

TEXTE

65/2011

Anwendung von Boden- daten in der Klima- forschung

Kurzfassung

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3708 71 205 01
UBA-FB 001534

Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung

Kurzfassung

von

**Carolin Kaufmann-Boll, Wolfgang Kappler, Dr. Silvia Lazar,
Dr. Georg Meiners, Bettina Tischler**
ahu AG Wasser - Boden – Geomatik, Aachen

**Dr. Rainer Baritz, Dr. Olaf Düwel, Dr. Rainer Hoffmann,
Dr. Jens Utermann**
BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Prof. Dr. Franz Makeschin, Dr. Mengistu Abiy
Technische Universität Dresden, Tharandt

Prof. Dr. Jörg Rinklebe, Andrea Prüß, Carsten Schilli
Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal

Dr. Anneke Beylich, Ulfert Graefe
IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH, Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4187.html>
verfügbar. Hier finden Sie auch die deutsche Langfassung.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung
der Studie:

ahu AG Wasser · Boden · Geomatik
Kirberichshofer Weg 6
52066 Aachen

Technische Universität Dresden
Pienner Straße 9
01737 Tharandt

BGR Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
30655 Hannover

Bergische Universität Wuppertal
Pauluskirchstraße 7
42285 Wuppertal

IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH
Sodenkamp 62
22337 Hamburg

Abschlussdatum:

Juni 2011

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion:

Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring
Jeannette Mathews, Stephan Marahrens, Falk Hilliges

Dessau-Roßlau, Oktober 2011

1. Berichtsnummer UBA FB 001534	2.	3. II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring
4. Titel des Berichts Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) ahu AG: Carolin Kaufmann-Boll, Wolfgang Kappler, Dr. Silvia Lazar, Dr. Georg Meiners, Bettina Tischler BGR: Dr. Rainer Baritz, Dr. Olaf Düwel, Dr. Rainer Hoffmann, Dr. Jens Utermann Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Stand- ortslehre: Prof. Dr. Franz Makeschin, Dr. Mengistu Abiy Bergische Universität Wuppertal, Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen, Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grund- wassermanagement: Prof. Dr. agr. Jörg Rinklebe, Andrea Prüß, Carsten Schilli IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH: Dr. Anneke Beylich, Ulfert Graefe		8. Abschlussdatum 30. Juni 2011
		9. Veröffentlichungsdatum Oktober 2011
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Kooperationsgemeinschaft: ahu AG Wasser · Boden · Geomatik, Kirberichshofer Weg 6 D-52066 Aachen BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Stilleweg 2 30655 Hannover Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortslehre Pienner Straße 9 01737 Tharandt Bergische Universität Wuppertal, Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen, Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grundwas- ser-management Pauluskirchstraße 7 42285 Wuppertal IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH Sodenkamp 62 22337 Hamburg		10. UFOPLAN-Nr. 3708 71 205 01
		11. Seitenzahl 376
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. Literaturangaben 383
		13. Tabellen 41
		14. Abbildungen u. Dia- gramme 31

16. Zusammenfassung

Für die Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) für das Schutzgut Boden sind belastbare Daten und zuverlässige Zeitreihen über die langfristigen Veränderungen des Bodenzustands und der Bodenfunktionen erforderlich. Die Instrumente des Bodenmonitoring und der Erfassung des Bodenzustands stellen dabei unerlässliche Datengrundlagen dar. In Deutschland bestehen dauerhaft eingerichtete Monitoringprogramme mit repräsentativen Standorten und es finden regelmäßig rasterbasierte Erhebungen des Bodenzustands statt. Die Programme arbeiten in unterschiedlichem Maß nach zwischen den Beteiligten abgestimmten Grundsätzen. Informationen über Bodendaten sind gegenwärtig uneinheitlich und liegen verteilt an vielen Stellen vor, d.h. insbesondere hinsichtlich der Bereitstellung von (Meta-)Daten besteht ein Verbesserungspotenzial. Im BOKLIM-Vorhaben wurde die Eignung von Bodendaten aus den wichtigsten bundesweit und dauerhaft betriebenen Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung für die Klimaforschung erstmals messnetzübergreifend bewertet. Im Fokus standen dabei Fragestellungen zur Veränderungen des Bodenzustands aufgrund von Klimaänderungen. Demnach liefern die Programme eine Vielzahl wertvoller Daten zur Beurteilung der Wirkungen von Klimaänderungen auf Böden. Je nach Fragestellung und den sich daraus ergebenden Anforderungen eignen sich die Daten 1) für die langfristige Überwachung von Änderungen des Bodenzustands, 2) für Prozessstudien und vertiefende Messungen an repräsentativen Standorten z.B. auch zur Kalibrierung und Validierung von Prognosemodellen sowie 3) für den Einsatz in Modellszenarien zu Veränderungen des Bodenzustands. Allerdings ist es notwendig, die Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung mit Ausrichtung auf konkrete Fragestellungen zu koordinieren und an bestimmten Stellen anzupassen, um deren Potenzial für Fragen von Klimawandel und Anpassung nutzen zu können. Neben der Bewertung der Bodendaten liegt ein erstes Konzept zur effizienten Datenbereitstellung und -nutzung vor. Empfehlungen für nächste Schritte zur Koordinierung und Optimierung künftiger Mess- und Erhebungsaktivitäten werden den jeweils zuständigen Institutionen und Akteuren zugeordnet; Forschungsbedarf wird aufgezeigt. Die Empfehlungen sind auf klimarelevante Fragen ausgerichtet, enthalten jedoch auch viele themenunabhängige Aspekte, die z.B. für den Bodenschutz oder die Biodiversitätsstrategie aufgegriffen werden können.

17. Schlagwörter

Bodendaten, Bodenmonitoring, Bodenzustandserhebung, Dauerfeldversuche, Klimaforschung, Klimafolgen, Klimaanpassung

18. Preis

19.

20.

1. Report Number UBA FB 001534	2.	3. II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring
4. Report Title Application of soil data in climate research		
5. Author(s), Surname(s), Given Name(s) ahu AG: Carolin Kaufmann-Boll, Wolfgang Kappler, Dr. Silvia Lazar, Dr. Georg Meiners, Bettina Tischler BGR: Dr. Rainer Baritz, Dr. Olaf Düwel, Dr. Rainer Hoffmann, Dr. Jens Utermann Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortlehre: Prof. Dr. Franz Makeschin, Dr. Mengistu Abiy Bergische Universität Wuppertal, Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen, Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grundwassermanagement: Prof. Dr. agr. Jörg Rinklebe, Andrea Prüß, Carsten Schilli IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH: Dr. Anneke Beylich, Ulfert Graefe		8. Date of Completion 30.06.2011
		9. Date of Publication October 2011
6. Participating Institution (Name, Addresses) Consortium: ahu AG Wasser · Boden · Geomatik, Kirberichshofer Weg 6 D-52066 Aachen BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Stilleweg 2 30655 Hannover Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortlehre Pienner Straße 9 01737 Tharandt Bergische Universität Wuppertal, Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen, Lehr- und Forschungsgebiet Boden- und Grundwassermanagement Pauluskirchstraße 7 42285 Wuppertal IFAB Institut für Angewandte Bodenbiologie GmbH Sodenkamp 62 22337 Hamburg		10. UFOPLAN-Nr. 3708 71 205 01
		11. Number of Pages 376
7. Sponsor Institution (Name, Address) Federal Environmental Agency Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		12. Literature Information 383
		13. Tables 41
		14. Figures and Diagrams 31

16. Summary

The German Strategy for Adaptation to Climate Change was adopted in 2008. The implementation of the strategy requires reliable data and time series on the long-term changes in soil condition and soil functions. Soil monitoring and soil survey are essential data bases for this purpose. In Germany there are permanently established monitoring programmes with representative locations and repeated soil surveys based on a regular grid of sites. The different programmes vary in respect to harmonization regarding agreed principles between the participating institutions. Information on soil measuring data is currently heterogeneous and distributed at many locations. Particularly the provision of (meta-)data should be improved. Here you can find the exceptional quality of BOKLIM. It evaluates the suitability of soil data for climate research across the different measuring programmes in Germany. The most important nation-wide and permanently operating programmes of soil monitoring and soil survey were taken into account. The main aspects were the changes in soil condition due to climate change. As a result, the programmes provide a variety of valuable data to assess the effects of climate change on soils. Depending on the problem and the resulting requirements, the data are suitable 1) for the long-term monitoring of changes in soil condition, 2) for detailed process studies and measurements at representative locations, e.g. for the calibration and validation of predictive models, and 3) for use in model scenarios predicting changes in soil condition. However, it is necessary to coordinate the programmes of soil monitoring and soil survey with the focus on precise questions. The programmes have to be optimized at certain points to improve for issues of climate change and adaptation. In addition to the evaluation of soil data, a first concept for an efficient data provision and data use was created. Recommendations for next steps to coordinate and optimize future monitoring and survey activities and for data provision are advised to the relevant competent institutions and actors. Further research needs were identified. The recommendations aim at improving the interaction between climate change and soil conditions. They can also be taken up for other research fields such as soil protection aspects or biodiversity strategy aspects.

