), die im Wesentlichen in ihrem Forschungsansatz (Grundlagen- beziehungsweise angewandte Forschung) variieren. Die hier genannten Institutionen sind Beispiele, die Übersicht ist nicht abschließend zu verstehen. Siehe dazu auch Abbildung 5. Voraussetzung für innovative, praxisorientierte Lösungen ist jedoch eine intensive Zusammenarbeit zwischen diesen Bereichen.

Gefragt ist deshalb, neben der reinen Grundlagenforschung, eine integrierte, aufeinander abgestimmte und an strategischen Zielen ausgerichtete Organisation der angewandten Forschung, die die Georessource Boden als Ausgangspunkt aller biobasierten Wertschöpfungsketten in den Mittelpunkt stellt. Wesentlich ist die Einbindung der Bereiche Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Ziel muss es sein, ein allumfassendes Beratungsangebot zur Verfügung zu stellen. Dies kann in

Abbildung 4: Forschungsaufstellung im Bereich Boden und Landmanagement



Quelle: Eigene Darstellung

Form eines wissenschaftlichen Verbunds geschehen, der die bereits vorhandenen wissenschaftlichen Kapazitäten universitärer wie außeruniversitärer Forschungseinrichtungen, der Ressortforschung sowie von Unternehmen zusammenführt, bündelt und an interdisziplinären Fragestellungen ausrichtet.

Die zentrale Herausforderung – im Übrigen nicht nur im Bereich Boden- und Landmanagement – ist eine problemorientierte Verknüpfung der Forschung mit der Anwendung in der Praxis. Diese muss auf einer international konkurrenzfähigen und innovativen Grundlagenforschung aufbauen und problem- beziehungsweise aufgabenspezifisch mit korrespondierenden Disziplinen zusammenarbeiten, vor allem auch aus den sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen und transferorientierten Aufgabengebieten. Darauf weist auch der BioÖkonomieRat (BÖR) in seinem Gutachten grundsätzlich hin.<sup>33</sup>

Eine frühzeitige Verknüpfung von technologischer und ökonomischer Expertise ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis. Hier sind große Wertschöpfungspotenziale absehbar.

## 2.2 FORSCHUNGSINSTITUTIONEN

Eine vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Studie von Makeschin et al. zeigt, dass allein der Bereich Bodenwissenschaften bundesweit an Universitäten und Fachhochschulen an mindestens zwölf verschiedene Fachbereiche beziehungsweise Fakultäten angebunden ist.<sup>34</sup> Wesentlich sind die Agrarwissenschaften, Forstwissenschaften, Geowissenschaften und Geografie ebenso wie die Bodengeografie, Bodenökologie und der

<sup>33</sup> BÖR 2010b.

<sup>34</sup> Makeschin et al. 2008, aktualisiert 2010, Abb. 5.

Bodenschutz, aber auch technische Fachrichtungen wie Bauingenieurwesen und Umwelttechnik.

Das Forschungsfeld ist durch eine starke Individualisierung gekennzeichnet, welche sich auch an der Namensgebung beziehungsweise Bezeichnung von Studiengängen dokumentiert. So gibt es allein im Bereich „Agrar“ 16 verschiedene Bezeichnungen für diesen Studiengang. Hintergrund ist die unterschiedliche Schwerpunktsetzung. Dies macht aber einen einheitlichen Ausbildungsstand der Absolventen schwierig. Verstärkt wird dieser Effekt durch unterschiedliche Anbindungen und die damit verbundene unterschiedliche Terminologie, zum Beispiel zwischen den Sektoren Agrar- und Geowissenschaften. Das verdeutlicht eine Abgrenzung, die ein Zusammenwirken eher erschwert beziehungsweise nicht ermöglicht. Diese Abgrenzungstendenzen verstärken sich mit zunehmender Entfernung von angewandten Fragestellungen.

Herausragende Bedeutung hat neben der Schnittstelle Pedosphäre-Biosphäre die Schnittstelle Pedosphäre-Lithosphäre insbesondere im Hinblick auf die Untersuchung von Unterböden. Diese ist in der Regel hinsichtlich der Beurteilung von Ökosystemfunktionen ein wichtiger Überschneidungsbereich. An dieser Stelle findet in der Regel allerdings eine fachliche Trennung zwischen Pedologie und Geologie statt. Festzustellen ist, dass in den Geowissenschaften eine Betrachtung des obersten Teils der Erdkruste einen nachgeordneten Rang hat. Wird dieser jedoch betrachtet, wird weniger von „Boden“ als vielmehr von „Erdoberflächenprozessen“ gesprochen. Diese Beschränkung erfährt indessen eine Neuorientierung. Das „Critical Zone“-Konzept, von Geowissenschaftlern in den USA maßgeblich mitentwickelt und betrieben<sup>35</sup>, hat die Aufmerksamkeit der Geowissenschaftler auf die Stoffflüsse in der gesamten Zone vom unverwitterten Gestein bis zur Vegetation inklusive des Bodens gelenkt. Diese Entwicklung wird vor allem durch neue Beobachtungsmöglichkeiten in Observatorien, sowohl im Bodenprofil als auch in der Fläche, und

durch die Entwicklung neuer physikochemischer Analyseverfahren einschließlich der Fernerkundung angetrieben. Die Schnittstelle Boden-Atmosphäre wird fast ausschließlich vonseiten der Klimaforschung und weitgehend losgelöst von der Bodenhydrologie bearbeitet.

In den Jahren von 2000 bis 2005 wurde allein an insgesamt 59 Universitäten mit 91 involvierten Fachrichtungen bodenwissenschaftliche Forschung betrieben (Abb. 5). Die deutsche Boden- und Landmanagementforschung ist daher, gemessen an ihrer Präsenz, sehr gut aufgestellt. Es mangelt jedoch an institutioneller wie räumlicher Koordination und Schwerpunktbildung. Dies ist auch mit nicht ausreichenden Anreizen für solch eine Schwerpunktbildung verbunden. Die bereits zitierte Studie von Makeschin et al. zeigt, dass Bodenforschung sowohl an Universitäten und außeruniversitären Einrichtungen als auch an Institutionen der Ressortforschung durchgeführt wird.<sup>36</sup> Forschung in Unternehmen war nicht Gegenstand dieser Untersuchung und wurde nicht betrachtet.

Boden- und landnutzungsbezogene Forschung und Arbeiten werden hauptsächlich von Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft sowie der Leibniz-Gemeinschaft geleistet, während Institute der Max-Planck-Gesellschaft wesentliche Grundlagenforschung betreiben und die Fraunhofer-Gesellschaft stark anwendungs- und technologiebezogen arbeitet. Darüber hinaus unterhalten einige Bundesressorts bodenrelevante Forschungseinrichtungen mit unterschiedlichen Zuständigkeiten in zum Teil gleichartigen Themenfeldern. Dazu gehören zum Beispiel im Geschäftsbereich

1. des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): das Johann Heinrich von Thünen-Institut und das Julius Kühn-Institut,
2. des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): das Umweltbundesamt (UBA) und das Bundesamt für Naturschutz (BfN),

<sup>35</sup> Wilding/Lin 2006.

<sup>36</sup> Makeschin et al. 2008.



3. des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi): die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
4. des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS): die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR).

Strukturelle Veränderungen in den wissenschaftlichen Institutionen, wie Kapazitätsabbau und Neuordnungen, erschweren die zunehmend notwendige disziplinübergreifende thematische Vernetzung, um Lösungsvorschläge zu den aktuellen globalen Herausforderungen zu geben. Allein die Bodenforschung in Deutschland verfügt daher nicht mehr über geeignete Strukturen, um auf die aktuellen Herausforderungen in nationalen, europäischen und internationalen Bereichen zu reagieren. Es gibt Beispiele aus anderen Bereichen, in denen es gelungen ist, durch strukturelle Hilfestellungen erfolgreich Forschungsarbeiten zu bündeln und zu koordinieren (etwa Initiativen des BMBF zur Pflanzen- oder Tierforschung wie GABI oder FUGATO).

Die Forschung in Deutschland kann sich der anstehenden Herausforderungen in dem beschriebenen Fachbereich nur dann erfolgreich annehmen, wenn es ihr gelingt, die unbestritten vorhandene Expertise zu bündeln und das sektoral oder institutionell ausgerichtete Forschungsspektrum zu erweitern und neu zu ordnen. Mit Blick auf den wachsenden Nutzungsdruck auf die Georessourcen Wasser und Boden und die sich zum Teil in regionalen Kontexten drastisch ändernden Umweltbedingungen steht die Bodenforschung in einer strategischen Verantwortung, sich den hieraus ergebenden Herausforderungen zu stellen und Lösungen für einen Erhalt und eine nachhaltige Steigerung der Bodenproduktivität – das heißt unter Beachtung der Ansprüche der natürlichen Bodenfunktionen – zu entwickeln.

Dass derartige Zusammenarbeit möglich ist, zeigen einzelne größere Förderschwerpunkte des BMBF, wie zum Beispiel REFINA oder SiWaProg. In diesen Projekten ist es gelungen, die Ausrichtung der Forschungskette so zu gestalten, dass von der Grundlagenforschung bis zur Anwendungsreife notwendige Verfahren entwickelt und vermarktet werden konnten. Ein wesentliches Defizit solcher Großprojekte ist jedoch ihre temporäre Begrenztheit. In die richtige Richtung weist das BMBF-Projekt TERENO, welches das Ziel hat, eine Katalogisierung langfristiger ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen des globalen Wandels auf regionaler Ebene vorzunehmen. Die Erkenntnisse sollen dazu dienen, Lösungswege aufzuzeigen, wie am besten auf diese Veränderungen reagiert werden kann.

## 2.3 FORSCHUNGSFÖRDERUNG

In den bereits beschriebenen Forschungsbereichen gibt es eine Vielzahl von Aktivitäten in verschiedenen Ressorts der Bundesregierung. In der Hauptsache sind das BMBF, das BMELV, das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) und das BMU betroffen. Vom BMBF wird insbesondere grundlagenorientierte Forschung (auch über die DFG), mit steigender Tendenz aber auch anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung gefördert. Die anderen Ressorts fördern vor allem Projekte zur Erfüllung ihrer Ressortaufgaben.

In bisherigen Forschungsverbänden mit starker Beteiligung der Wirtschaft in anderen – nicht bodenbezogenen – Bereichen (GABI, FUGATO) versucht das BMBF, die beteiligten Unternehmen auch im Hinblick auf die Stärkung des Standorts Deutschland am Weltmarkt zu stützen. Diese Vorgehensweise kann als sehr erfolgreich angesehen werden und soll auf den Bereich Boden- und Landmanagement übertragen werden.

Die Durchführung der Förderung des BMBF erfolgt durch das Forschungszentrum Jülich (PTJ) und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die des BMELV durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) sowie die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Im nachgeordneten Bereich des BMU sind UBA und BfN, im nachgeordneten Bereich des BMWi die BGR an der Projektvergabe beteiligt.

Aufgrund der vorhandenen Vielfalt sind durchaus Potenziale bei der fachlichen Abstimmung der strategischen Forschungsplanung auszumachen sowie Synergien zwischen universitären (projektmittelbasiert) und außeruniversitären Forschungseinrichtungen (weitgehende institutionelle Förderung durch BMBF – teilweise BMELV) sowie der Ressortforschung des BMELV. Auch ein uneinheitliches Auftreten Deutschlands in der europäischen und internationalen Forschungslandschaft ließe sich teilweise vermeiden. Festzustellen ist jedoch, dass es bisher kaum eine Förderung interdisziplinärer, transdisziplinärer und integrierter Forschungsansätze zum Thema Boden und Landnutzung gibt. Sozial- und Politikwissenschaften wurden bislang kaum in Fördermaßnahmen einbezogen, auch die Planungswissenschaften tauchen kaum auf. Eine innovative Neuorientierung der Bodenforschung sollte dies künftig stärker berücksichtigen.

Die Forschungsprojekte der letzten Jahre in Deutschland und in der EU behandelten in erster Linie die Archivfunktion des Bodens, Stoffkreisläufe mit Schwerpunkt auf Kohlenstoff und Stickstoff und Schadstoffbelastungen. Forschungsprojekte mit dem Schwerpunkt auf Bodeninformationssystemen umfassten vor allem Vorhaben mit Methoden- oder Modellcharakter. Die Agrarwissenschaften legen ihren Forschungsschwerpunkt vor allem auf die Themenkomplexe Bodeninformationssysteme, Bodenbehandlung, Bodenbiologie und das System Boden-Pflanze. Der Fokus grundlagenorientierter, von der DFG geförderter bodenbezogener Forschung in Form von

Forscherguppen, Sonderforschungsbereichen und Schwerpunktprogrammen galt dem Kohlenstoff- und Nährstoffkreislauf sowie der Rolle der Biodiversität und der trophischen Interaktionen von Bodenorganismen in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung (davon zwei Forschergruppen in China und Ecuador), veterinärmedizinischen Wirkstoffen im Boden hinsichtlich einer Risikoanalyse sowie molekularen Grundlagen der Mykorrhiza-Symbiosen.

Derzeitige DFG-Forscherguppen bearbeiten Bodenprozesse bei extremen meteorologischen Bedingungen, Konkurrenzmechanismen der Wasser- und Stickstoffverteilung in Buchenwäldern, die nachhaltige Bewirtschaftung tropischer Bergwaldökosysteme in Ecuador, die Interaktion Vegetation-Boden und deren Funktionalität in subtropischen chinesischen Wäldern, den C-Umsatz in Nahrungsnetzen in Böden, die Biogeochemie der Reisbodenentwicklung sowie die skalenabhängige Wasserdynamik und den Beitrag der Unterböden für die Nährstoffversorgung landwirtschaftlicher Pflanzen. Zwei laufende Schwerpunktprogramme widmen sich biogeochemischen Schnittstellen und Prozessen sowie in Biodiversitätsexploratorien der Landnutzungsintensität, dem Biodiversitätswandel und den Ökosystemfunktionen. Ein DFG-Sonderforschungsbereich bearbeitet Fragen der nachhaltigen Landnutzung und der ländlichen Entwicklung in Südostasien.

Im Helmholtz-Forschungsbereich werden aktuell Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit Klimawandel und globalem Wandel untersucht. Dabei stehen Ökosystemleistungen von Aquiferen im Kontext mit Böden und die Modellierung sowie das Monitoring terrestrischer Systeme im Zentrum. Ausgewählte Projektbereiche betreffen systematische und flächenrepräsentative Ansätze der Bodenbeprobung (ModelPROBE) und mit TERENO besteht eine Forschungsplattform zur Katalogisierung langfristiger, ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen globalen Wandels auf regionaler Ebene.