17. Keywords

Soil data, soil monitoring, soil condition, long-term field experiments, climate research, climate change, climate impacts, climate adaptation

18. Price**19.****20.**

INHALT

EINLEITUNG	9
1 WIRKUNG VON KLIMAÄNDERUNGEN AUF BÖDEN.....	11
2 EINSATZ VON BODENDATEN IN DER KLIMASYSTEM-, KLIMAFOLGEN- UND -ANPASSUNGSFORSCHUNG.....	16
2.1 Angebot von Bodendaten in Deutschland	16
2.2 Messgrößen für klimabedingte Veränderungen des Bodenzustands.....	26
2.3 Anforderungen an Datenerhebung und effiziente Datennutzung	30
2.4 Eignung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung	37
2.4.1 Anwendungsbereiche von Bodendaten	37
2.4.2 Programmspezifische Dateneignung	41
2.4.3 Mögliche Aussagen und Nutzen von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für die Arbeiten der Bundesregierung am Aktionsplan Anpassung	47
2.4.4 Eingangsdaten für Modelle	49
2.4.5 Räumliche Aussagen zu Bodenzustand und klimabedingten Veränderungen.....	51
2.4.6 Defizite der Programme des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung.....	55
2.4.7 Zusammenfassendes Fazit über die Eignung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für die Bearbeitung bodenspezifischer Themenbereiche	60
2.5 Kosten und Nutzen der Bereitstellung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung.....	64
3 DATENBEREITSTELLUNG UND EFFIZIENTE NUTZUNG VON BODENDATEN	69
4 EMPFEHLUNGEN FÜR BODENMONITORING UND BODENZUSTANDS- ERHEBUNG ZUM EINSATZ IN DER KLIMAFOLGEN- UND KLIMAANPASSUNGS-FORSCHUNG.....	80
4.1 Anpassung der Programme	80
4.2 Umsetzungskonzept für die Bereitstellung und effiziente Nutzung von Bodendaten.....	93
4.3 Information und Kommunikation.....	100
5 FAZIT UND AUSBLICK.....	105
6 ZUSAMMENFASSUNG	108
7 SUMMARY.....	110
8 LITERATUR	111

EINLEITUNG

Der Bodenschutz ist ein wichtiges Themenfeld in der Klimaanpassung. Die Erarbeitung von Anpassungsstrategien für das Schutzgut Boden erfordert belastbare Daten und zuverlässige Zeitreihen über die langfristigen Veränderungen des Bodenzustands und der Bodenfunktionen. In Deutschland gibt es eine Vielzahl von Aktivitäten zur Erhebung des Bodenzustands und zum Bodenmonitoring, die regelmäßig wiederholt werden oder dauerhaft eingerichtet sind. Rasterbasierte Programme und Programme mit ausgewählten repräsentativen Messstandorten bestehen nebeneinander. Durch Monitoring bzw. Dauerbeobachtung können Veränderungen des Bodenzustandes und der Bodenfunktionen infolge des Klimawandels mit Messdaten dokumentiert und nachgewiesen werden. Die Informationen über Bodendaten sind gegenwärtig uneinheitlich und sie liegen verteilt an vielen Stellen vor; eine harmonisierte, zentrale Datenhaltung erfolgt nur teilweise. Ein Zugang zur Gesamtheit der vorhandenen Bodendaten für Datennutzer aus der Klimasystem-, Klimafolgen- und -anpassungsforschung ist derzeit nicht gewährleistet.

Aus der am 17.12.2008 vom Bundeskabinett beschlossenen Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) (DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG 2008) ergibt sich die Forderung nach einer Vernetzung der Instrumente zur Bodenzustandserhebung und zum Bodenmonitoring, einer Verbesserung des Datenzugangs sowie der Datenqualität und -verfügbarkeit. Diese Forderung aufgreifend, wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) das F+E-Vorhaben "Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung" (BOKLIM), FKZ 3708 71 205 01, bearbeitet.

Das BOKLIM-Vorhaben verfolgte das Ziel, Bodenzustands- und Bodenmonitoringdaten verstärkt in der Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung bekannt zu machen, damit sie künftig verstärkt zur Anwendung kommen. Es dient auch dazu, Messprogramme zu vernetzen und den Datenzugang und die Datenverfügbarkeit zu verbessern und ist darauf ausgerichtet, Wege für eine künftig effizientere Nutzung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für Aufgaben zur Untersuchung und Überwachung der Wirkungen und die Anpassung an den Klimawandel aufzuzeigen. Damit soll die Arbeit zur Vorbereitung des Aktionsplans Anpassung im Rahmen der DAS unterstützt werden.

Für die Beurteilung der Eignung von Messdaten für entsprechende Fragestellungen wurden Metadaten und wissenschaftliches Fachwissen sowie vorliegende Bewertungen (BOVA-Redaktionsgruppe „BDF/Humus/Klima“ 2010) einbezogen. Das BOKLIM-Vorhaben diente nicht dazu, die in Bund, Ländern und Forschungseinrichtungen vorhandenen Messdaten von den erhebenden Institutionen zu beschaffen und zusammenzuführen.

Ein am 29./30.09.2009 durchgeführter UBA-Workshop „Anwendung von Bodendaten bei der Klimaanpassung“ diente der Diskussion von Zwischenergebnissen und der Vernetzung von Akteuren der Datenerhebung und Datennutzung. Die Beiträge und Ergebnisse Workshops sind in UMWELTBUNDESAMT (2010) veröffentlicht.

Die vorliegende Kurzfassung enthält Auszüge des ausführlichen Berichts zum Vorhaben FKZ 3708 71 205 01 und informiert zusammenfassend über die Ergebnisse des Projektes. Für Methoden, detaillierte Informationen und Literaturverweise wird auf den ausführlichen Bericht verwiesen. Dort erfolgt die ausführliche Auseinandersetzung mit der Eignung von Bodenmessdaten für verschiedene Themen wie Bodenerosion und –verdichtung, Bodenwasserhaushalt, Bodenstoffhaushalt, Bodenmikrobiologie, Bodenzoologie und klimarelevante Gase unter Berücksichtigung von Aspekten der Landnutzung.

1 WIRKUNG VON KLIMAÄNDERUNGEN AUF BÖDEN

Die in Deutschland erwarteten bzw. möglichen Klimaänderungen wirken sich auf den Bodenzustand und die Bodenfunktionen bzw. die im Boden relevanten Prozesse aus. Dabei ist zu beachten, dass die Vorhersage von Klimaänderungen auf verschiedenen Klimamodellen und deren Regionalisierungen beruht. Insofern sind die prognostizierten Klimaänderungen regional differenziert und unter Berücksichtigung der Unsicherheiten von Klimamodellen zu betrachten.

Klimaforscher gehen für Deutschland sicher von einem ansteigenden Trend der Lufttemperatur aus. Demgegenüber ist für den Gesamtjahresniederschlag deutschlandweit kein eindeutiger Trend vorherzusehen, allerdings zeichnen sich eine Umverteilung der Niederschläge und deren Extrema im Jahresverlauf ab. Für Veränderungen der Windgeschwindigkeiten und einen Anstieg der Häufigkeit von Sturmtagen gibt es bislang keinen signifikanten Trend (UMWELTBUNDESAMT 2008).

Mögliche Wirkungen von erwarteten Klimaänderungen lassen sich für verschiedene Bodenprozesse wie folgt zusammenfassen¹:

Insbesondere eine regional erwartete temperaturbedingt erhöhte potentielle Evapotranspiration und eine veränderte Niederschlagssituation werden flächenhaft den **Bodenwasserhaushalt** und die Grundwasserdynamik beeinflussen und auf die Entwicklung der Böden einwirken. Die Sickerwassermengen werden sich voraussichtlich bei einer regionalen Umverteilung der Niederschlagsintensität standortspezifisch ändern. Ein veränderter Bodenwasserhaushalt beeinflusst die biologische Aktivität und den Stoffhaushalt durch Stofftransporte mit dem Sickerwasser.

Die Standorteigenschaften im Hinblick auf eine landwirtschaftliche Nutzung können sich regional sowohl positiv als auch negativ ändern. Erhöhte Temperaturen können bei ausreichendem Wasserangebot eine Ertragssteigerung bewirken. Die erwartete Erhöhung der potenziellen Evapotranspiration kann jedoch - je nach Region - auch einen erhöhten Bewässerungsbedarf bedeuten. Der verstärkte Wasserverbrauch durch Pflanzen und die Verdunstung kann zu einer Versalzung von stark bewässerten Flächen führen. Eine Versalzung ist in subkontinental geprägten Regionen Ostdeutsch-

¹ Für Quellenangaben wird auf den ausführlichen Abschlussbericht verwiesen.

lands mit bereits heute ausgeprägter Sommertrockenheit und insbesondere für Böden in Küstennähe zu befürchten, welche erstmalig durch die erwarteten steigenden Meeresspiegel mit Salzwasser in Kontakt kommen.

Die Temperaturerhöhung und die erwartete regionale Veränderung der Niederschlagsverteilung und -menge wirken sich auch auf die Artenzusammensetzung der Bodenlebensgemeinschaft und damit auf die **Biodiversität** aus. Zur Bodenlebensgemeinschaft gehören Mikroorganismen wie Pilze, Algen und Flechten sowie die Mikro-, Meso- und Makrofauna mit z.B. Einzellern, Fadenwürmern, Springschwänzen und Regenwürmern. Der Klimawandel stellt jedoch nicht grundsätzlich die Lebensraumfunktion des Bodens in Frage, sondern verändert die Lebensbedingungen an einem Standort. Hierdurch kann sich eine andere Bodenlebensgemeinschaft entwickeln, was wiederum das Leistungspotenzial der Böden im Hinblick auf die Filter- und Pufferfunktion, die Lebensraumfunktion und die Nutzungsfunktion für landwirtschaftliche Produktion beeinträchtigen kann.

Erhöhte Jahresmitteltemperaturen bewirken in der Regel eine Erhöhung der **mikrobiellen Aktivität** im Boden. Zudem setzt die Aktivität der Bodenmikroorganismen mit der Temperaturerhöhung im Jahresverlauf früher ein. Eine verstärkte mikrobielle Aktivität verursacht eine Erhöhung der Mineralisation und führt zum verstärkten Abbau der organischen Bodensubstanz (OBS). Der damit verbundene Humusschwund ist stark abhängig von Temperatur und Feuchtegehalt des Bodens. Eine Versauerung der Böden aufgrund erhöhter Nitrifikation als Folge einer gesteigerten mikrobiologischen Aktivität ist möglich. Die erwarteten klimabedingten Veränderungen können sich jedoch auch negativ auf die mikrobielle Aktivität auswirken. So wird diese beispielsweise gehemmt, wenn die Bodenfeuchte gering ist. Ein Grundwasseranstieg in den betroffenen Horizonten führt zu anaeroben Verhältnissen, die ebenfalls die mikrobielle Aktivität beeinflussen. Der mikrobielle Abbau wird außerdem entscheidend durch die Menge und Zusammensetzung der OBS beeinflusst. So zeigt sich z.B. eine Verringerung der mikrobiellen Aktivität aufgrund einer Reduzierung des leicht abbaubaren, labilen Kohlenstoffpools in Böden bei höheren Temperaturen. Das Ausmaß von Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenmikroorganismen hängt maßgeblich von der Nutzung und der Bewirtschaftung ab, da der Abbau der OBS aufgrund ihrer Zusammensetzung unter Ackerbau mitunter schneller voranschreitet. Die hier für Bodenmikroorganismen

ausgeführten Zusammenhänge gelten mit wenigen Einschränkungen auch für die **Bodenfauna**.

Der **Gehalt an organischer Bodensubstanz** wird voraussichtlich durch die erwarteten Klimaänderungen beeinflusst. Generell dürften bei höheren Temperaturen die Mineralisationsprozesse im Boden und folglich der Abbau der OBS beschleunigt werden. Damit nimmt die Quantität der Kohlenstoffsequestrierung (Speicherung) in Böden ab, was wiederum Rückkopplungsmechanismen auf das Klima hervorrufen wird. Andererseits kann durch erhöhte Temperaturen und die damit verbundene längere Vegetationsperiode bei ausreichendem Wasserdargebot mehr Phytomasse gebildet werden; diese gelangt in den Boden und kann die Bodenkohlenstoffvorräte erhöhen.

Die Freisetzung der **klimarelevanten Gase** (Treibhausgase) Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O) wird durch steigende Bodentemperaturen gefördert, sofern die damit zusammenhängenden biologischen Prozesse nicht durch andere Faktoren limitiert werden. Wichtig ist die Berücksichtigung der Wechselwirkungen, z.B. des hydrothermalen Regimes, also der Wechselwirkung zwischen Temperatur und Bodenfeuchte. Die Freisetzung klimarelevanter Gase wird ebenfalls durch die Nutzung bzw. die Standortbedingungen beeinflusst. So steht in Mooren beispielsweise ein erhöhtes Potenzial zur Freisetzung zur Verfügung.

Das regional beeinflusste hydrothermale Regime wirkt sich über die bodenmikrobielle Aktivität auf den Streuabbau, die Umsetzungen organischer Bodenstoffe und damit die **CO_2 -Emission** aus. So können beispielsweise verminderte verfügbare Bodenwassergehalte den Streu- und Humusabbau und damit die CO_2 -Freisetzung aus Böden limitieren. Dies ist z.B. für verschiedene Regionen mit abnehmenden Sommerniederschlägen zu erwarten. Auf Feuchtstandorten (Mooren) hängt die CO_2 -Freisetzung vor allem vom Grundwasserstand ab, allerdings nicht in linearer Form. So nimmt bereits bei geringer Grundwasserabsenkung die CO_2 -Freisetzung zu.

Böden können für Methan sowohl eine Quelle als auch eine Senke darstellen. **CH_4 -Emissionen** aus Böden finden unter Sauerstoffabschluss statt. Feuchtgebiete, die reich an organischen Substanzen sind, spielen hier eine wesentliche Rolle. Die Freisetzung von Methan hängt ab vom Grundwasserstand, der Bodentemperatur sowie der Verfügbarkeit und Qualität der organischen Substanz. Es wird davon ausgegangen,

dass hydromorphe organische Böden eine hohe CH_4 -Quellstärke aufweisen, während wechselfeuchte Böden eine hohe N_2O - Quellstärke besitzen.

Die **N_2O -Freisetzung** aus der Nitrifikation steigt i.d.R. bei hohen Gehalten nitrifizierbaren Stickstoffs, hohen Temperaturen, hohen pH-Werten sowie steigender Wassersättigung des Porenraumes eines sonst gut durchlüfteten Bodens. Unter anaeroben Bedingungen kann atmosphärisches N_2O zu N_2 reduziert werden (Denitrifikation), so dass die Böden hier als Senke wirken.

Die Mobilität von **Nähr- und Schadstoffen** wird entscheidend vom Gehalt des Bodens an organischer Substanz beeinflusst. Wird organische Substanz im Boden infolge des Klimawandels abgebaut, so werden daran gebundene Stoffe im Boden mobilisiert. Die Stoffe können durch die Erhöhung der Niederschlagsintensität verstärkt mit dem Sickerwasser verlagert werden und/oder durch die Erhöhung der Temperatur an der Bodenoberfläche ausgasen. Stickstoff (und z.T. Phosphor in organisch gebundener Form) könnten vermehrt ins Grundwasser ausgewaschen werden. Der Rückgang der klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr kann zu einer Verringerung der Abbauleistung und der Filterfunktion des Bodens für Schadstoffe führen.

Die erwartete Klimaänderung und veränderte Saisonalitäten können vor allem zu einer höheren Gefährdung durch **Bodenerosion unter dem Einfluss von Wasser und Wind**, aber auch zu Änderungen des **Gefügezustands und damit einer Zunahme der Verdichtungsgefährdung** führen. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass sich von den für die Bodenerosion entscheidenden Faktoren vor allem die Höhe und Intensität der Niederschläge sowie der Humusgehalt des Bodens verändern. Die Erosion durch Wind und Wasser wirkt sich neben dem Transport von Bodenmaterial auch auf den Stoffhaushalt der Böden aus. So können dem Boden durch den Abtrag des oberflächennahen Materials relevante Mengen an z.B. Phosphor, Stickstoff und Humus verloren gehen und möglicherweise angebundene Oberflächengewässer belasten.

Aus den vorangehenden Ausführungen leitet sich ab, dass Klimaänderungen vielfältige Einflüsse auf die Funktionen der Böden haben können. Die Funktionen des Bodens sind gemäß § 1 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen. Es wird deutlich, dass Niederschlags- und Temperaturänderungen in engem Zusammenhang mit den vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Boden-

wasserhaushalt, Humusgehalt, Bodengefüge und biologischer Aktivität stehen. Insofern wirken die oben beschriebenen Einflüsse und Prozesse gleichermaßen auf die in § 2 BBodSchG beschriebenen natürlichen und nutzungsbezogenen Bodenfunktionen.

Im Ergebnis bereits durchgeführter Auswertungen von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustanderhebung sind derzeit erst in geringem Umfang klimawandelinduzierte Tendenzen für den Boden ableitbar. Ausschließlich aus den bereits über längere Zeiträume (z.B. > 30 Jahre) betriebenen Programmen wie den landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen deuten sich heute bereits abnehmende Tendenzen der Kohlenstoffvorräte im Boden an, die auch durch klimatische Änderungen verursacht sein können. Nicht betrachtet wurden dabei bisher die Veränderungen, die durch eine veränderte Wirtschaftsweise (Kulturartenwechsel, Sortenwahl, Bodenbewirtschaftung usw.) eine Anpassung an den Klimawandel bewirken können (Rückkopplungseffekte).

2 EINSATZ VON BODENDATEN IN DER KLIMASYSTEM-, KLIMAFOLGEN- UND -ANPASSUNGSFORSCHUNG

Sowohl in der Klimasystemforschung als auch in der Klimafolgen- und -anpassungsforschung besteht der Bedarf an Bodendaten. Neben regionalisierten und über die Tiefe differenzierten Daten zu Bodeneigenschaften und Daten zur Landnutzung und Vegetation sind auch Beobachtungsdaten zu Bodenfeuchte und -temperatur, Grundwasserflurabstand sowie zu chemischen Bodeneigenschaften erforderlich. Der Datenbedarf ist je nach Fragestellung, eingesetztem Modell und betrachteter Raum- und Zeitskalen unterschiedlich. Es ist sinnvoll, den Datenbedarf jeweils modell- und fragestellungsbezogen zu konkretisieren. Bodendaten sind z.B. wichtige Bausteine für die von vielen Anwendern geforderte höhere Auflösung der Klimamodelle. Langfristiges Interesse besteht aus Sicht der Klimamodellierer auch an Daten zu Kohlenstoffkreislauf und Bodenbedeckung. Hier gilt es, Strategien zu entwickeln, um die in Bund und Ländern vorliegenden Bodendaten und –karten und die benötigten Methoden zur Regionalisierung und/oder zum Up- und Downscaling besser bekannt und verfügbar zu machen. Einen Beitrag leistet hier die Zusammenstellung von Informationen in der Broschüre „Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland“ (siehe Kap. 2.1).

2.1 Angebot von Bodendaten in Deutschland

Die Bodenmessdaten aus bundesweit betriebenen und dauerhaft oder wiederholt durchgeführten Programmen und aus thematisch relevanten Forschungsprojekten sowie wichtige Karten(werke) wurden in Form von Steckbriefen beschrieben. Die Steckbriefe enthalten z.B. Angaben zur räumlichen Ausdehnung, zum Erhebungszeitraum, zur Untersuchungsmethodik (inkl. Parameter, Untersuchungshäufigkeit, Probenahme, Analytik und Datenhaltung), zu beteiligten Institutionen und Arbeitsgruppen und zur Verknüpfung mit anderen Messnetzen. Als ergänzende Informationen wurden zudem Vor- und Nachteile des jeweiligen Programms und – soweit vorhanden – klimafolgenrelevante Forschungsergebnisse zusammengestellt (siehe Entwurf der Broschüre „Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland - Bodendaten für Fragen zu Klimawandel, Klimafolgen und Anpassung“, AHU AG 2009).

Daten im Fokus

Im Fokus des BOKLIM-Vorhabens stehen die bundesweit betriebenen Programme im Umwelt-, Forst- und Landwirtschaftsbereich, aus denen heute bereits bodenbezogene Messdaten vorliegen:

- ICP Forest (Level I und II)
- Bodenzustandserhebung im Wald
- Boden-Dauerbeobachtung
- landwirtschaftliche Dauerfeldversuche

Die Programme sind dem Monitoring und den langfristigen Boden-Experimenten (ICP Forest Level II, Boden-Dauerbeobachtung und Dauerfeldversuche) sowie den Wiederholungsinventuren (Bodenzustandserhebung im Wald, ICP Forest Level I) zuzuordnen. Obwohl die landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche nicht vollständig der Monitoring-Definition gemäß DIN ISO 16133 (2006-06) entsprechen, werden sie im Weiteren vereinfachend unter dem Begriff „Bodenmonitoring“ aufgeführt.

Nachrangig wurden bei der Dateneignungsprüfung aber auch weitere langfristige Boden-Beobachtungsaktivitäten und ausgewählte Karten(werke) berücksichtigt:

- Bodenzustandserhebung Landwirtschaft
- Agrarmeteorologische Bodendaten des DWD
- Probenart Boden der Umweltprobenbank des Bundes
- Feldlysimeter
- Bodenübersichtskarten
- Bodenschätzung

Abbildung 1 zeigt die betrachteten bundesweit laufenden Messaktivitäten für Böden mit Bezug zu den beteiligten Verwaltungsebenen und der Messintensität. Der nachfolgende Kasten enthält eine Kurzbeschreibung der Programme, die im vorliegenden Bericht im Fokus stehen.