Im Leibniz-Verbund verfolgt das Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) den Kohlenstoffhaushalt von Agrarlandschaften, das heißt Land- und Forstwirtschaft, im globalen Wandel und widmet sich in räumlicher Breite dem C-Sequestrierungspotenzial und den Treibhausgas-Emissionen in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung. Auch die einschlägigen Max-Planck-Institute mit Bodenbezug (Jena, Marburg) konzentrieren sich derzeit auf den Kohlenstoffhaushalt und die Treibhausgasdynamik von Böden.

Technisch ausgerichtete Fachrichtungen wie Geotechnik, Planungs-, Bau- und Umweltwissenschaften konzentrieren sich deutlich auf die Themenkomplexe Bergbaufolgelandschaften, Deponie- und Altlastenstandorte und ihre Sanierung. In den letzten zwei Jahren nahmen besonders die Forschungsaktivitäten in den Themenfeldern Klimawandel, Landnutzungswandel und Anbau von Energiepflanzen zu. Schwerpunktthemen bei der von der DFG geförderten Bodenforschung sind Prozesse der C-Speicherung und des C-Umsatzes in Böden, die Bodenfunktionen und die Boden-Biodiversität.

EU-Bodenforschung im engeren Sinne ist im Subprogramm 2 „Nachhaltiges Management von Ressourcen“ im Bereich „Bodenforschung und Desertifikation“ angesiedelt. Die geförderten Themen behandeln Bodendegradation und Risiken (4 Projekte: Landnutzungsänderungen, Rutschungen, Risiken), Bodenkontamination (3 Projekte: Monitoring und Bewertung), Bodensanierung (3 Projekte), Digital Soil Mapping (4 Projekte), Boden-C- und Nährstoffkreisläufe (6 Projekte) und Bodenmikrobiologie (Prozessforschung). Zwar sind Bodenthemen randständig auch in anderen Subprogrammen enthalten (Thema 6 - Wasserressourcen, Klimawandel, Umwelttechnologien und Erdbeobachtung), dort allerdings nur in peripherer und in der Regel untergeordneter Bedeutung.

## 2.4 WISSENSCHAFTLICHE VEREINIGUNGEN

Repräsentanten der Forschung in Deutschland sind in verschiedenen wissenschaftlichen und berufsständigen Gesellschaften organisiert, in denen sie in der Regel als Einzelmitglieder wirken. Die Hauptakteure bilden gemeinsam die Aktionsplattform Bodenschutz (ABo), die sich zusammensetzt aus:

- Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG),
- Bundesverband Boden (BVB),
- Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling (ITVA).

Weitere Gesellschaften, in denen Bodenwissenschaftler und bodenwissenschaftliche Fragen ebenfalls eine Rolle spielen, sind:

- Deutsche Geologische Gesellschaft (DGG),
- Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung (DGP),
- Gesellschaft für Ökologie (GfÖ),
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA).

Zu beachten sind ferner Aktivitäten verschiedener Beratungsgremien der Bundesregierung wie der Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE), Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) sowie der BÖR, die verschiedentlich auf die Bedeutung der Ressourcen Boden und Wasser hingewiesen haben.

Dies gilt auch für das neu geschaffene Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) in Potsdam. Das IASS fördert auf internationaler Ebene interdisziplinäre Wissenschaft und Forschung für die globale Nachhaltigkeit. Das Institut zielt darauf ab, im globalen Kontext neue Lösungen für die globalen Herausforderungen durch die Verknüpfung

verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen mit höchster wissenschaftlicher Exzellenz zu finden. Eine der zentralen Aktivitäten mit dem Schwerpunkt Boden und Landnutzung ist die Global Soil Week, die sich vor allem zukünftigen Herausforderungen für Wissenschaft, Politik und Gesellschaft widmen wird.

## 2.5 EUROPÄISCHE UND GLOBALE EINORDNUNG DES DEUTSCHEN FORSCHUNGSSTANDORTS

Deutschland war lange Zeit führend in den Bodenwissenschaften. Dies dokumentierte sich auch in der globalen Nutzung der deutschen Sprache in diesem Bereich. Diese Situation hat sich spätestens in der Mitte des letzten Jahrhunderts verändert. Fakt ist, dass die Boden- und Landnutzungsforschung in Deutschland inzwischen vorwiegend sektoral orientiert ist und damit ihre globale Führungsrolle verloren hat. Die Gründe dafür sind vielfältig: Neben der Verschiebung des Aufgabenspektrums ist ein weiterer wesentlicher Punkt die damit einhergehende starke Zersplitterung des Forschungsfelds und die damit fehlende kritische Masse, um effizient Themenschwerpunkte zu bilden und damit eine entsprechende europäische beziehungsweise internationale Sichtbarkeit zu erlangen. Dies zeigt sich auch an der verhältnismäßig geringen Beteiligung deutscher Institutionen an europäischen oder gar internationalen bodenbezogenen Forschungskonsortien, wengleich einzelne Forschungseinrichtungen in diesem Sektor partiell immer noch sehr gefragt sind.

Der Anreiz für die Forschung, sich international zu vernetzen und zu profilieren, war in Deutschland weniger wirksam als in anderen Ländern der EU, da der akademische „Markt“ der deutschsprachigen Region ausreichend groß war. Mit den veränderten globalen Anforderungen ist dies allerdings notwendig. Diese neue Ausrichtung sollte prononciert gefördert werden.

Eine der wichtigsten europäischen Adressen für Fragen der Bodenforschung ist das EU Joint Research Center in Ispra mit dem European Soil Bureau. Deutschland wird hier durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe vertreten. Weitere wichtige, national organisierte Institutionen mit Leuchtturmcharakter sind zum Beispiel das Institut nationale de la recherche agronomique (INRA) in Frankreich sowie der Forschungsstandort Wageningen in den Niederlanden.

Allerdings gibt es in Europa bislang keine systematische Übersicht beziehungsweise Analyse der an der Bodenforschung beteiligten Institute. Auch im Prozess zur Erarbeitung einer europäischen Bodenstrategie wurde dieses Thema nicht behandelt. Aus diesem Grund hat acatech parallel zur Etablierung eines deutschen Forschungs- und Technologieverbunds die Initiative in Europa für ein europäisches Netzwerk unter dem Dach von EuroCase (European Council of Sciences and Engineering) ergriffen. Eine erste Aufgabe soll die Analyse der vorhandenen Forschungsstrukturen in Europa sein.

International ist die Bodenforschung überwiegend in wissenschaftlichen Zentren für landwirtschaftliche Fragen oder Umweltaufgaben integriert. Beispiele hierfür sind die bodenkundlichen Institute innerhalb der kanadischen (AAFC) und US-amerikanischen Agrarforschung (USDA) oder der EMBRAPA (EMBRAPA-Soils in Rio de Janeiro) in Brasilien. In den Entwicklungsländern ist die 1971 gegründete Beratungsgruppe für Internationale Agrarforschung (Consultative Group on International Agricultural Research, CGIAR) eine strategische Partnerschaft verschiedener Geber, die 15 internationale Zentren unterstützt und mit Hunderten staatlichen und nichtstaatlichen Organisationen sowie Privatunternehmen in aller Welt zusammenarbeitet. Die Institute sind nach den Aufgabengebieten vor allem der agrarischen und forstlichen Landnutzung oder Tierhaltung gegliedert; drei Institute beschäftigen sich mit Biodiversität, Wasserfragen oder Ernährungspolitik. Ein spezifisches Institut, welches sich

ausschließlich mit Fragen der Boden- und Landnutzung beziehungsweise der Bodendegradation befasst, fehlt allerdings bislang. Zu den CGIAR-Geldgebern zählen sowohl Entwicklungs- als auch Industrieländer, internationale und regionale Organisationen sowie private Stiftungen einschließlich des BMZ. Eigene wissenschaftliche Institute der Bodenwissenschaften mit internationaler Exzellenz arbeiten unter dem Dach der nationalen Wissenschaftsakademien in Russland (Dokuchaev-Institut) und China (Institute of Soil Science Nanjing).

Sowohl in der international ausgerichteten Projektförderung des BMBF als auch der des BMZ gibt es Anknüpfungspunkte für deutsche Forschungseinrichtungen. Am Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Landmanagement“ sind eine Vielzahl deutscher Institute beteiligt. Ebenso sind Institute im Rahmen der Forschungsförderung von BMELV, BMU und Auswärtigem Amt (AA) international positioniert. Diese Aktivitäten laufen jedoch parallel zueinander und sind strukturell wie fachlich nicht beziehungsweise nicht optimal abgestimmt.

## 3 NOTWENDIGE UND NEUE HANDLUNGSFELDER

Die Anforderungen an die Boden- und Landmanagementforschung haben sich aufgrund der großen Herausforderungen wie Klimawandel, Ressourcenknappheit, Ernährungssicherheit und Materialmanagement im Verlauf des letzten Jahrzehnts deutlich gewandelt. Standen bis vor Ende der 1990er Jahre ökologische Fragestellungen im Vordergrund, so rücken nunmehr durch die gestiegene Nachfrage nach Biomasse vermehrt die Verfügbarkeit produktiver Flächen sowie die klimabedingte Vulnerabilität der land- und forstwirtschaftlichen Produktion in Verbindung mit einer Verknappung weiterer Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Energie sowie produktionstechnische Probleme in den Fokus der nationalen und internationalen Aufmerksamkeit. Es steht die Forderung einer erneuten „Grünen Revolution“ im Raum, die die Produktivität auch durch ein besseres Management der Böden erhöhen soll. Länder wie Deutschland wirken in diesem Zusammenhang als „Labor für grünes Wachstum“ (OECD), in denen die sogenannte „Green Economy“ als Motor für nachhaltiges Wachstum gilt.

In verschiedenen Bereichen sind zu unterschiedlichen Themen – mit zum Teil überlappenden Fragestellungen – eine Vielzahl von Einzelprojekten gefördert worden, die mit Ergebnissen hoher wissenschaftlicher Qualität beendet wurden. Diese Einzelergebnisse sind aber in der Regel nicht miteinander zu vergleichen, da ihre Erhebung auf unterschiedlichen methodischen Grundlagen beruht. Eine Bewertung übergreifender Fragen wird dadurch in der Zusammenschau durch einzelne Dritte zumindest erschwert, wenn nicht unmöglich. Hierzu bedarf es einer Konsentierung auf breiter fachlicher Basis, die über die im Folgenden vorgestellten Handlungsfelder erfolgen soll.

Die Handlungsfelder sind nicht fächerspezifisch, sondern themen- beziehungsweise aufgabenspezifisch ausgerichtet, da nur durch eine fächerübergreifende (beziehungsweise inter- und intradisziplinäre) Zusammenarbeit umfassende Lösungsvorschläge vorgelegt werden können.

Es gibt eher grundlagenorientierte Handlungsfelder und eher anwendungsbezogene Handlungsfelder sowie solche mit Querschnittscharakter, die aber aufgabenspezifisch eng miteinander verknüpft sind.

### 3.1 BODENRESSOURCEN UND FLÄCHENMANAGEMENT

**Ziel: Konzepte zum ressourcensparenden Umgang mit Boden und Entwicklung von Managementansätzen für künftige konkurrierende Flächennutzungen mit der Ausrichtung an veränderten Anforderungen in Richtung einer nachhaltigen und qualitätsvollen Stadt- und Regionalentwicklung**

Die Siedlungs- und Verkehrsflächen breiten sich in Deutschland weiter aus: Die Inanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke ist – ungeachtet anderslautender Zielsetzungen – mit einer bundesweiten Zunahme um 75 Hektar pro Tag ungebrochen hoch. Über 50 Hektar – oftmals hochwertiger – Boden werden dabei neu versiegelt. Die Flächeninanspruchnahme für Siedlungszwecke ist besonders hoch in ländlichen Gebieten, mit der Folge, dass die Siedlungsdichten weiter abnehmen; das heißt Zersiedelung und Fragmentierung halten mit ihren ökonomischen, sozialen und ökologischen Folgewirkungen an. Gleichzeitig verschärfen die konkurrierenden Nutzungsansprüche aufseiten der Landwirtschaft („Teller, Tank und Energie“) und die flächenbezogenen Anforderungen der Energiewende (Stromtrassen, Leitungsnetze, Speicheranlagen, Kraftwerke etc.) den Wettbewerb um Fläche. Die konkurrierenden Ansprüche an den begrenzten Rohstoff Boden wachsen. Künftige Flächennutzung und Flächenmanagement stehen vor vielfältigen neuen Herausforderungen. Wertverluste von Immobilien in stagnierenden und schrumpfenden Regionen einerseits, sozial ausgewogene Innenentwicklung in prosperierenden Städten andererseits, steigende Infrastrukturkosten oder die Wertsteigerung landwirtschaftlicher Fläche

sind nur einige der Faktoren, die ein dringendes Umsteuern erfordern. Da die bisher vorliegenden Ansätze zum Bodenressourcen- und Flächenmanagement inhaltliche Leerstellen und zudem Umsetzungsdefizite aufweisen, zeichnen sich – trotz bisher bereits erfolgter Forschungsaktivitäten – weitere erhebliche Forschungsbedarfe ab.

Klimawandel und die drohende Energiekrise erfordern eine nachhaltige Erneuerung des Siedlungsbestands und eine Neuorganisation der bisherigen „grünen“ Flächennutzungen. Vermeiden, Mobilisieren und Revitalisieren sind im Rahmen einer Flächenkreislaufwirtschaft Eckpunkte einer flächeneffizienten und dadurch auch energiesparenden und klimaschützenden Siedlungsentwicklung. Neben dem bisher verfolgten Fokus auf die Flächeninanspruchnahme von Wohnen und Gewerbe sind verstärkt die Ansprüche von Handel, Verkehr, Leitungstrassen oder Freizeitimmobilien zu betrachten. Um noch nicht realisierte Reduktionspotenziale auszuschöpfen, sind zudem die Akteure und Interessen einzubeziehen, die bisher noch nicht im Fokus standen. Geprüft werden sollte auch die Übertragung des Ansatzes der Flächenkreislaufwirtschaft auf die flächenbezogenen Ansprüche der Energie- und Landwirtschaft in städtischen und ländlichen Regionen.

„Flächenfraß“ ist oftmals ein Ergebnis rationaler Entscheidungen, zurückzuführen auf Fördermaßnahmen, Nachfragevermutungen, interkommunale Konkurrenzen, unzureichende Informationen etc. Die Forschung darf durch die Weiterentwicklung rechtlicher, ökonomischer und planerischer Instrumente und deren Erprobung in der Praxis keine Pauschallösungen entwickeln, sondern sollte einen jeweils projekt- und regionsspezifischen Policy-Mix ausarbeiten.