		Anzahl Standorte Deutschland
International	ICP Forest, Large Scale-Untersuchungen (Level I)	<i>ca. 420</i>
	ICP Forest, Intensiv-Untersuchungen (Level II)	<i>88</i>
Bund / Länder	Bodenzustandserhebung Wald (BZE Wald)	<i>1.950</i>
	Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE Landwirtschaft)	<i>ca. 4.000</i>
	Basis-Boden-Dauerbeobachtung (Basis-BDF)	<i>699</i>
	Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung (Intensiv-BDF)	<i>92</i>
	Agrarmeteorologische Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)	<i>ca. 500</i>
	Umweltprobenbank des Bundes - Probenart Boden	<i>11</i>
Forschung	Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche (LWF)	<i>ca. 30</i>
	Feldlysimeter	<i>45</i>

Basis-Erhebung
 Intensiv-Erhebung

Abb. 1: Übersicht laufender bodenbezogener Messaktivitäten in Deutschland

Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung in Deutschland

ICP Forest Level I / BZE Wald, ICP Forest Level II

Die Messungen auf Forststandorten im Rahmen des ICP Forest Level I / BZE Wald und ICP Forest Level II sind ausgerichtet auf die Bewertung und Überwachung des Waldzustands sowie des Zustands der Waldböden mit Blick auf Waldernährung, Kronenzustand und Wasserqualität. Die Einrichtung und der Betrieb der Messstandorte, ein Mindestparametersatz sowie die Untersuchungs- und Dokumentationsmethoden sind im Rahmen der Bund-/Länder-Arbeitsgruppe BZE vereinbart. Die ca. 420 Standorte des ICP Forest Level I liegen in einem 16 x 16 km-Raster und werden durch weitere Standorte der Bodenzustandserhebung im Wald in einem 8 x 8 km-Raster ergänzt (insgesamt ca. 2000 Standorte). Wiederholte Inventuren sind ca. alle 15 Jahre vorgesehen. Die 88 Level II-Standorte sind so verteilt, dass sie die Hauptwaldtypen Deutschlands repräsentieren. Der Parameterumfang der Bodenuntersuchungen ermöglicht insbesondere Auswertungen zum Bodenzustand zum Zeitpunkt der Erhebung in Bezug auf den Kohlenstoffkreislauf, den Nährstoff- und Wasserhaushalt und die diffuse stoffliche Bodenbelastung. Daten zur Bestockung liegen ausschließlich für die Beprobungstermine vor. Informationen zu Kalkungsmaßnahmen u.ä. zwischen den Beprobungsterminen fehlen. Das vTI - Institut für Waldökologie und Waldinventuren (WOI) hält die Daten in einer zentralen Datenbank. Ein Bundesdatensatz wird 2015 zur Verfügung stehen.

BZE Landwirtschaft

Vom Bundeslandwirtschaftsministerium (Johann Heinrich von Thünen Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Agrarrelevante Klimaforschung) wird aktuell eine bundesweite Bodenzustandserhebung (BZE) Landwirtschaft für die Klimaberichterstattung in Kooperation mit den Ländern konzipiert. Wie in der BZE Wald ist eine bundesweite, rasterbasierte Stichprobe zur Charakterisierung der Böden und der Landnutzung und Bewirtschaftung geplant. Der Untersuchungsumfang unterscheidet sich von der BZE Wald. Das Programm umfasst eine Untersuchung des aktuellen Kohlenstoffstatus und dessen künftige Veränderungen der landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Die Inventur wird zentral koordiniert und nach einheitlichen Methoden durchgeführt. Die rund 4000 Messstandorte liegen in einem 8 x 8 km-Raster. Flächendeckende Daten, die zunächst den Ist-Zustand der Böden beschreiben werden, sind voraussichtlich erst in mehr als 5 Jahren verfügbar.

Boden-Dauerbeobachtung

Die Boden-Dauerbeobachtung ist explizit auf den vorsorgenden Bodenschutz ausgerichtet, um schädliche Bodenveränderungen anhand langjähriger Zeitreihen frühzeitig erkennen zu können. Die Einrichtung und der Betrieb der Messflächen sind in den Landesbodenschutzgesetzen verankert. Durch die länderübergreifenden Arbeiten seit den 1990er Jahren zur fachlichen Abstimmung und die Berücksichtigung von konzeptionellen und methodischen Empfehlungen durch die Länder konnte bislang eine weitgehend länderübergreifende Vereinheitlichung der Vorgehensweise bei der Auswahl, Einrichtung und Betrieb der BDF im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtungsprogramme gewährleistet werden. Verbindliche Vereinbarungen zu Untersuchungsmethoden sowie zum datenverarbeitungstechnischen Austausch und zur Einheitlichkeit der Daten existieren jedoch nicht. Die Daten werden in den Ländern verwaltet. Im Fachinformationssystem Bodenschutz (bbIS-UBA) werden Daten der Basis-BDF für länderübergreifende Auswertungen zusammengeführt. Die räumliche Verteilung der ca. 700 Basis- und 95 Intensiv-BDF ist je nach Bundesland unterschiedlich. In der Regel richtet sich die Standortwahl nach der Landschaftsrepräsentanz. Die Basis-BDF werden vielfach im 10-Jahresturnus untersucht und liefern Messdaten zu Merkmalen des Bodenzustands. Es erfolgt eine umfassende und wiederholte Erhebung von biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften. Parallel wird die Bewirtschaftung erfasst (Nutzungsgeschichte, Stoffein- und -austräge, Bodenbearbeitung, Erträge usw.). Die Intensiv-BDF sind mit dauerhaften Messeinrichtungen ausgestattet, um insbesondere dynamische Bodenprozesse zu dokumentieren, z.B. Stoffeinträge durch Deposition und Stoffausträge mit dem Sickerwasser.

Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche

Die landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche mit einer Versuchsdauer von mehr als 30 Jahren werden derzeit an 19 Standorten in Deutschland durchgeführt und dienen in der Regel zur Beantwortung von Fragestellungen der landwirtschaftlichen Ertragsabhängigkeit, teilweise auch zur Untersuchung von langfristigen bewirtschaftungs- und klimabedingten Veränderungen von Bodeneigenschaften. Die Standorte erstrecken sich von Südwest- nach Nordostdeutschland und decken Sand-, Löss- und Lehmböden mit jährlichen Niederschlagsmengen von 480 bis 900 mm ab. Die Einrichtung und der Betrieb der einzelnen Dauerfeldversuche obliegen keinem zentralen Organ. Vielmehr ist dies Aufgabe von agrarwissenschaftlichen Forschungseinrichtungen des Bundes und der Länder sowie von Universitäten. Derzeit erfolgt in Deutschland noch keine zentrale konzeptionelle und methodische Koordination; diese wird jedoch angestrebt. Untersucht werden im Boden i.d.R. Eigenschaften wie Humus- und Nährstoffgehalte und -vorräte, physikalische Bodeneigenschaften wie Dichte und Wasserhaushalt sowie in einigen Fällen bodenbiologische Parameter. Die Untersuchungshäufigkeit variiert an den einzelnen Standorten.

Nutzen und Eigenschaften der Programme

Die Programme verfolgen jeweils unterschiedliche nutzungs- und umweltbezogene **Ziele**. Sie wurden i.d.R. ursprünglich nicht dazu eingerichtet, den Einfluss von geänderten Klimabedingungen auf Böden zu untersuchen. Der Umfang gemessener Parameter ist im stofflichen Bereich am größten (Humus, Kohlenstoff, Nähr- und Schadstoffe) und am geringsten in der Bodenphysik und Bodenbiologie. Häufig werden auch andere Umweltkompartimente wie Aufwuchs und Grundwasser in die Messungen einbezogen.

Hinsichtlich der **Laufzeiten** verfügen die landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche über die längsten Messreihen (> 30 Jahre). Die Boden-Dauerbeobachtung in einigen Ländern und die forstlichen Monitoring- und Erhebungsprogramme werden seit den 1980er Jahren. Die erste bundesweite Zustandserhebung für landwirtschaftlich genutzte Böden wird derzeit vorbereitet.

Beteiligt an der Durchführung der Programme und Aktivitäten sind Verwaltungseinrichtungen in den Ressorts Umwelt, Forst, Landwirtschaft und Wirtschaft sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten. Der Betrieb von Messflächen der Boden-Dauerbeobachtung und der forstlichen Monitoring- und Erhebungsprogramme liegt in der Zuständigkeit der Länder. Die landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche sind an landwirtschaftlichen Forschungseinrichtungen des Bundes und der Länder sowie an Universitäten angesiedelt. Die Analytik erfolgt zumeist in landeseigenen oder teilweise in privaten zertifizierten Laboren.

Die **Untersuchungshäufigkeit** variiert – je nach Dynamik des untersuchten Prozesses – zwischen 10 Jahren und stündlich. In den Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung werden nicht durchgehend einheitliche oder gleichwertige Probenahme- und Untersuchungsverfahren eingesetzt.

Die **Messstandorte** verteilen sich über die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland. Unterschieden werden rasterbasierte Messnetze z.B. im 16 x 16 km- bzw. 8 x 8 km-Raster (ICP Level I/BZE Wald, BZE Landwirtschaft) von Programmen mit ausgewählten, für einen definierten Raum repräsentativen Messstandorten (z.B. repräsentativ für eine Bodengesellschaft) (Basis-BDF, Intensiv-BDF, LWF, ICP Level II, DWD, Umweltprobenbank). Sind die Standorte von Messnetzen repräsentativ für einen definierten Raum, ist eine Übertragung von Punktinformationen in die Fläche möglich.

Eine zentrale **Datenhaltung** erfolgt nur in einem Teil der Programme (z.B. ICP Level I/BZE Wald, BZE Landwirtschaft, Basis-BDF). Die verwendeten Formate und Informationssysteme zur Datenhaltung und –bereitstellung sind unterschiedlich und nicht ohne weiteres übertragbar. Messdaten sind teilweise auf Anfrage verfügbar und können für Auswertungen oder Modellierungen genutzt werden. Einheitliche Nutzungsvereinbarungen existieren nicht. Soweit eine Datenübermittlung zwischen Bund und Ländern zur Erfüllung von Bodenschutzaufgaben notwendig ist, wird diese auf der Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich (VwV Datenaustausch; Anhang Boden) geregelt.

Koordinierende Aktivitäten finden in unterschiedlichem Maße statt. Im forstlichen Bereich sind ständig eingerichtete Gremien (Expert Panels und Working Groups im Rahmen von ICP Forest Level I und II, Bund-Länder-Arbeitsgruppe BZE II, BMELV-Gutachterausschuss Forstliche Analytik GAFA) mit der Organisation, Auswertung und Weiterentwicklung der Programme befasst. Anstrengungen zur Abstimmung und Koordination werden auch für Boden-Dauerbeobachtung und landwirtschaftliche Feldversuche unternommen, es bestehen jedoch keine ständigen Gremien oder langfristige Vereinbarungen. Messnetz-übergreifende Netzwerke bestehen nicht.

Verknüpfungen zwischen Messprogrammen bestehen zwischen ICP Level I/BZE Wald, ICP Level II und BDF. So sind beispielsweise in Bayern, Baden-Württemberg, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen die Boden-Dauerbeobachtungsflächen zum Teil an Level II-Standorte angeschlossen. Teils findet eine integrierende Beobachtung von Umweltkompartimenten statt.

Fazit:

Die meisten bis hier beschriebenen Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung wurden ursprünglich mit Zielen der Luftreinhaltung, Waldbewirtschaftung oder des Bodenschutzes angelegt. Nur die derzeit beginnende Bodenzustandserhebung Landwirtschaft mit ihrem auf Kohlenstoff begrenzten Untersuchungsumfang war von Beginn an auf Klimafragestellungen ausgerichtet. Die Programme arbeiten in unterschiedlichem Maße nach zwischen den Beteiligten abgestimmten Grundsätzen, Vorgehensweisen und Methoden. Besonders weitgehend ist die Vereinheitlichung der Probenahme- und Analysemethoden bei der bundesweit organisierten

Bodenzustandserhebung im Wald und den ICP Level II-Flächen vorangeschritten. Die Boden-Dauerbeobachtungsprogramme sind landesintern und aufgrund von Aktivitäten auf LABO-Ebene ebenfalls stark standardisiert.

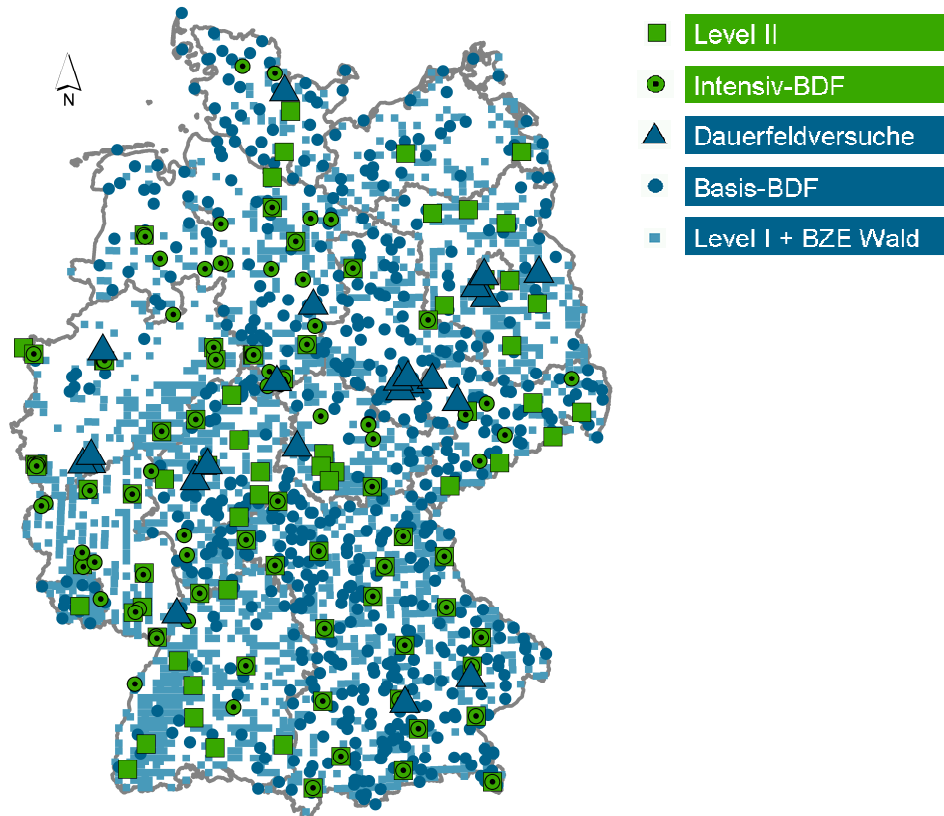


Abb. 2: Messstandorte von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung (ohne geplante Standorte der BZE Landwirtschaft)
Datengrundlagen: UBA, vTI, LGB RLP. Stand 12/2010

Die Abdeckung der Fläche mit Untersuchungsstandorten ist je nach Programm unterschiedlich (siehe Abb. 2). Im Überblick deutet sich an, dass im Rahmen der bestehenden Programme gut untersuchte Messstandorte in allen Klimaregionen Deutschlands vorhanden sind, die Standortdichte jedoch ungleichmäßig ist. Der Untersuchungsumfang (Parameter, Häufigkeit) und die Methodik ist an den Standorten der einzelnen Programme und zum Teil auch je nach Bundesland und Feldversuchsstandort unterschiedlich. Hiervon hängen die Anwendungspotenziale der Messdaten jeweils im Einzelnen ab. Die unterschiedliche Vorgehensweise in den Programmen führt dazu, dass

bundesweite Aussagen für die Berichterstattung zum Bodenzustand und dessen Veränderungen gar nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand abgeleitet werden können.

Weitere Messaktivitäten

Das agrarmeteorologische Messprogramm des Deutschen Wetterdienstes (DWD) liefert zumeist seit den 1960er Jahren Messreihen zu Bodenfeuchte und Bodentemperatur an repräsentativen Messstandorten.

Die Umweltprobenbank (UPB) des Bundes wird unter der Gesamtverantwortung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherung betrieben. Die (UPB) ist ein Archiv von Proben, mit denen die Qualität der Umwelt dokumentiert und bewertet werden kann. Durch die Tiefkühlagerung von Bodenproben in der UPB ist grundsätzlich die Möglichkeit gegeben, über einen langen Zeitraum vielfältige Informationen über den Bodenzustand, die stoffliche Belastung sowie über seine Funktionsfähigkeit als Lebensraum und damit auch über die Artenvielfalt und mögliche Veränderungen zu konservieren. Seit 2002 werden routinemäßig an elf ausgewählten Standorten Bodenproben entnommen.

In Deutschland werden durch Universitäten und Forschungseinrichtungen derzeit 45 Feldlysimeter mit unterschiedlichen hydrologischen und stofflichen Forschungsansätzen dauerhaft betrieben. Diese Untersuchungen reichen zum Teil bis in die 1950er Jahre zurück.

Neben den oben dargestellten Programmen werden in den Bundesländern weitere Erhebungen des Bodenzustands durchgeführt, z.B. zur Ermittlung landesweiter Hintergrundwerte für Schadstoffe in Böden. Weiterhin werden z.T. auf Europäischer Ebene bzw. in einzelnen Ländern – in diversen Projekten Boden- und Landnutzungsdaten erhoben (z.B. CarboEurope, LUCAS, DFG-Exploratorien, TERENO, Humusmonitoring NRW).

Rechtliche Anforderungen zur Überwachung des Bodenzustands

Eine bundesweite rechtliche Verpflichtung zur Überwachung des Bodenzustands im Bodenschutzrecht existiert nicht. Auch aus weiteren gesetzlichen Regelungen, wie z.B. aus der FFH-Richtlinie (92/43/EWG), der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG)

oder der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) ergeben sich keine expliziten Anforderungen zur Überwachung der Böden. Allerdings wird im Rahmen des FFH-Monitoring der Boden in Zusammenhang mit der Vegetation betrachtet und im Zusammenhang mit der BioSt-NachV sind Bodendaten (nutzungsabhängiger Kohlenstoffgehalt) zur Berechnung des sog. Treibhaus-Minderungspotenzials erforderlich. Im Rahmen von Cross Compliance sind gemäß Direktzahlungen-Verpflichtungsgesetz und -verordnung Prämienzahlungen für Landwirte mit der Einhaltung von Umweltstandards verknüpft. Hier ist unter bestimmten Voraussetzungen die regelmäßige Untersuchung des Bodens auf die Gehalte von Humus, Stickstoff, pflanzenverfügbarem Phosphat, Kali und Magnesium sowie pH-Wert vorgeschrieben, sofern keine Fruchtfolge mit positiver oder ausgeglichener Bilanz gegeben ist. Bei dieser lokalen Überprüfung des Bodenzustands werden jedoch keine flächenrepräsentativen, kontinuierlichen Zeitreihen für Bodeneigenschaften erzeugt und die Daten sind in der Regel nicht zugänglich.

Räumliche Daten

Neben den auf Bodenzustand und dessen Veränderungen ausgerichteten Messaktivitäten liegen in Bund und Ländern umfangreiche Flächendaten zu Bodeneigenschaften auf unterschiedlichen Maßstabsebenen vor. Eine Auflistung der vorliegenden Themenkarten findet sich in LABO-BOVA (2006); diese ist im Entwurf der Broschüre „Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland“ (AHU AG 2009) enthalten.

Bodenkundliche Karten und Profildaten sowie geologische Karten für den Untergrund unterhalb des Bodens stehen i.d.R. bei den Geologischen Diensten oder Umwelt, Landwirtschafts- und Forstbehörden der Länder zur Verfügung. Bodenkarten zeigen die Verbreitung von in einem Gebiet vorherrschenden Böden und deren Eigenschaften. Über so genannte Pedotransferfunktionen oder Modelle lassen sich daraus Aussagen zur Ausprägung der entsprechenden Bodenfunktionen sowie mögliche Bodengefährdungen ableiten. Die Bodenschätzung beinhaltet umfassende Flächen- und Punktdaten, die in den Ländern zunehmend flächendeckend und digital verfügbar werden (siehe nachfolgender Kasten).

Bodenschätzung

Aufbauend auf einem Netz von rund 4.100 Musterprofilen (Musterstücke) sowie dem Schätzungsrahmen für Acker- und Grünland wird im Rahmen der Bodenschätzung die Beschaffenheit und die Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlich nutzbaren Böden erfasst (BGBl. 2007 Teil I Nr. 69 S. 3176 – 3183). Für die Musterstücke liegen neben dem Schätzungsergebnis auch bodenphysikalische und bodenchemische Analysedaten vor. Das-selbe gilt zunehmend für die Vergleichsprofile auf Gemarkungsebene (Vergleichsstücke), die in einigen Bundes-ländern gemeinsam mit der bodenkundlichen Landesaufnahme bewertet werden. Die Masse an auswertbaren Bodenprofilen aus der flächendeckenden Schätzung umfasst mehrere Millionen Bodenprofile (Grablöcher), weil prinzipiell für jede abgegrenzte Bodenfläche eine Profilbeschreibung angelegt wird. Werden die ursprünglichen Bohrungen, die der Flächenbildung zugrunde liegen, mit in die Betrachtung einbezogen, basiert die Bodenschät-zung deutschlandweit auf einem Fundus von ca. 100 Mio. Stichproben (40 x 40 m-Bohraster auf 17 Mio. ha). Bodenschätzungsdaten liegen deutschlandweit einheitlich vor. Da die Bodenschätzung kontinuierlich fortgeführt wurde, liegen ältere und neuere Aufnahmen nebeneinander vor, sodass bei Auswertungen das Aufnahmedatum zu beachten ist. Die räumlichen Grenzen der Bodenflächen und die Lage der Grablöcher werden im amtlichen Liegenschaftskataster nachgewiesen. Bodenschätzungsdaten sind dabei zunehmend digital verfügbar und per-spektivisch Bestandteil des Liegenschaftskatasterinformationssystems ALKIS®. Parallel dazu halten Boden-schätzungsdaten und deren themenbezogene Auswertungen Einzug in die Geodatenserver der Länder, wodurch sie letztendlich Bestandteile der deutschen und europäischen Geodateninfrastruktur sind.