Vorliegende Forschungsergebnisse zeigen, dass Informationsdefizite eine der wesentlichen Ursachen für das gering ausgebildete Problembewusstsein zum Flächenverbrauch sind. Notwendige Bausteine für einen veränderten Umgang mit Flächen sind die Entwicklung von Ansätzen des Flächenmonitorings auf Bundes-, Landes-,

Regions- und kommunaler Ebene, die Verbesserung der Informationsgrundlagen sowie die Einführung und Anwendung quantitativer und qualitativer Parameter beziehungsweise Indikatoren zur Bewertung der Böden, Flächen und der Flächeninanspruchnahme. Hierzu müssen die vorhandenen Instrumente und Tools zur Erfassung, nachhaltigen Bewertung und Mobilisierung von Boden und Flächen weiterentwickelt und ergänzt werden.

Flächeninanspruchnahme endet nicht an administrativen Grenzen und Flächenmanagement betrifft den Aufgabenbereich zahlreicher Ressorts; dabei verfolgen die Flächenakteure unterschiedliche Interessen. Das bedeutet für ein zukunftsfähiges Bodenressourcen- und Flächenmanagement, kommunale, interkommunale und regionale Steuerungsprozesse weiterzuentwickeln und innovative Governance-Strukturen zu entwerfen, in denen relevante Akteure und Institutionen neue Formen der Kooperation und des Aushandelns der jeweiligen Flächenansprüche gestalten. Diese beinhalten sowohl neue Abstimmungs- und Ausgleichsregelungen als auch Beteiligungsprozesse mit der Zivilgesellschaft.

Kommunikation und Bewusstseinsbildung sind gleichfalls von besonderer Bedeutung für ein zukunftsfähiges Bodenressourcen- und Flächenmanagement. Durchgeführte Programme und Projekte konnten zeigen, dass der nachhaltige Umgang mit der Ressource Fläche als Zukunftschance und Strategie für mehr Effizienz vermittelt und mit der Sicherung und Steigerung der Lebensqualität einerseits und dem Werterhalt des Immobilieneigentums andererseits verknüpft werden sollte. Hieran gilt es auch in der Forschung anzuknüpfen und zudem neben Kommunen und öffentlichen Institutionen vor allem Immobilien- und Grundstückseigner, Immobilienfinanzierer und -entwickler, aber auch die breite Bevölkerung zu adressieren. Ein wesentliches Element zur Förderung der Problemwahrnehmung ist die Thematisierung von Bodenfragen auf allen Stufen der Erziehung und Ausbildung.

### 3.2 BODENLANDSCHAFTEN, LANDNUTZUNG UND KLIMAWANDEL

#### **Ziel: Schaffen von Sicherheit für die Planung und Stärkung des land- und forstwirtschaftlichen Bodenmanagements in den kommenden Jahrzehnten**

Böden sind integrale Bestandteile von Landschaften; sie sind dynamische Systeme und reagieren plastisch auf Veränderungen, so auch auf Art und Intensität des Landmanagements und des Klimawandels. Böden als Quellen oder Senken für Treibhausgase können zum Klimawandel beitragen, sind von ihm betroffen oder sind in der Lage, durch C-Speicherung Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre zu entziehen. Deshalb sind Anpassungen insbesondere zur nachhaltigen Bodennutzung erforderlich. Funktionsfähige Böden sind Voraussetzung für die Produktion von Biomasse und Ökosystemdienstleistungen. Damit erbringen Böden natürliche und wirtschaftlich relevante Erträge.

Landmanagement und Klimawandel werden absehbar regional signifikante, aber durchaus unterschiedliche Auswirkungen zeigen, sodass es notwendig ist, regionaltypische Anpassungsstrategien zu entwickeln. Dazu ist eine Neubewertung der in Deutschland vorhandenen bodenspezifischen Landnutzungen vorzunehmen. Mögliche zukunftsorientierte Weiterentwicklungen sind auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen zu extrapolieren. Nur auf dieser Basis wird es möglich sein, politische, rechtliche oder wirtschaftliche Entscheidungen zu treffen beziehungsweise geeignete Instrumente für die jeweiligen Zielstellungen von Böden einzusetzen oder zu entwickeln. Voraussetzung ist ein kohärentes und konsistentes, wissenschaftlich abgesichertes Konzept für Landnutzer und Administratoren, um die wachsenden Anforderungen an Böden und Fläche zu bewältigen.

Wichtige Aspekte werden dabei die globalen und regionalen Potenziale der Biomasseproduktion und Erzeugung von Lebensmitteln in ausreichender Menge und Qualität bei

gleichzeitiger Erfüllung der notwendigen Ökosystemfunktionen im Landschaftsmaßstab sein. Zentrales Element ist hierbei die ökonomische Analyse unterschiedlicher Nutzungsoptionen. Bislang zu wenig bekannt sind unter anderem die standort- und regionalspezifischen Speicherpotenziale für organischen Kohlenstoff in Ober- und Unterböden und deren systematische Abhängigkeit von Bewirtschaftungssystemen sowie die Wasser, Stoff und Energieströme in Landschaften als Basis objektiver Grundlagen für eine Einbeziehung von Böden in den C-Zertifikate-Handel. Dazu sind bisherige Ansätze zur Abschätzung von Emissionen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aus Böden im Landschaftsmaßstab zu validieren, Eingangsparameter und Bewertungsmaßstäbe zu harmonisieren und Empfehlungen zur wissenschaftlichen Weiterentwicklung abzuleiten. Einzubeziehen in diese Überlegungen sind unter anderem sich verändernde Landschaftswasserhaushalte, schleichende Bodenerosion und Bodenverdichtung und die mit ihnen verbundenen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen sowie die daran gekoppelten Stoffströme (Standorte, Verdichtungsräume, Rückführung). Besondere Beachtung finden in diesem Zusammenhang Nährstoffe wie Phosphor.

Die allgegenwärtigen Änderungen der Landnutzung und des Landmanagements unterstreichen die Notwendigkeit, stärker eine möglichst breite Perspektive bei der Entwicklung künftiger Politiken und Strategien einzunehmen. Es wurde in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von Forschungsprojekten in diesem Bereich durchgeführt; deren Ergebnisse sind auf die neuesten Entwicklungen zu übertragen. Diese Arbeiten sind von großem Gewicht, da besonders in den kommenden Jahrzehnten ein sehr starker Druck auf die Landnutzung zu erwarten ist. Grenzen der standörtlichen Belastbarkeit sind hierzu auszuloten sowie Stresstests für unterschiedliche Standortbedingungen zu entwickeln.

Der starke Einfluss des Boden- und Landmanagements auf Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen ist unbestritten. Um diesem Einfluss gerecht zu werden, ist es notwendig,

wissensbasierte Grundlagen im Vorfeld der Entscheidungen zu Landnutzungsänderungen bereitzustellen. Landwirtschaft, Forstwirtschaft und naturnahe Lebensräume könnten eine wichtige Rolle bei der Abmilderung der Folgen des Klimawandels spielen; sie müssen aber an sich verändernde externe Einflüsse angepasst werden. Die Bewertungen und Empfehlungen sind dabei sozioökonomisch, rechtlich, technisch und planerisch zu würdigen und die internationalen Entwicklungen zu berücksichtigen.

### 3.3 SOIL ENGINEERING UND MELIORATION – INWERTSETZUNG DEGRADIERTER FLÄCHEN

**Ziel: Ermittlung innovativer Verfahren und Technologien zur Verbesserung von Bodenfunktionen, insbesondere degradierter Standorte**

Mehr als 90 Prozent aller weltweit konsumierten Nahrungsmittel stammen letztlich aus der Bodennutzung. Hierzu stehen etwa 38 Prozent der vorhandenen Landfläche für landwirtschaftliche Nutzungen zur Verfügung. Das entspricht knapp 5 Milliarden Hektar, wovon der überwiegende Teil Weideland ist. Nur etwa 1,4 Milliarden Hektar sind Ackerflächen. Jährlich verliert die Menschheit davon zwischen 5 und 10 Millionen Hektar. Die Folge ist – bei gleichzeitig wachsender Weltbevölkerung – eine Abnahme der im Mittel je Erdbewohner verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche von derzeit etwa 0,25 auf 0,15 Hektar bis 2050. Besonders dramatisch ist die Situation in vielen dicht bevölkerten Ländern Asiens und Afrikas, in denen die pro Kopf verfügbare Bodenfläche bereits 2025 bis auf 0,03 Hektar sinken wird. Gleichzeitig steigen jedoch die Anforderungen der Menschheit an den Boden und seine Funktionen. Böden sollen heute nicht nur gesunde Nahrung erzeugen, sondern dienen zunehmend auch als Energie- und Rohstofflieferant für die Industrie. Des Weiteren sollen sie das Grundwasser vor schädlichen Schadstoffeinträgen bewahren, zum Klimaschutz beitragen, als Ausgleichskörper im

Naturhaushalt dienen, vor Hochwasser schützen und ökosystemare Funktionen erfüllen. Diese wachsenden Anforderungen können die Böden nachhaltig nur dann erfüllen, wenn die Produktivität der vorhandenen Bodenressourcen gefördert wird und gleichzeitig bereits degradierte Böden wieder in Wert gesetzt werden.

Weltweit sind heute bereits mehr als 1,5 Milliarden Hektar Bodenfläche von Degradation betroffen. Dieses Ausmaß verdeutlicht einerseits die Dimension der Aufgabe, der sich das Handlungsfeld stellt, andererseits wird das durch Wiederherstellung der Böden und ihrer Funktionen realisierbare Produktions- und Nutzungspotenzial ersichtlich. Mit etwa 0,8 Milliarden Hektar nimmt die Erosion durch Wasser eine herausragende Stellung ein. Darüber hinaus spielen Winderosion, Nährstoffverarmung, Versalzung und Verschmutzung eine wichtige Rolle für den globalen Bodenverlust. Besonders stark betroffen sind die Entwicklungsländer. Denn dort liegen 77 bis 100 Prozent der durch diese Faktoren nur eingeschränkt bis überhaupt nicht mehr nutzbaren Bodenflächen. Aber auch in den Industrieländern ist der Bodenverlust signifikant. Hier spielen neben Bodenerosion vor allem die Verdichtung und Versiegelung von Böden eine zentrale Rolle. Hinzu kommen spezifische Bodenbelastungen zum Beispiel durch den Tagebau oder frühere industrielle und infrastrukturelle Nutzungen. Vor diesem Hintergrund fokussiert das Handlungsfeld zunächst in globaler Sichtweise Flächen, die von Bodenerosion betroffen sind. Bezogen auf Industrieländer werden Bergbaufolgelandschaften als prioritäre Arbeitsfelder angesehen.

Heute liegen langjährige Erfahrungen zur Wiedernutzbarmachung degradierter Böden zum Beispiel aus dem Bereich der großen Meliorationsvorhaben vor. Diese gilt es systematisch aufzuarbeiten, an spezifische standörtliche Bedingungen zu adaptieren und der Praxis für die konkrete Umsetzung bereitzustellen. Erfolg versprechende Ansätze basieren auf der Weiterentwicklung innovativer Bodenbearbeitungs- und Meliorationsverfahren sowie angepasster Biotechnologien

und sind in enger Zusammenarbeit mit den Disziplinen Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung sowie mit mikrobiellen Technologien zu erreichen. Vergleichbares gilt für Böden, die durch Bodenerosion degradiert wurden. Zu berücksichtigen sind dabei auch neue Technologien zur Aufbereitung und Stabilisierung biologischer Rest- und Abfallstoffe, zum Beispiel im Rahmen der Herstellung von Biokohle und sogenannter Terra Preta-Ansätze, sofern diese zur Verbesserung oder Wiederherstellung der Bodenfunktionen in degradierten Landschaften beitragen können. Ebenso wie innovative Bodenbearbeitungs- und Meliorationsverfahren können diese neuen Techniken auch unter dem Aspekt des Technologietransfers für die deutsche Wirtschaft interessant werden, da die deutsche Industrie auf diesem Gebiet zu den weltweit führenden gehört. Die zu entwickelnden Wiederherstellungsverfahren müssen ökonomisch und ökologisch bewertet, Investitionsbedarfe eruiert, Umsetzungshemmnisse identifiziert und Lösungsvorschläge für deren Behebung erarbeitet werden. Unter Einbeziehung der Geofernerkundung können ex-situ und großflächig Problemstandorte punktgenau angesprochen und klassifiziert werden. Die regionsspezifische Bewertung sozioökonomischer Faktoren und des Beitrags der Melioration und Wiederinwertsetzung der Standorte unter betrieblichen und landschaftlichen Gesichtspunkten sind dadurch möglich. Der Praxis kann ein verlässliches Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden, um degradierte Standorte wieder in Funktion zu setzen und darauf wirtschaftlich und nachhaltig zu produzieren. Gleichzeitig können die wiederhergestellten Böden auch natürliche und ökosystemare Basisfunktionen besser leisten als die geschädigten. Die Bodenrente und damit der spezifische Marktwert der Böden steigen, was sowohl betriebswirtschaftlich als auch volkswirtschaftlich von großem Interesse ist.

Weiterhin sind juristische Zusammenhänge zwischen Bodenschutz, Berg-, Bau- und Naturschutzrecht bei Eingriffen in den Boden und deren Kompensation zu betrachten. Dabei sollen Behörden sowie Unternehmen einfache

Methoden zur Bewertung der Eingriffe und gleichwertigen Kompensation zur Verfügung gestellt werden. Auf das Gleichgewicht zwischen betriebs- sowie volkswirtschaftlichen Erfordernissen und gesetzlichen Anforderungen wird besonderer Wert gelegt.

### 3.4 BODEN, ERNÄHRUNG UND GESUNDHEIT

**Ziel: Erfassung und Bewertung der Interaktion von Bodenzustand, pflanzlichem Anbauprodukt und Umwelthygiene unter ernährungsphysiologischen und gesundheitlichen Aspekten**

Böden sind offene Systeme, die mit Atmo-, Hydro- und Biosphäre verbunden sind. Sie beeinflussen mittels ihrer standörtlichen Lage und ihrer stofflichen Zusammensetzung wesentlich die Qualität der auf ihnen angebauten Ernteprodukte, die Qualität des unter ihnen liegenden Grundwassers sowie die stoffliche Zusammensetzung und den hygienischen Zustand der ihnen angrenzenden Oberflächengewässer. Die Gehalte an wertgebenden oder wertmindernden Inhaltsstoffen in Ernteprodukten und die Qualität weiterer Umweltkompartimente (insbesondere Wasser) bestimmen neben den bodenchemischen Eigenschaften die Pflanzenart, Sorte und Fruchtfolge, die Menge und Zusammensetzung organischer sowie mineralischer Dünger und die Qualität des Beregnungswassers. Tolerierbare Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen in Lebens- und Futtermitteln sind im Codex Elementarius festgelegt und stellen damit eine Benchmark dar, die es marktseitig einzuhalten gilt. Entsprechende Ableitungen für Mindestgehalte an erwünschten Inhaltsstoffen in Ernteprodukten als Qualitätsziel gesunder Lebensmittel liegen derzeit nicht vor. Für die qualitative Bewertung von Grund- beziehungsweise Trinkwasser sind sie hingegen bereits verfügbar.