Ergebnisse aus der Arbeit mit Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustands-erhebung

Aus der Auswertung von Daten der bestehenden Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung liegen bereits Ergebnisse, z.B. zu folgenden The-men, vor 2:

- Entwicklung des Kohlenstoffpools der Waldböden (Level I+II, BZE Wald) und landwirtschaftlich genutzte Böden, Mechanismen der Humusstabilisierung, Er-kenntnisse zur Humusbilanzierung (Reduzierung der CO₂-Belastung in der At-mosphäre) (LWF)
- Verbesserung der Grundlagen für die Wasserhaushaltsmodellierung (Level I+II, BZE Wald)
- Wirkung von Luftschadstoffeinträgen und Klimawandel auf Stoffumsetzungen in Waldökosystemen sowie auf die Vitalität und Vielfalt der Waldvegetation (Level II)
- Bewertung der Verdunstung in landwirtschaftlichen Produktionsgebieten (DWD)
- Auswirkungen des Klimawandels auf die phänologischen Phasen wildwachsender Pflanzen in Sachsen-Anhalt (DWD-Bodendaten)

² Die nachfolgende Liste fasst das Ergebnis einer Messnetz- und themenübergreifenden Recherche und Mitteilungen von an den Messprogrammen beteiligten Institutionen zusammen.

- Synergien zwischen Moorschutz und Klimaschutz aufgrund der Kohlenstoffspeicherung in Mooren (BDF)
- Wechselwirkung zwischen Bodennutzung und klimarelevanten Spurengasen (LWF)
- Einfluss von Klimaänderungen auf das System Boden-Pflanze und zu den Wechselbeziehungen zwischen Boden und Klima, Sensibilitätsabschätzung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen auf zu erwartende Klimaänderungen, Modellierung von Pflanzenwachstum (LWF)
- Atmosphärischer Eintrag von Stickstoff (LWF)
- Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftung auf die mikrobielle Diversität im Boden (LWF)
- Ableitung von Referenzwerten für die faunistische Biodiversität im Boden (BDF)
- Ableitung entscheidender Kennziffern zur Bewertung der Umweltverträglichkeit differenzierter Landnutzungsintensitäten (LWF)

Für weitere Informationen zu den Bodendaten und Messprogrammen sowie für Publikationen zu den genannten Ergebnissen von Datenauswertungen wird auf die Übersicht „Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland - Bodendaten für Fragen zu Klimawandel, Klimafolgen und Anpassung“ (AHU AG 2009, Entwurf) und die für das jeweilige Messprogramm verantwortlichen Institutionen verwiesen.

2.2 Messgrößen für klimabedingte Veränderungen des Bodenzustands

Um die Anwendbarkeit von Bodenmessdaten zu beurteilen, stellt sich zunächst die Frage, mit welchen Messgrößen (Parametern) klimabedingte Änderungen des Bodenzustands direkt belegt werden können und welche Messgrößen sich somit prinzipiell für eine Überwachung von Klimafolgen eignen. Tabelle 1 listet solche Parameter auf. Dazu ist jeweils angegeben, in welchen Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung sowie weiteren Messaktivitäten die Parameter erhoben werden.

Nicht alle genannten Parameter eignen sich dazu, im Rahmen von Monitoring- und Erhebungsprogrammen gemessen bzw. überwacht zu werden. Neben den in Tabelle 1

genannten direkten Messgrößen sind zur Erklärung von gemessenen Veränderungen und Prozessen sowie zur Regionalisierung von Messergebnissen weitere Angaben zu Boden-, Nutzungs-, Klima- und Witterungsbedingungen erforderlich.

Anhand der **Bodentemperatur und Bodenfeuchte** in unterschiedlichen Tiefen sowie der Sickerwasserrate können die direkten Wirkungen veränderter Klimabedingungen auf den Wärme- und Wasserhaushalt der Böden ermittelt werden. Außerdem sind indirekt Rückschlüsse auf die Freisetzung von Nähr- und Schadstoffen, die Freisetzung von Klimagasen und Veränderungen der Bodenlebensgemeinschaft sowie auf die Gefährdungen der Böden durch Bodenerosion und Verdichtung möglich.

Klimabedingte Veränderungen der **bodenmikrobiellen Aktivität** können durch die mikrobielle Biomasse und Enzymaktivitätsmessungen aus den jeweiligen Stoffkreisläufen (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel) abgebildet werden. Sie sind als Indikatoren für Änderungen von Nutzungs- und Umwelteinflüssen besonders geeignet, da sie schneller als andere Bodenparameter, wie z.B. der Humusgehalt, auf Veränderungen reagieren. Um die **Struktur von bodenmikrobiellen Lebensgemeinschaften** und ihre potenziellen Änderungen adäquat zu erfassen, sind Messungen von Phospholipidfettsäuren als Biomarker für diverse Bodenorganismengruppen geeignet. Der Systemzustand der Bodenlebensgemeinschaft lässt sich anhand von **Indikatorgruppen** aufzeigen (z.B. tiefgrabende Regenwürmer). Weitere Schlüsselgruppen sind zu berücksichtigen (z.B. bodenbürtigen Pflanzenschädlinge/-krankheiten).

Eine Schlüsselrolle spielen Mineralisationsprozesse, über die die **Freisetzung von CO₂** (direkte kontinuierliche Messung von CO₂ aus mikrobieller oder wurzelbürtiger Atmung; über Modelle mittels labiler organischer Vorstufen und Informationen zum dynamischen Bodenzustand) und die Veränderung des **Humusgehalts** im Boden (bzw. die Speicherung von C) gesteuert wird. Klimasensitive Messgrößen sind weiterhin die **Freisetzung von N₂O und CH₄** (Messung von N₂O und CH₄ vergleichbar CO₂ s.o.); hierbei spielen die Verfügbarkeit organischer Ausgangsstoffe, pH-Wert und der Grad der Anaerobie (Redoxpotenzial) im Boden eine entscheidende Rolle.

Zu den bewirtschaftungsbedingten Gefährdungen der Böden, die durch den Klimawandel verstärkt werden, gehören einerseits **Bodenabträge** durch Wasser- und Winderosion, die sich direkt über die jeweilige Höhe des Abtrags und indirekt über klimatische

Faktoren, physikalische Bodeneigenschaften und Grad und Dauer der Bodenbedeckung ermitteln lassen. Weiterhin können Bodenverdichtungen über die Veränderung von **Trockenrohdichte** und den **k_r-Wert** (sowie Luftkapazität) ermittelt werden.

Tab. 1: Parameter zur Messung klimabedingter Änderungen des Bodenzustands

Im Boden ablaufender Prozess	Ausmaß von potenziellen Klimaänderungen*	Parameter zur direkten Messung klimabedingter Änderungen des Bodenzustands	In welchen Programmen wird der Parameter untersucht?*
Wärmehaushalt	hoch	Bodentemperatur in verschiedenen Horizonten (z.B. in °C)	DWD, Intensiv-BDF, ICP Level II, z.T. Feldlysimeter
Bodenerosion	hoch	Bodenabtrag (z.B. in t/ha * a) Profiltiefe (z.B. in dm)	wenige Intensiv-BDF (mit unterschiedlichen Ansätzen)
Sickerwasserfluss und Wasserspeicherung	hoch	Bodenwassergehalt / Bodenfeuchte in verschiedenen Horizonten (z.B. in Vol.-% oder mm)	Intensiv-BDF, ICP Level II, LWF, DWD, Feldlysimeter
		Sickerwasserrate, Grundwasserneubildungsrate (z.B. mm)	Intensiv-BDF, ICP Level II, Feldlysimeter, DWD
		Grundwasserflurabstand (z.B. in m u. GOK)	z.T. Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level II
Abbau und Anreicherung von organischer Substanz und Nährstoffen	hoch	Gehalte im Boden: C _{org} , C _{ges} , N, P, S (z.B. in mg/kg)	LWF, Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level I/BZE Wald, ICP Level II, z.T. BZE-L
		Mobile Fraktionen im Boden: C _{org} , C _{ges} , N, P, S (z.B. in mg/kg)	Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level I/BZE Wald
		Stoffgehalte im Sickerwasser: TOC, DOC, N, P, S (z.B. in mg/l)	Intensiv-BDF, ICP Level II, Feldlysimeter
Spurengashaushalt/-emissionen	hoch	Freisetzung und Verbrauch von CO ₂ bzw. N ₂ O und CH ₄ ; Parameter des Wärme- und Wasserhaushalts s.o.	Keine
		Fraktionierung von C _{org} (labile, d.h. leicht umsetzbare organische Bodensubstanzen)	Keine
Bodenmikrobielle Veränderungen	nicht bekannt	Mikrobielle Biomasse (C _{mic}) (z.B. µg C/g) inklusive abgeleiteter Kennwerte (qCO ₂ , C _{mic} /C _{org} etc.)	Basis-BDF, Intensiv-BDF, LWF
		Bodenenzymaktivitäten aus den C-, N-, P- und S-Kreisläufen (jeweils ein Vertreter)	Basis-BDF, Intensiv-BDF
		Struktur von mikrobiellen Lebensgemeinschaften (z.B. Phospholipidfettsäuren / Phospholipid Fatty Acid (PLFA))	keine

Im Boden ablaufender Prozess	Ausmaß von potenziellen Klimaänderungen*	Parameter zur direkten Messung klimabedingter Änderungen des Bodenzustands	In welchen Programmen wird der Parameter untersucht?*
Veränderungen der Bodenfauna	nicht bekannt	Regenwürmer und mindestens eine Indikatorgruppe der Mesofauna, z.B. Enchyträen oder Collembolen (Artenspektrum, Abundanz, Dominanz und Frequenz der Arten, bei Regenwürmern auch Biomasse)	Basis-BDF, Intensiv-BDF, in Einzelfällen ICP Level I/BZE Wald u. LWF
Abbau und Anreicherung von Schwermetallen und organischen Schadstoffen	nicht bekannt	Gehalte im Boden: Schwermetalle, org. Schadstoffe (z.B. mg/kg)	UPB, Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level I/BZE Wald, ICP Level II, z.T. LWF
		Mobile Fraktionen im Boden: Schwermetalle, org. Schadstoffe (z.B. mg/kg)	UPB, Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level I/BZE Wald, ICP Level II
		Gehalte im Sickerwasser: Schwermetalle, org. Schadstoffe, Nitrat (z.B. µg/l)	Intensiv-BDF, ICP Level II, selten LWF
Bodenverdichtung	nicht bekannt	Trockenrohdichte (z.B. in g/cm ³), kf-Wert*** (z.B. in cm/d)	Basis-BDF, Intensiv-BDF, BZE, ICP Level I/BZE Wald, ICP Level II (meist einmalige Erhebung)

* Regionale Unterschiede sind möglich.