Neben zu hohen Gehalten an Spurenstoffen stellen im globalen Maßstab jedoch gerade Mangelerscheinungen in

Pflanzen ein wesentliches Problem dar, die sich auch in den entsprechenden Ernteprodukten widerspiegeln; eine ausgeglichene Zusammensetzung ist aber entscheidend, insbesondere für die Prophylaxe bestimmter ernährungsbedingter Krankheiten bei Mensch und Nutztieren. Verantwortlich sind in der Regel Böden mit geochemisch mangelhafter Ausstattung an Mikroelementen. Dadurch werden in bestimmten Regionen gesundheitliche Beeinträchtigungen der sich mit diesen Pflanzen versorgenden Bevölkerungsgruppen induziert.

Auf der anderen Seite führt eine massive Urbanisierung und Forcierung der industriellen Produktion tierischer Produkte zu Belastungen von Böden und ihnen angeschlossenen Umweltkompartimenten. Neben einem Eintrag von anorganischen Schadstoffen erfolgt im globalen Maßstab auch zunehmend eine Anreicherung mit Hormonen, Pharmazeutika sowie mit humanhygienisch problematischen viralen und mikrobiellen Erregern. Damit sind Böden mit ihrer sogenannten „Selbstreinigungskraft“ gefordert. Belastung und Belastbarkeit sind in diesen Bereichen erst ansatzweise bekannt. Dies gilt insbesondere für Regionen in Schwellen- und Entwicklungsländern. Die Problematik und damit verbunden der Forschungs- und Handlungsbedarf rückte aber auch durch aktuelle Ereignisse, zum Beispiel durch Prionen und den Erreger EHEC, ins Zentrum des öffentlichen Interesses. Die Defizite unserer Kenntnisse und damit der vorbeugenden Möglichkeiten werden zumeist erst im akuten Fall beleuchtet.

Um in diesen Bereichen grundsätzlich Fortschritte zu erzielen, ist es notwendig, die Vorgänge auszuloten, die bewirtschaftungs-, sorten- und standortspezifisch für eine Belastung und Belastbarkeit verantwortlich sind, für die Aufnahme beziehungsweise Nicht-Aufnahme der relevanten Spurenstoffe durch Pflanzen beziehungsweise für die Persistenz sowie den Abbau organischer Wirkstoffe und für die Reduzierung der mikrobiellen Belastung. Dies muss in enger Zusammenarbeit mit Pflanzenzüchtung, Pflanzenbau, Pflanzenernährung, Ernährungswissenschaften, dem Stoffstrommanagement, den Herstellungsmethoden, Verteilungswegen und insbesondere

der Medizin geschehen. Dazu sind entsprechend geeignete Methoden festzulegen, um Aufnahmen quantitativ, qualitativ und statistisch abgesichert beurteilen zu können. Dies gilt sowohl für toxische Stoffe, zum Beispiel Cadmium, Platin oder Uran, als auch für notwendige Spurenstoffe wie Zink oder auch für mikrobielle Verunreinigungen. International blieben diese Zusammenhänge wissenschaftlich bisher weitgehend unbeachtet.

Für die ökotoxikologische und hygienische Unterlegung vieler Rechtsregelungen sind fachtechnische Konzepte auf wissenschaftlicher Basis notwendig – so auch im Bereich des Übergangs von Boden-Pflanze beziehungsweise Boden-Grundwasser. Die aktuellen Defizite bestehen darin, dass vielfach ausreichend wissenschaftlich fundierte Daten zur Ableitung solcher Konzepte fehlen. Unabhängig davon sind diese fachtechnischen Konzepte in der Vergangenheit in verschiedenen Bereichen, zum Beispiel dem Bodenschutzrecht, dem Düngemittelrecht oder dem Lebensmittelrecht, unabhängig voneinander abgeleitet worden. Teilweise wurden vorhandene Daten über Schätzungen beziehungsweise allgemeine Annahmen in diese Konzepte integriert. Eine Validierung der Ergebnisse nach den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis wurde hilfsweise nur eingeschränkt durchgeführt. Diese Rechtsregelungen bestimmen wesentlich nicht nur wirtschaftliches Handeln, sondern haben auch Auswirkungen auf die gesundheitliche Vorsorge und verursachen je nach Ausprägung entsprechende Kosten. Unbestritten ist, dass Regelungen zum Schutz der öffentlichen Güter unabdingbar sind.

Die bei der Erarbeitung dieser fachtechnischen Konzepte auftretenden wissenschaftlichen Fragestellungen werden nach Abschluss der rechtstechnischen Verfahren oftmals nicht weiter beachtet beziehungsweise bearbeitet oder wissenschaftlich weiterentwickelt.

Ziel des Handlungsfelds ist es, die oben aufgeführten komplexen Probleme der Bodenbeschaffenheit und

Bodenbewirtschaftung, der Nahrungskette mit den pflanzlichen Bodenprodukten und möglichen Belastungen in Bezug auf die Konsequenzen für die Ernährung und Gesundheit systematisch zu analysieren. Es werden Standards und Grenzwerte geprüft und eventuell neu festgelegt werden müssen. Defizite in der Kenntnis dieser Bereiche für die Ernährung und Gesundheit sind zu beschreiben und eventuell neue Forschungsfelder zu definieren. Eine umfassende Analyse dieser komplexen interdisziplinären Fragestellung liegt bisher international nicht vor. Die Ergebnisse werden auf ihre praktischen Konsequenzen hin überprüft und nationale sowie internationale Empfehlungen ausgearbeitet werden.

### 3.5 STANDORTSPEZIFISCHE BIOGEOCHEMIE UND STOFFDYNAMIK IN BÖDEN

**Ziel: Identifizierung, Quantifizierung und Steuerung bewirtschaftungsrelevanter biogeochemischer Prozesse und ihrer Dynamik in Ober- und Unterböden**

Böden spielen eine entscheidende Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf, da sie das größte terrestrische Kohlenstoffreservoir darstellen. Landnutzungsänderungen sind wesentliche Ursache für die Vulnerabilität von Ökosystemen, die das Gleichgewicht zwischen Kohlenstoffinput, der Stabilisierung des Kohlenstoffs im Boden und der Mineralisierung von organischer Bodensubstanz durch sich wandelnde Landnutzung auf längere Sicht verändern. Als „Boden“ oder „Pedosphäre“ versteht man die durch Gesteinsverwitterung, durch biotische Umwandlung organischer Substanzen und durch Translokationsprozesse beeinflusste äußerste Schicht der Lithosphäre. In der Pedosphäre durchdringen sich die Litho-, Hydro-, Bio- und Atmosphäre. Bedingt durch die extrem hohe Heterogenität der standörtlichen Faktoren sind Böden korrespondierend in ihren physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften vielgestaltig. Darüber hinaus prägt in Abhängigkeit vom Standort eine

starke vertikale Differenzierung die Bodenpotenziale für Vegetation und Umwelt. Böden sind als Standortkomponente die Grundlage für die Pflanzen- beziehungsweise Biomasseproduktion (Produktionsfunktion), die wesentlich durch die standortspezifischen Bodeneigenschaften beeinflusst wird. Als offene, zentrale Struktur- und Funktionselemente von terrestrischen Ökosystemen tauschen Böden Stoffe (C, N, P, S, Wasser) und Energie mit Nachbarsystemen, wie der Atmosphäre und der Hydrosphäre, aus (Regelungsfunktion). Auch die Speicherung und Umsetzung von Kohlenstoff sowie von den Makro- und Mikro-nährstoffen sind eng mit den standortspezifischen Bodeneigenschaften verbunden. Die differenzierte Kenntnis dieser Prozesse und ihrer Kopplung ist entscheidend, um die Stoffdynamik in Böden regional steuern, Modelle für die Prognose unter Bewirtschaftungs-, Landnutzungs- und Klimawandel entwickeln und zum Beispiel klimabedingte Änderungen des Standortpotenzials bewerten zu können.

Um Schlüsselmechanismen der C-Stabilisierung zu identifizieren, müssen sowohl die Poolgröße als auch die Umsatzzeit operationeller Fraktionen betrachtet werden sowie die Zusammenhänge zwischen Stabilisierungsmechanismen und Bodeneigenschaften (zum Beispiel Bodenreaktion, Mineralogie) erarbeitet werden. Zurzeit liegt keine umfassende Bewertung der Quellen- und Senkenfunktion für Kohlenstoff in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden vor. Hier ist insbesondere auf den Erhalt, aber auch den Aufbau entsprechender Langzeitexperimente und Dauerversuche zu achten. Die Etablierung solcher Versuche ist unabdingbar, um Langfristeffekte überhaupt greifbar zu untersuchen. Die lückenhafte Datengrundlage weist auf erheblichen Forschungsbedarf insbesondere zur Beschreibung passiver C-Pools hin.

Ein verbessertes Verständnis der standortspezifischen Quellen- und Senkenfunktionen von Böden (Bodenregionen, Hot Spots) für Kohlenstoff und Stickstoff ist für wissenschaftliche Empfehlungen hinsichtlich möglicher Auswirkungen von

Landnutzungsänderungen und des Klimawandels unverzichtbar. Da auftretende Veränderungen einerseits häufig sehr langsam ablaufen und schwer erkennbar sind, sich andererseits aber auch sehr rasch vollziehen können, zum Beispiel durch extreme Witterungsereignisse oder Landnutzungswandel, gilt es vor allem, neue Ansätze für die Untersuchung und Bewertung der Wechselwirkung zwischen Ausgangssubstrat, Klima, Landschaftsmorphologie, Nutzungshistorie und Bewirtschaftung zu entwickeln. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Maximierung der C-N-Speicherung in Böden zu richten, auf die C-N-Speicherformen, auf die räumliche Verteilung der organischen Bodensubstanz bis hin zum Ausgangsmaterial beziehungsweise der tiefen Biosphäre und auf die Rolle der bodenmikrobiellen Populationen. Gleichzeitig müssen der Erhalt und die Steigerung der Bodenproduktivität gewährleistet sein.

Mit der Ressourcenverknappung und der Diskussion um die Ressourcen- und Energieeffizienz insbesondere in der Landwirtschaft bekommen das Verständnis der Nährstoffvorräte in Böden, deren Bindungsformen und räumliche Zugänglichkeit, das Verständnis des bodeninternen Nährstoffnachlieferungsvermögens als Beitrag zur Pflanzenernährung sowie die Frage der Qualität von mineralischen Düngemitteln oder Wirtschaftsdüngern und organischen Reststoffen eine neue Dimension. Gleichzeitig steigt damit die Bedeutung der Kenntnisse zur Bewertung von Nährstoffformen und der Nährstoffdynamik. Ein besonderes Augenmerk sollte hierbei auf die der deutschen Landwirtschaft inhärenten Stickstoffnutzungsineffizienz gerichtet werden, die trotz anderslautender Vorgaben nach wie vor einen Flächenüberschuss von über 100 Kilogramm Stickstoff pro Hektar und Jahr erzeugt. Dieser überschüssige Stickstoff wird dann in Form reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt eingebracht und führt zu erhöhten Ammoniak-, Stickoxid- und Lachgasemissionen sowie zu verstärktem Nitrataustrag in Grund- und Oberflächenwasser. Entsprechendes gilt für organische und anorganische Schadstoffe in Böden, insbesondere im Zusammenhang mit der Qualität von Nahrungs-

und Futtermitteln (siehe Handlungsfeld Boden, Ernährung und Gesundheit). Besonders in Entwicklungs- und Schwellenländern sind die standortspezifischen Kenntnisse hierzu noch immer unzureichend. Bislang weniger gut charakterisiert sind auch die Stoffe aus den neuen Industrien zur Energiegewinnung beziehungsweise der stofflichen Nutzung von Biomasse (Bioraffinerien). Aktuell werden auch Möglichkeiten und Potenziale des Einsatzes allochthoner C-Quellen (sogenannte HTC- und Biokohlen, Terra Preta-Syndrom) zur Erhöhung der Kohlenstoffvorräte in Böden intensiv diskutiert. Allerdings ist hier der wissenschaftlich gesicherte Kenntnisstand über deren Nutzen und ökologische Risiken in Böden verschiedener Klimazonen, und damit in Böden von unterschiedlichem Entwicklungszustand, noch nicht ausreichend und bedarf dringend einer sachlichen Klärung – vor allem auch in den Böden der gemäßigten Zone gegenüber den Böden der Tropen und Subtropen. Um diese derzeit noch in weiten Bereichen auf theoretischen Annahmen basierenden Konzepte mit einem wissenschaftlichen Fundament zu unterlegen, sind die Beziehungen zwischen den technischen Parametern der Biomassekonversion, der quantitativen und qualitativen Zusammensetzung der Konversionsprodukte sowie die spezifischen Standortbedingungen zu bearbeiten.

### 3.6 BODEN-WASSER-PFLANZE-INTERAKTIONEN

**Ziel: Identifizierung und Steuerung produktionsbiologischer und hydrologischer Abläufe in Böden und Entwicklung innovativer Verfahren und Technologien zur effizienteren Nutzung und Schonung von Wasserressourcen**

Die Georessourcen Boden und Wasser sind die zentralen Grundlagen für die Produktion von Biomasse und die Reinhaltung von Gewässern. Den Speicherleistungen der Bodenkörper für pflanzenverfügbares Wasser zur Sicherung eines optimalen Pflanzenwachstums und ihren Fähigkeiten, Stoffe umzuwandeln und zu speichern, kommt insbesondere

hinsichtlich der Änderungen des Klimas künftig eine noch wichtigere Rolle zu. Die räumliche Erschließung der Wasserpotenziale in Unterböden und parallel der darin verfügbaren Nährstoffreserven sowie die räumliche Zugänglichkeit für Wurzelsysteme ist nach wie vor zu wenig beachtet und bekannt (Zusammenhang Boden und Rhizosphäre). Hier besteht Forschungsbedarf sowie darüber hinaus auch hinsichtlich der Verbesserung von standortspezifischen Wasserhaushaltsmodellen im Landschaftsmaßstab, deren Verknüpfung mit physiologischen Wachstumsmodellen und deren Regionalisierung.

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Beurteilung von Belastungspotenzialen in Richtung Grundwasser und Pflanze über verschiedene Transportpfade in Böden erfolgt. Mit ihrer Filter-, Speicher- und Pufferfunktion nehmen Böden dadurch einen entscheidenden Einfluss auf Qualität und Quantität des entstehenden Sickerwassers und steuern und regulieren die entscheidenden Stoffkreisläufe. Mit dem BMBF-Förderschwerpunkt „Sickerwasserprognose“ wurden erste wesentliche Zusammenhänge im Stofftransport von Punktquellen sowohl quantitativ als auch qualitativ ermittelt. Bereits bei der wissenschaftlichen Beurteilung punktueller Stoffflüsse zeigten sich jedoch erhebliche Erkenntnislücken. Gleiches gilt auch für die wissenschaftliche Beurteilung flächenhafter Stoffflüsse im Landschaftsmaßstab, für die analoge Untersuchungen bislang nicht durchgeführt wurden. Für eine abschließende wissenschaftliche Bewertung von Stoffflüssen und Stoffkreisläufen im System Boden-Wasser-Pflanze sind aus diesem Grund auch quantitative Aussagen zur Qualität von Sickerwasser und der Beeinflussung von Grundwasser zu leisten. Diese sind entsprechend konzeptionell vorzuentwickeln.

Aus den derzeitigen offenen Fragen ergeben sich für das Landmanagement, die Effizienz der Nutzung von Wasserressourcen, die betriebliche Wirtschaftlichkeit und regionale Ressourcenpriorisierung für Forschung und Transfer

wichtige Themenfelder. Zunächst müssen hydrologische und produktionsbiologische Abläufe und Prozesse entscheidungsreif bewertet und für anwendungsbezogene Fragestellungen aufbereitet werden. Innovativen Aspekten der Forschung und nachhaltiger, ökonomisch leistbarer Technologien gilt ein zweiter Fokus: Ein Komplex umfasst dabei die Erarbeitung von Verfahren und Technologien zur effizienten Nutzung und Schonung von Wasserressourcen in Ober- und Unterböden bei einem nachhaltigen Landmanagement, insbesondere unter den Szenarien reduzierter Niederschläge und erhöhter Evapotranspiration. Zu berücksichtigende Aspekte sind hierbei die Funktion und Reaktivität von Wurzelsystemen, einschließlich der mikrobiellen Population in der Rhizosphäre, und Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen der Boden-Pflanze-Züchtung. Die Entwicklung innovativer (Bio-)Technologien zur optimalen Erschließung und Nutzung der Bodenwasservorräte in außereuropäischen Böden der trockenen Breiten besitzt Priorität für die Sicherung der Nahrungsverfügbarkeit, die Bekämpfung des Welthungers und die Pufferung sozialer und wirtschaftlicher Probleme dieser Regionen. Gerade in diesen Regionen ist die Bewässerung das wichtigste Instrument zur Steigerung der Produktion. Ein optimales Bewässerungsmanagement ist die Voraussetzung für die nachhaltige Nutzung von Wasserressourcen und bedarf eines grundlegenden Verständnisses der Wechselwirkungen zwischen Pflanze und Boden. Insbesondere bei der Implementierung von „Water deficit irrigation“ spielen die Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwachstum, Wasseraufnahme und Bodeneigenschaften eine wichtige Rolle.

In den Geowissenschaften werden derzeit innovative massenspektrometrische Methoden entwickelt, die die stabilen Isotope der metallischen Nährstoffe nutzen, um die Aufnahme dieser Nährstoffe in Pflanzen und ihre Verfügbarkeit zu untersuchen. Ein Transfer dieses methodischen Wissens in die pflanzenphysiologischen und Bodenwissenschaften und später auch in den Bereich der Düngemittelherstellung sollte bereits jetzt beginnen.

Dringend erforderlich sind auch Modelle und Verfahren zur Erfassung des Bodenwasserhaushalts auf regionaler Ebene zur mittelfristigen Prognose der Wasserverfügbarkeit sowie zur Prognose der Auswirkungen der Anwendung spezifischer Bodentechnologien zur Erhöhung der Wasserkapazität, zur Speicherung und Rückgewinnung von überschüssigem Niederschlagswasser unter Berücksichtigung von Bodensickerwasser- und Grundwasserqualitäten.

Die Erfassung des Bodenwasservorrats ist experimentell sehr schwer zu beurteilen, sodass vielfach mathematische Modelle zur Quantifizierung des Bodenwasserhaushalts und Bodenwasserspeichers eingesetzt werden. Die Entwicklung neuer Technologien zur Erfassung des Bodenwasservorrats sowie von Methoden zur Integration von Modellen und Beobachtungen sind wichtig für die Etablierung eines optimalen Bewässerungsmanagements. Hierbei ist besonders die Kopplung von hydrologischen Modellen und Daten aus der Fernerkundung hervorzuheben, da diese Vorgehensweise sowohl die lokale Feldskala als auch die regionale Skala gut abdecken kann.

### 3.7 BODEN-BIODIVERSITÄT

**Ziel: Identifizierung der Zusammenhänge zwischen Gemeinschaftsstrukturen von Bodenorganismen zur Nutzung deren genetischer Ressourcen für die Entwicklung nachhaltiger Bodenmanagementkonzepte**

„Biodiversität im Boden“ beschreibt die biologische Vielfalt mikrobiellen und tierischen Lebens in der Erde. Böden gelten heute als das Ökosystem mit der höchsten Diversität und Komplexität mit vielfältigsten Funktionen für die physikalischen und biochemischen Prozesse in Böden; Bodenorganismen bilden komplexe Kommunikations- und Nahrungsnetze aus, welche die Grundlage für wichtige Ökosystemdienstleistungen wie Biomasseproduktion und Umwelt bilden. Hierzu zählen insbesondere

die Pflanzengesundheit und das Pflanzenwachstum. Das Mikrobiom des Wurzelraums wird daher auch als „2. Genom der Pflanze“ bezeichnet. Darüber hinaus spielen Bodenorganismen beim Abbau von Schadstoffen, die in den Boden gelangen und potenziell Grundwasserleiter gefährden, eine wichtige Rolle. Aber auch das Potenzial zur Kohlenstoffspeicherung oder die Erosionsresistenz von Böden werden primär durch die Bodenfauna und -mikroflora beeinflusst. Das Bodenleben gilt daher als „genetischer Bodenschatz“ und muss für zukünftige Generationen erhalten werden. Obwohl die Organismen im Boden mehrheitlich einfach strukturierte Einzeller sind (insbesondere Bakterien), spielen auch Organismen höherer Trophiestufen (wie Regenwürmer) eine wichtige Rolle für die Qualität und Fruchtbarkeit von Böden.

Die Beziehungen zwischen Biodiversität, Bodenfunktion und Leistungen für Stoffumsetzungen im Boden sind außerordentlich komplex und bislang nur unzureichend verstanden. Dies hängt einerseits mit der großen Herausforderung zusammen, die Biodiversität in Böden in ihrer Komplexität vollständig zu beschreiben (was auch heute noch nicht möglich ist), andererseits mit den überaus komplexen Netzwerkstrukturen zwischen unterschiedlichen Trophieebenen, welche die Stabilität von Böden in hohem Maße beeinflussen. Darüber hinaus ist die Dynamik in Raum und Zeit noch weitgehend unbekannt. Bodenmikroorganismen agieren im Kleinstlebensraum auf Mikroebene, sind in ihrer Aktivität und Populationsdynamik extrem variabel, ihre Aktivitätsmuster können sich innerhalb von Stunden ändern. Darüber hinaus sind Bodenlebensgemeinschaften mit der Vegetation gekoppelt, sodass eine gegenseitige Abhängigkeit zwischen oberirdischer und unterirdischer Diversität besteht, was Prozessanalysen kompliziert. Daher ist es nicht überraschend, dass bis dato Konzepte für eine biologische Beurteilung von Böden fehlen und national wie international bodenbiologische Strukturparameter und Leistungsgrößen bei der Bewertung des Bodenzustands nur randständig

beziehungsweise nur indiziert über den Humuszustand mittels chemischer Basisparameter berücksichtigt werden. Innerhalb rechtlicher Regelungen ist dieser Themenkomplex bislang ausgespart geblieben.

Die biologische Vielfalt des Bodens stellt eine Schlüsselgröße bei der monetären Bewertung der Ökosystemfunktionen dar. Zur Bewertung notwendige Daten sind konzeptionell bislang nicht erfasst und somit auch noch nicht ausreichend vorhanden. Schlüsselwerte sind a) der funktionale Wert in Bezug auf die Dienstleistungen, die das natürliche Bodenleben liefert, sowie die damit verbundene Ökosystemstruktur, Integrität und Wirkungen auf andere Medien über Verbindungen mit der Atmosphäre und Hydrosphäre, b) unbekannte Werte in Bezug auf zukünftige Dienstleistungen der biologischen Systeme, c) funktionale Werte außerhalb des Ökosystems in technischen Anwendungen (Weiße Biotechnologie, Wiederherstellung sanierter Böden) und d) die Indikatorleistung in Bezug auf definierte Bodenfunktionen und die Leistungsfähigkeit von Böden. Es gilt daher, in der Zukunft verstärkt die Struktur von Bodenlebensgemeinschaften und deren Leistungsprofil sowie Einzelprozesse, die Prozessvielfalt, Interaktionsmöglichkeiten der Bodenorganismen und mögliche Redundanzen zu erfassen, um daraus nachhaltige Nutzungskonzepte für Böden in Abhängigkeit des Bodentyps und regionaler Spezifika ableiten zu können sowie Kriterien über Belastung und Belastbarkeit beziehungsweise Regenerierbarkeit von Bodenorganismengemeinschaften erarbeiten zu können.

### 3.8 INNOVATIVE METHODEN, SENSORTECHNIKEN UND GEOFERNERKUNDUNG

**Ziel: Übertragung neuer Methoden und Verfahren einschließlich der Fernerkundung und der Isotopengeochemie auf anwendungsbezogene Fragestellungen wie die Verfügbarkeit von Nährstoffen oder die Bewertung und Planung des Landmanagements**

Während der letzten Jahrzehnte wurden beeindruckende Fortschritte in den Geowissenschaften, die sich mit „Erdoberflächenprozessen“ befassen, erzielt sowie in der Bodenforschung mit ihren Teildisziplinen Boden- / Geophysik, -Chemie einschließlich -Biochemie, -Biologie und der -Bewertung. Ein wissenschaftlicher Schwerpunkt lag dabei in der Prozessforschung mit vor allem aus physikalischen, chemischen und biologischen Disziplinen adaptierten, in der Regel destruktiven Methoden unter Labormaßstab. Trotz dieser Fortschritte stellen sich hinsichtlich deren Aussagefähigkeit entscheidende Fragen für die Relevanz der erarbeiteten Werte. Zudem lassen sich Defizite beim Erkenntnisfortschritt und in der bisherigen Zusammenarbeit zwischen der anwendungsorientierten und Grundlagenforschung feststellen. Methoden werden in der Regel in der Grundlagenforschung entwickelt, die dann im Rahmen der Untersuchung stärker anwendungsbezogener Fragen adaptiert werden müssen.

Hieraus ergibt sich ein weiteres, bislang nicht überall überwundenes Defizit: die Übertragbarkeit von Labormethoden auf Versuchsflächen bis in den Landschaftsmaßstab hinein beziehungsweise als geeignete Inputgröße für entsprechende Computersimulationen. Verifizierungen von Modellergebnissen mit realen Untersuchungsergebnissen aus der Fläche weisen regelmäßig sehr hohe Schwankungsbreiten auf. Für eine Umsetzung von Untersuchungsergebnissen in die Praxis ist das nicht akzeptabel. Auch ist zu erwarten, dass sich für die neu entwickelten Isotopensysteme exzellente Anwendungen auf dem Gebiet der Pflanzenverfügbarkeit- und Aufnahmeeffizienz von Nährstoffen ergeben. Doch verhindert der fehlende Wissensaustausch sowohl zwischen den verschiedenen Forschungsdisziplinen als auch in die Anwendung hinein die Ausschöpfung dieses Potenzials.

Die funkbasierte Sensornetzwerktechnologie kann dazu genutzt werden, um 3D-Felder von Bodenvariablen (zum Beispiel Bodenfeuchte und -temperatur, Matrixpotenzial,

elektrische Leitfähigkeit usw.) kontinuierlich und in hoher räumlich-zeitlicher Auflösung von der Feld- bis zur Einzugsgebietskala zu erfassen. Cosmic-ray-Sensoren nutzen die Eigenschaft, dass durch kosmische Strahlung gebildete Neutronen hauptsächlich durch terrestrische Wasserstoffatome moderiert werden, um die integrierte Bodenfeuchtedynamik auf der Feldskala (ca. 30 Hektar) nicht-invasiv zu erfassen. Des Weiteren können nicht-invasive Messmethoden wie Bodenradar (GPR) und elektromagnetische Induktion (EMI) bereits größere Flächen (Felder mit mehreren Hektar) schnell tiefenaufgelöst charakterisieren, um somit Rückschlüsse auf deren Flächenheterogenität zu ziehen. L-Band Radiometrie ist die meist versprechende Fernerkundungsmethode zur Bodenfeuchtebestimmung auf der regionalen bis globalen Skala, da der Einfluss der Vegetationsbedeckung und der Bodenrauigkeit gegenüber aktiven Mikrowellenverfahren geringer ist. Eine wichtige Herausforderung in der Zukunft wird es sein, diese Messverfahren simultan einzusetzen und ein System zu entwickeln, welches es ermöglicht, die Informationen verschiedener Methoden und Skalen optimal mit Modellvorhersagen (zum Beispiel der Bodenfeuchte) zu kombinieren.

Generell fehlen jedoch noch übergreifende, neue konzeptionelle Ansätze, die eine Verknüpfung zwischen Modellierung, Bodenzustand und Sensordaten erlauben. Dabei scheint es wichtig, eine Verknüpfung auch mit den Verfahren der Geofernkundung herzustellen, um größere Flächeneinheiten zu erfassen. Dies ist besonders zur Flächenerkundung im globalen Kontext von größter Wichtigkeit. Forciert durch Fortschritte in diesem Bereich wurden und werden bereits vermehrt Methoden zur Erfassung und Bewertung von Oberbodenzuständen wie der Variabilität des oberflächennahen Wassergehalts eingesetzt. Generell ist jedoch anzumerken, dass einige Sensortechniken sich noch im Erprobungszustand befinden, wohingegen andere Techniken bereits robuste Daten für einen flächigen praktischen Einsatz liefern. Insbesondere fehlen vielerorts Verfahren zur nicht- oder minimal-invasiven Erfassung bodenchemischer

oder bodenbiologischer Zustandsgrößen. Es gilt, mittels Anpassung von in anderen Disziplinen erarbeiteten Analyseverfahren und Methoden sowie mittels Neuentwicklung von in-situ und ex-situ Analyse- und Sensortechniken die Entwicklung innovativer Methoden und Verfahren voranzutreiben, um Bodenpotenziale und Risiken hinsichtlich der laufenden Landnutzungs- und Klimaänderungen zu erkennen, quantitativ zu taxieren, zu bewerten und prognostizierbar für Landmanagemententscheidungen und Planungen zu machen.