** BDF = Boden-Dauerbeobachtungsflächen, BZE = Bodenzustandserhebung, BZE-L = Bodenzustandserhebung Landwirtschaft, ICP Level I und II = ICP Forest, LWF = Landwirtschaftliche Feldversuche, UPB = Umweltprobenbank, DWD = Agrarmeteorologische Daten des Deutschen Wetterdienstes

*** gemessen oder aus bodenphysikalischen Eigenschaften abgeleitet

Fazit:

Parameter zur Messung klimabedingter Änderungen des Bodenzustands werden im Hinblick auf den Wärme- und Wasserhaushalt, Stoffhaushalt, die Bodenmikrobiologie und Bodenfauna und Bodenverdichtung in Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung und / oder weiteren bundesweiten Messaktivitäten untersucht, wobei jedoch nicht jeweils alle relevanten Messgrößen zur Verfügung stehen. Parameter zur Freisetzung von Spurengasen und zur direktem Messung von Bodenabträgen durch Erosion werden derzeit nur vereinzelt bzw. nicht im Rahmen der betrachteten Programme gemessen.

Um Wirkungen der erwarteten Klimaänderungen auf die Böden prognostizieren zu können, sind vertiefte Untersuchungen der zugrunde liegenden Prozesse unbedingt erforderlich. Für derartige Prozessbetrachtungen können Daten aus bodenbezogenen Messprogrammen eingesetzt werden. Programme, in denen Stoffflüsse gemessen

werden (Intensiv-BDF, ICP Level II, Feldlysimeter), bieten Möglichkeiten zur Berechnung von standortbezogenen Stoffbilanzen und lassen Rückschlüsse auf An- oder Abreicherungen von Stoffen im Boden zu. Prozessorientierte Studien zum Wasserhaushalt werden insbesondere anhand der Intensiv-BDF und ICP Level II-Flächen, aber auch vertieft mittels Feldlysimetern durchgeführt.

2.3 Anforderungen an Datenerhebung und effiziente Datennutzung

Allgemeine Mindestanforderungen

Zum Einsatz von Bodendaten aus Monitoring- und Erhebungsprogrammen für Fragestellungen des Klimawandels und Klimafolgen bestehen zunächst allgemeine Minimalanforderungen hinsichtlich:

a) Messstandorte

- Flächenrepräsentanz der Standorte bzgl. der räumlichen Verteilung der Bodenregionen und –landschaften, Landnutzungstypen und Bodenbedeckung; bzgl. Wasserhaushalt und Bodenerosion durch Wasser auch hinsichtlich hydrologischer Einheiten
- Bei rasterbezogenen Programmen eine hinreichende Messnetzdicke für die fragestellungsspezifisch angestrebte Maßstabsebene und Methoden zur Regionalisierung
- Lage von Standorten in allen relevanten Boden- und Klimaregionen unter ausgewählten Bewirtschaftungssystemen
- Räumliche Auflösung des Messnetzes in Anpassung an die Heterogenität der repräsentierten Böden / Mindestanzahl von Standorten
- Repräsentanz für Risikogebiete, die besonders von Klimaänderungen bzw. von deren Wirkungen auf die Böden betroffen sind

b) Untersuchungskonzept

- Zeitliche Auflösung (Messperiodizität) in Anpassung an die zeitliche Dynamik der jeweiligen Messgröße unter Berücksichtigung von methodischen Effekten, die nichts mit der zeitlichen Entwicklung der Messgrößen zu tun haben
- Einsatz genormter Verfahren nach aktuellem Stand der Technik³ sowie Gleichwertigkeitsnachweise beim Einsatz anderer Verfahren für Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik für Vergleichbarkeit und langfristige Messbeständigkeit
- Kontinuität von Parameterumfang und gleichwertigen Untersuchungsverfahren, um einen Mindeststichprobenumfang bei Zeitreihen zu erreichen
- Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen auf Tiefenstufen von Böden und pedogenetische Bodenhorizonte
- Möglichkeit zur Untersuchung von Rückstellproben bei langfristigen Programmen und sachgerechte Probenlagerung (z.B. tiefgefrorene Proben)

c) Untersuchungsumfang (Parameterspektrum) mit Bezug zu Fragestellungen der Klimafolgenforschung und -anpassung

- Untersuchung von Parametern, die potenziell von veränderten Klimaänderungen beeinflusst werden (klimasensitive Parameter)
- Untersuchung von Parametern, die sich einer konkreten Fragestellung zu Klimafolgen und Anpassung zuordnen lassen (z.B. N₂O-Freisetzung zur Ermittlung des Beitrags der Böden zu Emissionen von Stickstoff in die Atmosphäre)
- Untersuchung von Parametern, die als Indikatoren für die Wirkung auf zu beurteilenden Bodenfunktionen hinreichend aussagekräftig sind (z.B. Humusabbau, Nährstoffretention)

³ Handbuch Bodenuntersuchung, VDLUFA-Methodenbuch, Handbuch Forstliche Analytik, LABO Bericht „Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“

d) Dokumentation, Datenhaltung und Datenverfügbarkeit

- Präzise Angaben zur räumlichen Lage von Messstandorten
- Einheitliche und aussagekräftige Datendokumentation (Metadaten) inkl. räumlicher Abdeckung, Parameter und Methoden, Anwendungsbereichen und Organisation
- Einheitliche und vollständige Methoden-Dokumentation von der Probenahme bis zur Analytik (z.B. Methoden-Code) sowie zu Messunsicherheit und analytischer Qualitätssicherung
- Dokumentiertes und übertragbares Datenformat
- Datenverfügbarkeit oder Anfragemöglichkeit für Einzelnutzer und Forschergruppen an zentraler Stelle
- Einheitlich geregelte Nutzungsbedingungen
- Kontinuierliche Aktualisierung und Information

Themenspezifische Anforderungen

Welche Mindestanforderungen an einen Parametersatz für Anwendungen in der Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung für einzelne Bodenprozesse gelten, ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Themenspezifische Mindestanforderungen für Bodenmonitoringaktivitäten zur Anwendung in der Klimafolgen- und -anpassungsforschung

Thema	Mindestparameterumfang	Methodische Anforderungen (z.B. Probenahme, Analytik)
Standortcharakterisierung als Basis für alle Themen	- Geographische Lage - Klima - bodenkundliche Ansprache (Bodenprofilbeschreibung, Bodentyp, Bodenform) - Humusmorphologische Ansprache (Humusprofilbeschreibung, Humusform) - bodenphysikalische Basisparameter: Korngröße, Gefüge, effektive Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung, gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (kf) - bodenchemische Basisparameter: pH-Wert, C_{org} - Grundwasserflurabstand - Bodentemperatur - Temperatur der bodennahen Luftschichten - Relief - Landnutzung	- Wiederholungen in mehrjährigem Abstand für bodenphysikalische Parameter und Humusform. Vorschlag: alle 10 Jahre und nach besonderen Ereignissen wie z.B. Grünlandumbruch - mindestens monatliche Messung des Grundwasserflurabstands für grundwasserbeeinflusste Standorte mit Grundwasserflurabstand < 1 m - Dokumentation des Grundwassermanagements für drainierte Acker- und Grünlandstandorte
Landnutzung und Bewirtschaftung	- Aktuelle und historische Landnutzungs- und Bewirtschaftungsgeschichte: - Fruchtfolge - Ertragsniveau und Entzüge - Bedeckungsgrad (zeitlich / räumlich) - Düngungsregime und -intensität - Stoffbilanzen	fortlaufende Dokumentation der Nutzungs- und Bewirtschaftungsgeschichte inkl. Grünland, Forst und Sonderstandorte (Schlagkarteien, Aufnahmeblätter)
Nichtstofflicher Bodenzustand	<u>Erosion:</u> - physikalische Basisparameter - Ermittlung der natürlichen Erosionsdisposition durch Wasser und/oder Wind - Kartierung aktueller Erosionsformen (Wind und/oder Wasser)	- Wiederholungen in mehrjährigem Abstand - einmalig bei Einrichtung der Fläche - ereignisabhängig
	<u>Verdichtung</u> physikalische Basisparameter	Wiederholungen in mehrjährigem Abstand
	Ergänzend zur Erhebung der Einflussgrößen für Erosion und Verdichtung in bestehenden Zustandserhebungs- und Monitoringprogrammen ist eine direkte Überwachung des Erosionsgeschehens in der Landschaft bzw. im Einzugsgebiet erforderlich, wobei ein Bezug zu bestehenden Messstandorten hergestellt werden sollte.	
Bodenwasserhaushalt	- Bodenwassergehalt - Wasserspannung - Redoxpotenzial (in hydromorph ge-	- horizontbezogene Messung - langfristige und zeitlich hochauflösende Messung an bestehenden Standorten