### 3.9 BODENDATENMANAGEMENT UND VERSUCHSINFRASTRUKTUREN

**Ziel: Erarbeitung eines Konzepts für effiziente und vernetzte Managementstrukturen in den Bereichen Bodendaten und nationale Monitoring- und Versuchsfeldprogramme sowie zu Erhebungs-, Mess- und Handlungsstrategien**

Fortschritte der Boden- und Landmanagementforschung sowie die dafür notwendige intensivere Vernetzung von Bodeninformationen mit anderen Fachinformationen (zum Beispiel von Fernerkundung, Meteorologie) stellen zunehmend höhere Anforderungen an die Standards zur Beschreibung, Sicherung, Weitergabe und insbesondere zur Auswertung der Daten. Derartiger Bedarf wird zum Beispiel deutlich, wenn Programme wie Cross Compliance auf eine stabile Grundlage gestellt werden sollen. Diese Anforderungen sind seit Langem grundsätzlich bekannt und wurden zum Beispiel im Endbericht des UFO-Plan-Vorhabens „Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung“ beispielhaft thematisiert. Auch an anderer Stelle wurde immer wieder der Versuch unternommen, bodenkundlich relevante Geodaten einheitlich zusammenzuführen, was bislang jedoch nicht umgesetzt werden konnte. Hierfür sind eine Reihe fachlicher und struktureller Hindernisse verantwortlich, die es von

wissenschaftlicher und organisatorischer Seite anzugehen gilt. Die Bewertung von Landnutzungs- und Klimaänderungen, die Modellierung von Prozessen und Szenarien und deren wissenschaftlich basierte Prognose sowie die Übertragung von Erkenntnissen in größere Räume bis hin zu bundesweiten Betrachtungen sind von bundesweit verfügbaren, flächenrepräsentativen Referenzdaten ebenso abhängig wie von Erkenntnissen, wie sie zum Beispiel aus Dauerfeldversuchen und kontinuierlicher Dauerbeobachtung abgeleitet werden können.

Das Ziel des Handlungsfelds ist die Erarbeitung eines übergreifenden strategischen Konzepts zur Weiterentwicklung bodenrelevanter Geoinformatik in Deutschland, um eine verbesserte Verwertung und Nutzung verfügbarer Informationen zu erreichen. Dieses Konzept soll zu einer fachlich stimmigen, ökonomisch nachhaltigen und in ein integriertes Monitoring mündenden Nutzung nationaler Versuchsfeldinfrastrukturen führen. Ein weiteres Ziel des Handlungsfelds ist, die Vergleichbarkeit von Erhebungs- und Auswertungsmethoden zu verbessern und die internationale Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit von Bewertungs- und Modellierungsansätzen sicherzustellen.

Konkret besteht für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in folgenden Handlungsfeldern Bedarf: a) Analyse der Datenausgangslage (Bund / Länder / Wissenschaft), b) Sicherung der Datenqualität (Standards), Datenhaltung und -bereitstellung, Datenharmonisierung und Dateninfrastruktur, c) Vernetzung und Kommunikation, d) Analyse, Workflows und Algorithmen sowie e) Modellierung.

Wesentlich wird sein, die bei Bund und Ländern angelegten Mess- und Erhebungsprogramme für Bodendaten im Hinblick auf die Erfordernisse eines zum Beispiel auf den Klimawandel bezogenen, innovativen Bodenmanagements zu prüfen und weiterzuentwickeln. Nur auf dieser Grundlage wird es möglich sein, die aus dem Klimawandel resultierenden Veränderungen des Bodenzustands und

der Bodenqualität mit konkreten Daten und belastbaren Zeitreihen zu dokumentieren sowie eine Erfolgskontrolle der Maßnahmen – auch mit globaler Perspektive – zu gewährleisten.

Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung können dazu in erster Näherung eine Vielzahl wertvoller Informationen zur Beantwortung von Fragen der Wirkung von Klimaänderungen auf den Bodenzustand und die Bodenfunktionen geben. Es sind dann im Weiteren Handlungsstrategien für die künftige effiziente Nutzung der Mess- und Erhebungsaktivitäten zur Klimafolgen- und -anpassungsforschung abzuleiten und Vorschläge zur Verbesserung der Verfügbarkeit für Bodendaten zu unterbreiten – insbesondere im Hinblick auf die Verschneidung von klassisch gewonnenen Daten mit solchen aus der Geofernerkundung. Diese gilt es nachfolgend umzusetzen.

Unter dem Aspekt der Kosteneffizienz sollten die Zusammenarbeit zwischen den an der Gewinnung und Nutzung von Bodendaten beteiligten Institutionen und Akteuren verbessert sowie Synergiepotenziale genutzt werden. Eine systematische messnetzübergreifende Bewertung der Kosten der in Deutschland betriebenen Messprogramme soll eine Beurteilung von Einsparpotenzialen oder eine Prognose des künftig entstehenden Mehraufwands ermöglichen. Diese kann nachfolgend mit dem Zugewinn an Aussagekraft der Datensätze in Beziehung gesetzt werden.

### 3.10 BODEN-SOZIOÖKONOMIE

**Ziel: Entwicklung von Empfehlungen zu ökonomischen, rechtlichen und planerischen Instrumenten sowie zu internationalen Vereinbarungen zum nachhaltigen Boden- und Landmanagement**

Böden übernehmen eine Vielzahl von Ökosystemdienstleistungen, von denen bis dato aufgrund fehlender

Indikatoren, Daten und Bewertungskonzepte die meisten bisher nur unzureichende oder gar keine Wertschätzung erfahren. Honoriert wird im Allgemeinen lediglich die Produktionsfunktion des Faktors Boden in Form direkter Wertschöpfung durch die Erzeugnisse oder über Pacht- oder Bodenpreise. Der Gesamtwert deutscher Böden beläuft sich danach auf etwa 150 Milliarden Euro. Die jährliche Bruttowertschöpfung der Flächen und ihr ökologischer Wert dürften jedoch um ein Vielfaches höher liegen. Global bestimmt das Thema Nahrungssicherheit für eine wachsende Weltbevölkerung (Food Security) und deren steigende Ansprüche beim Fleischkonsum die aktuelle Diskussion um Landmanagement und die Erschließung zusätzlicher Flächen für die Landwirtschaft. Das Aufkaufen produktiver Agrarstandorte durch Staaten und internationale Finanzkonsortien, das sogenannte Land Grabbing, ist die Spitze dieser Entwicklung und spiegelt diesen globalen Nutzungsdruck besonders deutlich wider. In Deutschland verstärken die aktuellen Entwicklungen auf dem erneuerbaren Energiesektor die Konkurrenz von Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion mit einem stark wachsenden Bioenergiemarkt.

Ein systematischer ökonomischer Bewertungsansatz fehlt bisher, der als Voraussetzung für politische, rechtliche und planerische Entscheidungen über die Nachhaltigkeit der Bodennutzung dient und globale Marktentwicklungen berücksichtigt. Ähnliches gilt für die Bewertung von Entscheidungen über den Flächenverbrauch und intelligente und effiziente Steuerungsmechanismen zu dessen Reduzierung. Eine weitere wichtige, bisher ungelöste Herausforderung liegt im sozialen und kulturellen Umfeld der Akteure des Boden- und Landmanagements in Deutschland. Hier werden neue Lösungsansätze für den Schutz des Bodens sowie eine nachhaltige Bodennutzung aufgrund mangelnden Rückhalts aus der Bevölkerung oft nicht aufgegriffen. Art und Intensität des Landmanagements und damit dessen Nachhaltigkeit in Landschaften können daher nur in

enger Kooperation von naturwissenschaftlich-technischen und sozioökonomischen Disziplinen nachhaltig gestaltet werden, die das Verhalten zentraler Akteure in den Blick nehmen.

Das Handlungsfeld „Boden-Sozioökonomie“ soll daher ökonomische, juristische, planerische sowie soziologische Aspekte zur Steuerung des Verhaltens verschiedener Akteure des Landmanagements und der Gesellschaft bearbeiten. Es soll mithilfe seiner Expertise Mechanismen analysieren, die das Wechselspiel zwischen regionalen, nationalen und globalen Märkten steuern, und die Strategien für den Schutz und die nachhaltige Nutzung von Böden sowie für die erfolgreiche Vermarktung von wissenschaftlicher Innovation im globalen Maßstab aufzeigen. Der Abstimmung mit internationalen Vereinbarungen zum nachhaltigen Boden- und Landmanagement kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Die internationale Konkurrenzfähigkeit und die Platzierung neuartiger Produkte und Dienstleistungen hängen auch hier in Zukunft zunehmend von der zeitnahen Verfügbarkeit ausreichenden Kapitals und entsprechender Anreize für Investitionen ab.

Im Handlungsfeld ist unter anderem zu prüfen, inwieweit in den parallelen Handlungsfeldern vorgeschlagene Maßnahmen wirtschaftlich sinnvoll, rechtlich zulässig, planerisch umsetzbar und gesellschaftlich akzeptabel sind. So ist zum Beispiel zu prüfen, ob und inwieweit eine bundesweite beziehungsweise regionale Schutzklausel für besonders fruchtbare Acker- und Grünlandböden ab einer gewissen Qualität vor Umnutzung schützt. Dazu sind Konzepte zur Monetarisierung von Ökosystemdienstleistungen sowie zu den volkswirtschaftlichen Kosten der Bodendegradation zu entwickeln. Prioritärer Kenntnis- und Forschungsbedarf besteht zudem zu ökonomischen und rechtlichen Instrumenten zur Steuerung des Bodenmanagements, der Bodenqualität und des sogenannten Greenings, der Flächenpriorisierung und des Flächenmanagements.

### 3.11 TECHNOLOGIEN DER BODENBEWIRTSCHAFTUNG

**Ziel: Weiterentwicklung von Technologien für ein nachhaltiges und ressourcenschonendes Bodenmanagement durch innovative Verfahrenstechniken**

Der steigende Bedarf an Biomasse sowohl im Ernährungsbereich als auch im Energie- und stofflichen Verwertungsbereich erfordert integrierte Konzepte für eine effiziente, ressourcenschonende Technik bei der terrestrisch basierten Erzeugung und Nutzung von Biomasse. Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Agrartechnik sind zu intensivieren, um innovative Verfahren für einen ressourcenschonenden Umgang mit der Biomasse bereits zu Beginn der Wertschöpfungskette zu erreichen – insbesondere im Hinblick auf eine physikalische Entlastung von Böden sowie zur Wiederherstellung degradierter Böden und zur Bodenmelioration oder Tiefenbearbeitung. Harmonisierte Leitlinien zur Beurteilung von Gesamtlast von Böden durch schwere Maschinen und von Geräten fehlen bislang.

Einbezogen werden sollen auch Fragen zur Entwicklung von Anbauverfahren, die direkt oder indirekt Einfluss auf die Bodenqualität haben. Gegenwärtig werden zum Beispiel Nahrungs- oder Futterpflanzen und Pflanzen zur stofflichen oder energetischen Nutzung vorwiegend in getrennten, auf nur einen Nutzungszweck hin optimierten Erntesystemen geborgen. Zielführend scheint jedoch, Ernteverfahren zu entwickeln, die eine effiziente Weiterverarbeitung sowohl in Richtung Nahrungsmittel als auch stofflicher oder energetischer Produktion kombinieren. Dies kann zum Beispiel durch die Entwicklung neuer Verfahrenstechniken für eine nutzungsorientierte Ernte unterstützt werden. Die Etablierung standortspezifischer, an ein ressourcenschonendes Landmanagement und den Klimawandel angepasster Produktionssysteme erfordert ein detailliertes Verständnis der Wechselwirkungen von Pflanzen mit Böden und ihrer Umwelt, um gezielt und nachhaltig den Produktionsprozess

zu beeinflussen. Hier ist besonders die Pflanzenzüchtung gefordert.

Darüber hinaus sind Technologien für eine effizientere Bestandsführung weiterzuentwickeln, um dadurch den Faktoreinsatz (Energie, Pflanzenschutz- und Düngemittel) zu reduzieren. Automatisierte Steuerungs- und Regelungstechniken und die Weiterentwicklung geeigneter Sensortechniken können im Rahmen einer modernen Bestandsführung in der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Produktion einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz und Ressourcenschonung leisten. Dazu sind neue Konzepte für die Antriebstechnik, Sensoren und Aktoren für die Automatisierungstechnik sowie integrierte und ökologische Technologien für Düngung und Pflanzenschutz und das Bestellen und Ernten zu entwickeln. Die Sensorik zur Wahrnehmung des Umfelds stellt in Verbindung mit der geeigneten Elektronik und Software den Schlüssel für einen automatisierten, bedarfsgerechten und ressourcenschonenden Prozessablauf dar. Sensoren werden zusammen mit Wachstums- / Produktionsmodellen verlässliche Grundlagen zur Entscheidungsfindung für eine bedarfsgerechte Produktionssteuerung bilden, wobei die Berücksichtigung der kleinräumigen Heterogenität der Standortpotenziale eine wesentliche Rolle spielt.

Bewährte Bestellverfahren sollen weiterentwickelt und innovative Verfahren wie „Precision Farming“, „Strip Tillage“ und „Controlled Traffic Farming“ sowie die Minimalbodenbearbeitung verbessert werden. Eine weitere Herausforderung sind Verfahren und Geräte zur Bestellung und Ernte kleinräumiger Areale im Infrastrukturbereich. Wasser- und energiesparende Bewässerung unterschiedlicher Kulturen von Land- und Forstwirtschaft sind standörtlich zu optimieren. Daneben kommt auch der (Weiter-) Entwicklung der Sensortechnik große Bedeutung zu – insbesondere auch im Bereich der Erkundungs- und Fernerkundungsverfahren als Grundlage für eine automatisierte Zustandsbeschreibung von Pflanzen und Standort. Dies gilt insbesondere für

Real-Time-Monitoring-Technologien zu Pflanzenwachstum/-reife, Bodenzustand und Wasserhaushaltsdynamik. Ferner spielen auch Technologien einer effizienten Nutzung von Niederschlags- und Beregnungswasser in der zukünftigen Bodenforschung eine große Rolle. Wesentlich wird auch die Modellierung ausgewählter Produktionsprozesse in der Pflanzenproduktion als Grundlage für das Systemverständnis sein, um über die Systemgestaltung Grundlagen zur Entscheidungsfindung hinsichtlich System-Inputs und der

Prognose von System-Outputs (Quantität und Qualität) vornehmen zu können. Zur Anpassung der Pflanzenproduktion an Klimawandel und damit veränderte Wasserverfügbarkeiten sollten Techniken zur Tiefenplatzierung von Nährstoffen weiterentwickelt werden, die das Wurzelwachstum in tieferen Bodenschichten anregen und dadurch die Trockentoleranz der Pflanzen erhöhen. Gleiches gilt für die Einbringung von Biokohlen in tiefe Bodenschichten zur Festlegung von Kohlenstoff aus Klimaschutzgründen.

## 4 EMPFEHLUNGEN

Auf Basis der vorhergehenden Analyse des Forschungs- und Technologiefelds Boden und der intensiven Beratungen der interdisziplinär zusammengesetzten Projektgruppe konnten nachfolgende Empfehlungen abgeleitet werden:

1. Bedeutung der Böden als endliche Georessource stärker als bisher national, europäisch und global in den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext stellen

Böden sind eine wesentliche Lebensgrundlage des Menschen und damit zugleich auch zentraler Wirtschaftsfaktor. Sie stehen am Anfang aller biobasierten Wertschöpfungsketten. Besonders nach den Erfolgen der sogenannten „Grünen Revolution“ in den 1960er und 1970er Jahren schienen die Probleme der globalen Ernährungssicherung gelöst. Nicht zuletzt die Überproduktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse in der nördlichen Hemisphäre verstärkte diesen Eindruck. Die weiter stark wachsende Weltbevölkerung, veränderte Ernährungsmuster hin zu mehr Konsum tierischer Produkte, die Degradation fruchtbarer Böden, Wirkungen der Klimaveränderungen und der zunehmende Bedarf an Biomasse für stoffliche und energetische Produkte haben diese Erfolge relativiert beziehungsweise zu größerem Hunger in der Welt geführt.

In den letzten Jahren haben sich die Preise landwirtschaftlicher Flächen in vielen Teilen der Welt verdoppelt bis verdreifacht. Gleiches gilt auch für Pachtpreise. Diese monetäre Neubewertung hat verschiedene Ursachen: Zum einen steigen die Preise für landwirtschaftliche Erzeugnisse – was auch in staatlichen Maßnahmen begründet ist – und zum anderen wächst in Investorkreisen das Bewusstsein, dass auch die Georessource Boden ein knappes Gut ist und sich für Spekulationen eignet. Bislang bleiben die sogenannten Ökosystemfunktionen in der Preisgestaltung hingegen zu meist unberücksichtigt.

Deutschland – wie auch andere Industrienationen – importiert Biomasse aus bodenbasierter Produktion als Futtermittel, als Basis für die Produktion biotechnologischer Erzeugnisse, als Grundlage für die Energieerzeugung und auch als Lebensmittel. Die heimische Produktion an Biomasse und damit die bewirtschaftbaren Böden reichen bereits seit Langem nicht mehr aus, die nationale Nachfrage nach Biomasse zu befriedigen. Eine Ausweitung der nutzbaren Flächen ist kaum möglich. Nutzungseinschränkungen und Ausgleichsregelungen verstärken den sogenannten „Flächendruck“.

Wie auch in anderen Ländern werden in Deutschland der Ausbau der biobasierten Wirtschaft und eine stärkere Nutzung von Bioenergie dazu führen, dass Deutschland zunehmend auf Biomasseimporte angewiesen sein wird. Damit ergibt sich auch eine Abhängigkeit von Böden, auf deren Fruchtbarkeit zunächst direkt nur wenig Einfluss genommen werden kann. Viele Länder lösen ihre Flächen- und Ressourcenprobleme inzwischen durch sogenanntes „Land Grabbing“, also Landkauf in fremden Ländern, oftmals ohne Berücksichtigung der dort für Mensch und Natur wichtigen Nachhaltigkeitsgrundsätze. Dieser Lösungsansatz ist für Deutschland nicht vertretbar. Um aber dennoch langfristig den heimischen Bedarf an Biomasse zu sichern, ist es notwendig, dass Unternehmen, Wissenschaft und auch die Politik Verantwortung für einen nachhaltigen Umgang mit Böden übernehmen und auf diese Weise die terrestrische Biomasseproduktion als zentrale Lebensgrundlage der Menschen sicherstellen.

Boden ist jedoch nicht nur in seiner land- und forstwirtschaftlichen Nutzung von Bedeutung. Notwendig ist auch die Betrachtung der anthropogenen Nutzung von Böden durch Siedlungen, Verkehr, und wirtschaftlicher Infrastruktur. Vor allem die neuen Anforderungen der Energiewende führen zu steigenden Nutzungskonkurrenzen, die es erforderlich machen, die Endlichkeit und

Nutzung der Ressource Boden integriert sowohl in den wirtschaftlichen als auch gesellschaftlichen Auswirkungen zu betrachten.

## 2. Bodenproduktivität nachhaltig erhöhen unter besonderer Berücksichtigung des Erhalts von Ökosystemdienstleistungen

Im Jahr 2050 werden rund neun Milliarden Menschen auf der Erde leben – etwa zwei Milliarden mehr als heute. Die Erträge pro Flächeneinheit müssen auch in Deutschland gesteigert werden, um die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung bei veränderten Verzehrgeohnheiten zu sichern. Gleichzeitig ist ausreichend bodenbasierte Biomasse, zum Beispiel für Biokraftstoffe oder rohstoffliche Nutzung, zur Verfügung zu stellen sowie letztlich die bereits heute bestehenden Importabhängigkeiten in Deutschland zu reduzieren. Eine verstärkte Nutzung von Flächen mit mäßiger Bodenqualität oder belasteten Standorten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe kann dazu beitragen, Landnutzungskonflikte abzumildern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Biomasse künftig unter schwierigeren klimatischen Bedingungen produziert werden wird, bei gleichzeitig geringerer Verfügbarkeit von Wasser, Düngern oder Pflanzenschutzmitteln. Die Reduktion des Ressourceneinsatzes ist eine wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Biomasseproduktion, da dadurch insbesondere die relevanten Ökosystemfunktionen der Böden sowie benachbarte Umweltkompartimente geschützt und langfristig nutzbar gehalten werden.

Zentrale Herausforderung der nächsten Jahrzehnte für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, national wie auch international, wird es daher sein, gemeinsame Lösungsansätze für den effektiven Umgang mit den zentralen Säulen der Biomasseproduktion zu finden, nämlich einer integrierten Boden-, Flächen- und Landnutzung. Von hoher Bedeutung in diesem Zusammenhang sind die Förderung

von Verfahren zum Erhalt und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und die Reduzierung des Verbrauchs fruchtbarer landwirtschaftlicher Nutzflächen.

## 3. Landmanagement zeitnah auf negative Effekte des Klimawandels einstellen und innovative Formen zur Steuerung der Boden- und Landnutzungskonkurrenzen entwickeln

Der Klimaverlauf hat sich zu allen Zeiten dynamisch entwickelt. Kalt- und Warmzeiten lösten sich ab. Dies hatte und hat Konsequenzen auf das regionale Wettergeschehen und damit Auswirkungen auf die vorhandenen Böden. Noch heute lässt sich dies vielerorts nachweisen. Seit einigen Jahrzehnten lassen sich erneut verstärkt Klimaveränderungen feststellen, die sich weitgehend negativ auf die derzeitigen Ökosysteme auswirken und auch auf anthropogenen Einfluss zurückgeführt werden. Große Hoffnungen, dass durch Klimaschutzmaßnahmen zeitnah sichtbare Effekte zu erzielen sind, sind eher pessimistisch zu beurteilen.

Böden stehen insofern in vielerlei Hinsicht mit dem Klima und Klimawandel in Beziehung: Die Bodenfunktionen können je nach Region sowohl positiv als auch negativ beeinflusst (Betroffenheit) und nur bedingt an Änderungen des Temperatur- und Wasserhaushalts angepasst werden (Adaptation). Sie sind in der Lage, Treibhausgase zu speichern (Mitigation), und nicht zuletzt dienen sie als Archiv vorhergegangener Klimaereignisse.

Anpassungsmaßnahmen an veränderte Klimabedingungen müssen regional- beziehungsweise standortspezifisch erfolgen. Dazu sind technische Möglichkeiten zu prüfen und zu bewerten und dann entsprechend auf regionaler Ebene weiterzuentwickeln. Dabei sind Böden als Pflanzenstandort prioritär zu berücksichtigen. Die Klimadynamik wird sich in Deutschland vor allem in Form veränderter Wasserverfügbarkeiten auswirken. Das heißt, in einigen

Regionen wird es häufiger zu Trockenperioden kommen, in anderen zu Hochwasser. In diesem Zusammenhang sind Böden aufgrund ihrer Funktion als Wasserspeicher und -leiter von zentraler Bedeutung, wenn Anpassungsmöglichkeiten erarbeitet werden. Der Klimawandel wird in Deutschland zu veränderten Anbauverfahren mit neuen Techniken führen müssen. So sind nicht nur züchterische Maßnahmen zu ergreifen, zum Beispiel zur Erhöhung der Trockentoleranz von Pflanzen, sondern bei der Gestaltung von Bewässerungs- und Fruchtfolgesystemen auch Möglichkeiten stärker auszuschöpfen, die die Wassernutzungseffizienz von Pflanzenbausystemen erhöhen. Einzelkenntnisse dazu liegen vor. Ein systematisches Verständnis und eine sozio-ökonomische Bewertung der Verfahren fehlen bislang. Vor allem international vorliegende Erfahrungen sollten genutzt werden, um den kommenden Herausforderungen in Deutschland zu begegnen. Aufgrund der starken Abhängigkeit von Biomasseimporten muss sich Deutschland stärker als bislang auch wissenschaftlich auf globaler Ebene engagieren, um auf den außerhalb Deutschlands in Anspruch genommenen Flächen eine ausreichende Bodenfruchtbarkeit auf Dauer sicherzustellen.

Der Klimawandel ist ein langsam voranschreitender Prozess, dennoch sollten Anpassungsmaßnahmen so früh wie möglich eingeleitet werden. Das Landmanagement beinhaltet das Zusammenwirken einer Vielzahl von Maßnahmen, die aufeinander abzustimmen sind. Dies muss frühzeitig geschehen. Absehbar ist, dass bei größer werdenden Problemen und gleichzeitig geringeren zeitlichen Vorläufen die Bemühungen intensiviert werden müssen. Dadurch entstehen letztlich höhere Kosten für Anpassungsmaßnahmen.

#### 4. Konsens hinsichtlich prioritärer Forschungsfelder herstellen

Bis heute wurde und wird eine Vielzahl wissenschaftlicher Untersuchungen zu Boden- und Landmanagement auf

nationaler, europäischer und globaler Ebene durchgeführt. Gefördert werden diese Projekte aufgrund der unterschiedlichen Kompetenzen durch unterschiedliche Mittelgeber aus Bund und Ländern, der Europäischen Union oder internationalen Konsortien. In der aktuellen Vielzahl von Forschungsaktivitäten zum Boden- und Landmanagement sind einerseits Überlappungen, andererseits auch Lücken in den verschiedenen Forschungsfeldern vorgezeichnet. Eine übergreifende, strategisch ausgerichtete Schwerpunktsetzung fehlt bislang.

Erst eine umfassende Gesamtschau ermöglicht es, Defizite in den unterschiedlichen Forschungsbereichen zu identifizieren und neue sowie aufbauende Forschungsansätze abzuleiten. Dazu ist ein umfassendes Forschungskonzept zu erarbeiten. Durch eine abgestimmte Forschungsförderung können Effizienzrenditen erwirtschaftet werden. Auch eine bessere Verzahnung mit der internationalen Forschungsförderung und Forschung kann dazu beitragen.

#### 5. Fachwissen bündeln und institutionelle Zusammenarbeit zwischen den relevanten Akteuren und Personen in Deutschland transdisziplinär fördern

In der Regel wird das Wissen aus Forschungsarbeiten über wissenschaftliche Aufsätze und gegebenenfalls über entsprechende Medien veröffentlicht. Daten und Zusatzinformationen verbleiben aber oft unbeachtet bei den beteiligten Forschungseinrichtungen beziehungsweise Auftraggebern. Oftmals ist es nicht möglich, auf dieses Wissen zurückzugreifen oder es abgewandelt in neue Kontexte zu stellen. Insbesondere unterbleibt meist ein Transfer des Wissens in Verwaltung und Praxis.

Es fehlen Strukturen, die es erlauben, Daten auch langfristig so vorzuhalten, dass sie bei neuen Fragestellungen genutzt werden können. Hierzu ist ein enger Austausch mit den entsprechenden verantwortlichen, datenerhebenden Institutionen dringend notwendig. Dabei sind alle Beteiligten der

universitären und außeruniversitären Grundlagenforschung, der anwendungsorientierten und Ressortforschung inklusive der für Monitoring und Datenbereitstellung verantwortlichen Bundes- und Länderverwaltungen sowie Forschungseinrichtungen der Wirtschaft gemeinsam gefordert.

Die Forschungseinrichtungen müssen unabhängig von ihrer institutionellen und räumlichen Anbindung (universitär/außeruniversitär, Ressort, Industrie, Bund/Länder) sowie wissenschaftlichen Schwerpunktsetzung (eher grundlagenorientiert oder angewandt) zusammengeführt werden. Damit wird die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und Sichtbarkeit auf europäischer und internationaler Ebene sichergestellt. Auf diesem Wege soll vorhandenes Fachwissen gebündelt und gezielt für die Bearbeitung entsprechender Themenschwerpunkte genutzt werden.

Um Lösungen für die anstehenden Herausforderungen zu erarbeiten, sind Themenschwerpunkte zu setzen sowie weitere nationale und internationale Aktivitäten unter Beteiligung der eingebundenen Institutionen und Unternehmen zu entwickeln. In Vorbereitung der Themenfindung sind umfassend auch Meinungen und Trends in den wichtigsten Sektoren der Boden- und Landnutzung zu analysieren – einschließlich der bebauten Umwelt und Infrastruktur, der natürlichen Ressourcen und Biomasseproduktion.

## 6. Wissens- und Technologietransfer von der Wissenschaft in die Wirtschaft und Praxis gewährleisten

Die vorhandene Forschung im öffentlichen Bereich ist von hoher Exzellenz geprägt. Forschung zum Boden- und Landmanagement findet darüber hinaus auch in der Privatwirtschaft statt. Aufgrund der stark umweltbezogenen Ausrichtung der Boden- und Landmanagementforschung in den zurückliegenden Jahren wurden öffentlich und privat geförderte Forschung bislang nicht umfänglich miteinander verknüpft, wie dies in anderen Bereichen

durchaus gelungen ist, zum Beispiel beim Aufbau von Exzellenzclustern oder bei Plant 2030, FUGATO (Funktionelle Genomanalyse im Tierischen Organismus), GenoMik (Genomforschung an Mikroorganismen) und dem nationalen Genomforschungsnetz (NGFN).

Eine Verknüpfung der unterschiedlichen fachlichen Gruppierungen (Agrar/Geo/Umwelt) ist um eine Verknüpfung von Grundlagen- und angewandter Forschung bis in die Praxis zu erweitern. Dabei ist die Beteiligung von Wirtschaftsunternehmen unerlässlich. Nur so können die Forschungsergebnisse besser als bislang in die Praxis umgesetzt werden. Damit wird sichergestellt, dass öffentliche Forschungsinvestitionen positiv auf den Standort und die Exportnation Deutschland rückwirken.

Wissensbasierte Ergebnisse sind die Grundlage für Entscheidungen in einer Vielzahl von Bereichen des Boden- und Landmanagements. Diese Bereiche stehen zum Teil konträr zueinander. Grundlage der jeweiligen Interpretationen und Bewertungen sollten jedoch allgemein akzeptierte wissenschaftsbasierte Informationen sein. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind an der Anwendung ihrer Ergebnisse weitgehend nicht beteiligt.

Forschungsergebnisse werden in der Regel in wissenschaftlich komplexer und fachlich sektoraler Form publiziert. Eine Aufbereitung und Übersetzung in allgemein verständliches, auch außerhalb der engeren Fachwelt zugängliches Wissen ist für viele Bereiche von ausschlaggebender Bedeutung, um einen relevanten Beitrag zu Problemlösungen des Boden- und Landmanagements leisten zu können. Forschungsergebnisse müssen deshalb ressort- und branchenübergreifend sowie adressatengerecht aufbereitet werden, damit Politik, Unternehmen und Gesellschaft in der Lage sind, auf deren Grundlage Entscheidungen zu treffen und Handlungsstrategien im Themenfeld effizient weiterzuentwickeln. Gleichzeitig sind vor allem auch volkswirtschaftliche und geostrategische Fragestellungen zu beachten.

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AA</b>	Außenamt	<b>GABI</b>	Genomanalyse im biologischen System Pflanze
<b>AAFC</b>	Agriculture and Agri-Food Canada	<b>GfÖ</b>	Gesellschaft für Ökologie
<b>ATB</b>	Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim	<b>GFZ</b>	Deutsches GeoForschungsZentrum
<b>BAM</b>	Bundesanstalt für Materialprüfung	<b>GPR</b>	Ground Penetrating Radar
<b>BfR</b>	Bundesinstitut für Risikobewertung	<b>HU</b>	Humboldt-Universität zu Berlin
<b>BfN</b>	Bundesamt für Naturschutz	<b>IASS</b>	Institute for Advanced Sustainability Studies
<b>BGR</b>	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	<b>IGZ</b>	Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau
<b>BLE</b>	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung	<b>ITVA</b>	Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung	<b>JKI</b>	Julius Kühn-Institut
<b>BMELV</b>	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	<b>KIT</b>	Karlsruher Institut für Technologie
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	<b>MPG</b>	Max-Planck-Gesellschaft
<b>BMWi</b>	Bundesministerium für Wirtschaft	<b>MPI</b>	Max-Planck-Institut
<b>BMZ</b>	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	<b>REFINA</b>	Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme
<b>BVB</b>	Bundesverband Boden	<b>RKI</b>	Robert Koch-Institut
<b>CGIAR</b>	Consultative Group on International Agricultural Research	<b>RNE</b>	Rat für Nachhaltige Entwicklung
<b>DBG</b>	Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft	<b>SiWaPro</b>	Verbund Sickerwasserprognose des BMBF
<b>DBV</b>	Deutscher Bauernverband	<b>SRU</b>	Sachverständigenrat für Umweltfragen
<b>DFG</b>	Deutsche Forschungsgemeinschaft	<b>TEEB</b>	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
<b>DGG</b>	Deutsche Geologische Gesellschaft	<b>TERENO</b>	Terrestrial Environmental Observatories
<b>DGP</b>	Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung	<b>TU</b>	Technische Universität
<b>DIFU</b>	Deutsches Institut für Urbanistik	<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>EMBRAPA</b>	Brazilian Agricultural Research Corporation	<b>UFO-Plan</b>	Umweltforschungsplan
<b>EU</b>	Europäische Union	<b>UFZ</b>	Umweltforschungszentrum
<b>FhG</b>	Fraunhofer-Gesellschaft	<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture
<b>FH</b>	Fachhochschule	<b>VDLUFA</b>	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
<b>FUGATO</b>	Funktionelle Genom Analyse im Tierischen Organismus	<b>VTI</b>	von Thünen-Institut
		<b>WBGU</b>	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
		<b>WGL</b>	Leibniz-Gemeinschaft
		<b>ZALF</b>	Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

# LITERATUR

## acatech 2012

acatech (Hrsg.): *Anpassungsstrategien in der Klimapolitik* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

## Baulinks 2012

Baulinks: *Deutsche Holzindustrie legte 2011 insgesamt um 7,8 Prozent zu*, 2012. URL: [www.baulinks.de/webplugin/2012/0270.php4](http://www.baulinks.de/webplugin/2012/0270.php4) [Stand: 20.08.2012].

## BBE 2012

BBE: *Umsatz und Beschäftigung*, 2012. URL: [http://www.bioenergie.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18&Itemid=39](http://www.bioenergie.de/index.php?option=com_content&view=article&id=18&Itemid=39) [Stand: 20.08.2012].

## BMBF 2012

BMBF: *Statistik. Die deutsche Biotechnologie-Branche 2011*, 2011. URL: <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Hintergrund/studien-statistiken,did=123104.html> [Stand: 20.08.2012].

## Bodenmarkt 2010

Bodenmarkt: *Wie gehen wir mit dem Boden um? Flächenmanagement aus politischer, ökonomischer und rechtlicher Sicht*, 2010. URL: [http://www.bodenmarkt.info/downloads/7bofo\\_1\\_boehme.pdf](http://www.bodenmarkt.info/downloads/7bofo_1_boehme.pdf) [Stand: 20.08.2012].

## BÖR 2010a

BioÖkonomieRat (BÖR): *Empfehlungen zum Forschungsfeld Bioökonomie: Boden, Wasser und Landnutzung – Herausforderungen, Forschungs-, Technologie- und Handlungsbedarf* (Berichte aus dem BioÖkonomieRat 01), Berlin 2010.

## BÖR 2010b

BioÖkonomieRat (BÖR): *Innovation Bioökonomie. Forschung und Technologieentwicklung für Ernährungssicherung, nachhaltige Ressourcennutzung und Wettbewerbsfähigkeit. Gutachten des BioÖkonomieRats* 2010, Berlin 2010.

## Bundesregierung 2008

Bundesregierung: *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel* (Drucksache 16/11595 des Deutschen Bundestages vom 19.12.2008), Berlin 2008.

## Bundestag 1997

Deutscher Bundestag: *Gesetzentwurf der Bundesregierung zum Schutz des Bodens* (Drucksache 13/6701, 14.01.1997), 1997.

## BVE 2012

Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie (BVE): *Die Ernährungsindustrie in Zahlen 2011* (Foliensatz), Berlin 2011. URL: [www.bve-online.de/download/foliensatz-2011](http://www.bve-online.de/download/foliensatz-2011) [Stand: 20.08.2012].

## DBV 2009

Deutscher Bauernverband (DBV): *Situationsbericht 2009. Trends und Fakten zur Landwirtschaft*, Berlin 2009.

## DLR/IFEU/WI 2004

Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) / Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie (WI): *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland (im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)*, 2004.

## FNL 2012

Förderungsgemeinschaft Nachhaltige Landwirtschaft (FNL): *Bodennutzung – Fragen und Antworten*, Berlin. URL: [http://fnl.de/fileadmin/user\\_upload/broschueren/FNL\\_Heft\\_Bodennutzung\\_20081001\\_v02.pdf](http://fnl.de/fileadmin/user_upload/broschueren/FNL_Heft_Bodennutzung_20081001_v02.pdf) [Stand: 9.11.2012].

**FNR 2012**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland*, Gülzow 2012. URL: <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/> [Stand: 30.11.2012].

**Gerdes et al. 2010**

Gerdes, H. / Naumann, S. / Landgrebe, R. / Stupak, N.: *Ökonomische Bewertung der ökologischen Funktionen von Böden. Gutachten im Auftrag der Arbeitsgruppe Boden*, Berlin: Ecologic Institute 2010.

**Godfray et al. 2010**

Godfray, H. C. J. / Beddington, J. R. / Crute, I. R. / Haddad, L. / Lawrence, D. / Muir, J. F. / Pretty, J. / Robinson, S. / Thomas, S. M. / Toulmin, C.: *"Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People"*. In: *Science*, 12.02.2010, S. 812-818, 2010.

**IÖW 2008**

Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW): *Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland*, Berlin 2008.

**KBU 2009**

Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU): *Flächenverbrauch einschränken – jetzt handeln. Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt*, Dessau-Roßlau 2009.

**Lambin / Meyfroidt 2011**

Lambin, E. F. / Meyfroidt, P.: *"Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity"*. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108:9, Washington, DC 2011, S. 3465-3472.

**Makeschin et al. 2008**

Makeschin, F. / Wolff, M. / Eckelmann, W. / Flühler, H. / Frede, H.-G. / Hüttl, R. F. / Kögel-Knabner, I. / Mueller, K. / Schmitz-Möller, P. / Weber, M. / Wittmann, U. / Woiwode, J.: *Anforderungen an die Entwicklung und interdisziplinäre Vernetzung der Bodenwissenschaften aus der Sicht eines nachhaltigen Flächenmanagements (Orientierungsrahmen Bodenwissenschaften)*, Remagen-Oberwinter 2008.

**OECD 2007**

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD): *"Biofuels: Is the cure worse than the disease?"*. In: *Round Table on Sustainable Development: 11-12 September. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People*, Paris 2007.

**Öko-Institut 2004**

Öko-Institut: *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*, Freiburg 2004.

**Öko-Institut 2005**

Öko-Institut: *Umweltauswirkungen von Ernährung – Stoffstromanalysen und Szenarien (Diskussionspapier Nr. 7)*, Freiburg 2005.

**Seemüller 2000**

Seemüller, M.: *Der Einfluss unterschiedlicher Landwirtschaftssysteme auf die Ernährungssituation in Deutschland in Abhängigkeit des Konsumverhaltens der Verbraucher*, München / Freiburg: Technische Universität München, Freising-Weihenstephan / Öko-Institut 2000.

**Seufert et al. 2012**

Seufert, V. / Ramankutty N. / Foley J. A.: *"Comparing the yields of organic and conventional agriculture"*. In: *Nature*, 485, 2012, S. 229-232.

**StatBa 2009**

Statistisches Bundesamt (StatBa): *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten*, Wiesbaden 2009.

**Swinnen et al. 2010**

Swinnen, J/ Ciaian, P. / Kancs, D. A. : *Study on the Functioning of Land Markets in the EU Member States under the Influence of Measures Applied under the Common Agricultural Policy*, Brüssel: Centre for European Policy Studies 2010.

**TEEB 2010**

The economics of ecosystems & Biodiversity (TEEB): *Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren. Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TeeB – eine Synthese*, Genf 2010.

**UBA 2009**

Umweltbundesamt (UBA): *Daten zur Umwelt*, Dessau-Roßlau 2009.

**von Braun 2007**

von Braun, J.: *When food makes fuel – the promises and challenges of biofuels*, Canberra: Crawford Fund 2007.

**Wilding / Lin 2006**

Wilding, L. P. / Lin, H: "Advancing the frontiers of soil science towards a geosciences". In: *Geoderma*, 131, 2006, S. 257-274.

**> BISHER SIND IN DER REIHE acatech POSITION UND IHRER VORGÄNGERIN acatech BEZIEHT POSITION FOLGENDE BÄNDE ERSCHIENEN:**

acatech (Hrsg.): *Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Faszination Konstruktion – Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel. Empfehlungen zur Ausbildung qualifizierter Fachkräfte in Deutschland* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Anpassungsstrategien in der Klimapolitik* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Die Energiewende finanzierbar gestalten. Effiziente Ordnungspolitik für das Energiesystem der Zukunft* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Menschen und Güter bewegen. Integrative Entwicklung von Mobilität und Logistik für mehr Lebensqualität und Wohlstand* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Biotechnologische Energieumwandlung in Deutschland. Stand, Kontext, Perspektiven* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Mehr Innovationen für Deutschland. Wie Inkubatoren akademische Hightech-Ausgründungen besser fördern können* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Ansätze und Voraussetzungen für eine integrierte Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Future Energy Grid. Informations- und Kommunikationstechnologien für den Weg in ein nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Den Ausstieg aus der Kernkraft sicher gestalten. Warum Deutschland kerntechnische Kompetenz für Rückbau, Reaktorsicherheit, Endlagerung und Strahlenschutz braucht* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft* (acatech bezieht Position, Nr. 10), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen* (acatech bezieht Position, Nr. 9), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Nanoelektronik als künftige Schlüsseltechnologie der IKT in Deutschland* (acatech bezieht Position, Nr. 8), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Leitlinien für eine deutsche Raumfahrtspolitik* (acatech bezieht Position, Nr. 7), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann* (acatech bezieht Position, Nr. 6), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2010.

acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv* (acatech bezieht Position, Nr. 5), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Strategie zur Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Handlungsempfehlungen für die Gegenwart, Forschungsbedarf für die Zukunft* (acatech bezieht Position, Nr. 4), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2009. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland. Empfehlungen zu Profilbildung, Forschung und Lehre* (acatech bezieht Position, Nr. 3), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008. Auch in Englisch erhältlich (als pdf) über: [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

acatech (Hrsg.): *Innovationskraft der Gesundheitstechnologien. Empfehlungen zur nachhaltigen Förderung von Innovationen in der Medizintechnik* (acatech bezieht Position, Nr. 2), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

acatech (Hrsg.): *RFID wird erwachsen. Deutschland sollte die Potenziale der elektronischen Identifikation nutzen* (acatech bezieht Position, Nr. 1), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

#### > acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

acatech vertritt die deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um den Diskurs über technischen Fortschritt in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft darzustellen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; das Präsidium, das von den Mitgliedern und Senatoren der Akademie bestimmt wird, lenkt die Arbeit; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten vor allem aus der Industrie, aus der Wissenschaft und aus der Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin und einem Büro in Brüssel vertreten.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de)