Thema	Mindestparameterumfang	Methodische Anforderungen (z.B. Probenahme, Analytik)
	prägen Böden)	ten (z.B. Intensiv BDF) tägliche Messung an ausgewählten Standorten (wünschenswert sind darüber hinaus Mehrfachmessungen am Tag, wobei die Zeitabschnitte so gewählt werden sollten, dass Tagesmittel sinnvoll zu berechnen sind)
Stoffhaushalt, stoffliche Bodenbelastung	- Organische Bodensubstanz / Gelöste organische Substanz - Fraktionierung von C_{org} - Gehalte im Boden: Schwermetalle, organische Schadstoffe - mobile Fraktionen im Boden: Schwermetalle, org. Schadstoffe - Gehalte im Sickerwasser: Schwermetalle, organische Schadstoffe, Nitrat, pH-Wert	Fraktionierung der organischen Substanz in Messfrequenzen < 5 Jahre
Bodenmikrobiologie	- Mikrobielle Biomasse (C_{mic}) inklusive abgeleiteter Kennwerte (qCO_2, C_{mic}/C_{org} etc.) - Bodenenzymaktivitäten aus den C-, N-, P- und S-Kreisläufen (zumindest ein Vertreter) - Bodenwassergehalt - Organische Bodensubstanz / Gelöste organische Substanz (bioverfügbare) Nährstoff- Schadstoffkonzentrationen	Beprobungs- und Messintervalle in einer Auflösung von kürzer als 1 Jahr, möglichst monatliche Auflösung
Bodenzoologie	- für mindestens eine Indikatorgruppe der Makrofauna (i.d.R. Regenwürmer) und der Mesofauna (z.B. Enchytraeiden, Collembolen): - Artenspektrum - Abundanz - Dominanz - Frequenz - Biomasse (nur Regenwürmer) - vertikale Verteilung der untersuchten Mesofaunagruppe im Oberboden (Humusaktivitätsprofil)	- obligatorische Erhebung auf Artebene - Zeitabstände für Wiederholungsuntersuchungen der Regenwürmer und Enchytraeiden ≤ 10 Jahre - Zeitreihen stehen bei kürzeren Untersuchungsintervallen eher zur Verfügung; qualitative Veränderungen benötigen andererseits Zeit, d.h. zu kurze Intervalle (1-2 Jahre) sind ebenfalls nicht sinnvoll.
Klimarelevante Gase	- Freisetzung bzw. Bindung von CO_2, N_2O und CH_4 - Bodentemperatur, Bodenwassergehalt, N-Eintrag - Fraktionierung von C_{org} (insb. der leicht abbaubaren Fraktion) - Nitrat- und Ammonium-Gehalt im Boden - Mikrobielle Aktivität	- direkte und kontinuierliche Messung von Freisetzung und Bindung (stündlich) an ausgewählten Standorten, ggf. in Kombination mit Forschungsansätzen - Fraktionierung der organischen Substanz in zeitlich hoch aufgelösten Messfrequenzen (Tage)

Spezielle Anforderungen der Klimamodellierung, Klimafolgen- und -anpassungsforschung

Von Seiten der Klimamodellierung sowie der Klimafolgen- und -anpassungsforschung bestehen spezielle Anforderungen⁴:

- Daten zu Bodeneigenschaften sollen mit absoluter Messgenauigkeit und definierten Messbedingungen vorliegen.
- Neben den Daten ist vor allem die Beschreibung von Prozessen und Interaktionen (System Boden – Vegetation – Atmosphäre) zu verbessern, die in Klimamodelle und Modelle für die Klimafolgenforschung eingehen.
- Defizite bei der Datengewinnung für die Parametrisierung von Bodenkenngrößen für Klimamodelle sind zu beheben (z.B. Art und Mächtigkeit von geologischen Schichten).
- Daten zu den physikalischen Eigenschaften der Böden sollten besser verfügbar gemacht werden (z.B. Trockenrohdichte, Torfarten).
- Flächendeckende und einheitliche Informationen zur Verbreitung von Bodenarten über Ländergrenzen hinweg sollten auch für mittlere Maßstäbe verfügbar sein (z.B. 1 : 25.000 bis 1 : 50.000).
- Informationen über chemische Eigenschaften der Böden sollten aktuell und in Abhängigkeit der Landnutzungsentwicklung zur Verfügung stehen.
- Änderungen des Profilaufbaus ackerbaulich genutzter Böden sollten in Bodenkarten berücksichtigt werden (z.B. Bearbeitungstiefe).
- Die Aussage über die Güte von Pedotransferfunktionen kann verbessert werden, wenn die Datensätze, die für Bodeneigenschaften je Bodenart benötigt werden, gesammelt und mit statistischen Verfahren ausgewertet werden.
- Die besonders bedeutsamen Parameter, die den Wasserhaushalt steuern sollten aus Karten ableitbar sein (z.B. Grundwassernähe; Defizite bestehen bei Stauwassereinfluss und Zwischenabfluss).

⁴ Die Ausführungen wurden mit freundlicher Unterstützung von Vertretern der BTU Cottbus, des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg, des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) Schleswig-Holstein, des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt und des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) in Braunschweig erarbeitet (Details im ausführlichen Abschlussbericht) .

- Aufgrund der notwendigen Übertragung von punkthaften Bodendaten auf größere Flächen (Upscaling) müssen Bodenparameter für Klimamodelle für die Rasterauflösung nutzbar sein. Dazu ist entweder eine höhere subskalige Auflösung notwendig, z.B. 500 x 500 m, oder aber geeignete Informationen bezüglich der subskaligen Variabilität.
- Standortbezogene Parametermessungen sollten auf andere Regionen übertragbar sein, die die gleiche Bodenart oder die gleiche Leitbodenform haben. Zur Regionalisierung sind somit standardisierte Werte notwendig.
- Für die Nutzbarkeit von Bodendaten in der Klimamodellevaluierung ist ein einheitliches Format unabdingbar.

Fazit:

Um das Anwendungspotenzial der Bodendaten in der Klimamodellierung, Klimafolgen- und -anpassungsforschung zu verbessern und weiter auszubauen, sollten die dargestellten Defizite zwischen den genannten datenerhebenden Behörden und Institutionen sowie den Datennutzern erörtert werden. Ziel muss es sein, nach gemeinsamen Lösungswegen zu suchen.

2.4 Eignung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung

2.4.1 Anwendungsbereiche von Bodendaten

Im Rahmen der dauerhaft angelegten bodenbezogenen Messprogramme wird eine Vielzahl wertvoller Daten für Fragen zu Klimafolgen und Klimaanpassung erhoben. Es hängt von der Fragestellung und den sich daraus ergebenden Anforderungen (vgl. Kap. 2.3) ab, wofür sich die vorliegenden Daten eignen.

Bodenschutz

Drei Anwendungsbereiche zur Beurteilung der Wirkungen von Klimaänderungen auf Böden und die Bodenfunktionen lassen sich unterscheiden:

1. Langfristige Überwachung von Änderungen des Bodenzustands

Hierfür geeignet sind Daten aus langfristig angelegten Monitoring- bzw. Dauerbeobachtungsprogrammen an gleichbleibenden repräsentativen Standorten (ICP Level II, BDF, LWF, Umweltprobenbank, DWD) sowie mehrmalig durchgeführte Bodenzustandserhebungen (Wiederholungsinventuren) mit rasterbezogenem Messnetz (BZE Wald, BZE Landwirtschaft) jeweils mit festgelegter Methodik.

2. Prozessstudien und vertiefende Messungen an repräsentativen Standorten

Hierfür geeignet sind Daten aus Programmen mit hochauflösenden, prozessorientierten Messungen an gleichbleibenden repräsentativen Standorten (Intensiv-BDF, ICP Level II, Feldlysimeter, Forschungsprojekte wie z.B. TERENO).

3. Modellszenarien zu Veränderungen des Bodenzustands

Hierfür geeignet sind die in Bund und Ländern vorliegenden regionalisierten, d.h. flächenhaften Boden-, Relief- und/oder Landnutzungsdaten, die den Ist-Zustand des Bodens für unterschiedliche Maßstabsebenen beschreiben (z.B. bodenkundliche Karten, forstliche Standortkarten, Bodenschätzung, Digitale Geländemodelle, Landnutzungsdaten). Hier wird neben den bundesweit vorliegenden Übersichtskarten wie z.B. BÜK 1.000 auch auf mittel- und großmaßstäbige Kartengrundlagen der Bundesländer verwiesen. Unter Anwendung von Regionalisierungsmethoden sind Daten aus Monitoring- und Erhebungsprogrammen geeignet, um bislang fehlende flächenhafte Informationen zu ermitteln.

Der Einsatz von Modellen zur Untersuchung von Veränderungen des Bodenzustands ist dann möglich, wenn die Ursache-Wirkungsbeziehungen von klimasensitiven Bodenprozessen bekannt ist, bzw. wenn bekannt ist, wie diese Prozesse durch Änderungen anderer Bodeneigenschaften gesteuert werden. Validierte Modelle und Verknüpfungsregeln⁵ liegen für Bodenerosion, Stoff- und Wasserhaushalt, Ertragspotenzial und Versauerungsgefährdung vor. Prozessorientierte Messprogramme wie ICP Forest Level II, Intensiv-BDF und Dauerfeldversuche können hier einen Beitrag leisten, um Aussagen zur künftigen Entwicklung von Böden modellgestützt abzuleiten.

Klimasystemforschung, Klimafolgen und Anpassung

Eine Mehrfachnutzung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für verschiedene Zwecke erhöht die volkswirtschaftlich bedeutsame Wertschöpfung der Daten. Neben dem im BOKLIM-Vorhaben betrachteten Schwerpunkt der Ermittlung von Veränderungen des Bodenzustands unter dem Einfluss des Klimawandels werden Bodendaten für folgende weitere Anwendungen benötigt:

Positionsbestimmung und **Erfolgskontrolle** der Maßnahmen zur Klimaanpassung

Im Rahmen der Klimaanpassung kommt dem Boden als integrierendes Handlungsfeld weiterhin eine besondere Bedeutung für die Positionsbestimmung und Erfolgskontrolle der Maßnahmen zur Klimaanpassung zu. Für die erfolgreiche Unterstützung der Arbeiten am Aktionsplan Anpassung sind klare Vorstellungen über erstens Schlüsselprozesse und klimasensitive Bodenparameter und zweitens über Indikatoren für die Erfolgskontrolle von Maßnahmen notwendig. Ein Indikatorenkonzept für die Deutsche Anpassungsstrategie wird im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens (2008-2010) erstellt. Die Ergebnisse des BOKLIM-Vorhabens können hier Hinweise liefern, inwiefern Parameter für die Überwachung von Wirkungen des Klimawandels auf die Böden geeignet und inwieweit Messdaten für in Frage kommende Indikatoren aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung vorhanden sind.

⁵ siehe z.B. Verknüpfungsregeln der Methodenbank des FISBo BGR:
www.bgr.bund.de/cln_101/nn_334064/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/methodenbank.html

Auf Bund-/Länderebene wird derzeit unter Koordination des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) daran gearbeitet, geeignete Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel für die Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie zusammenzustellen. Diese gehen in den für 2011 vorgesehenen Aktionsplan Anpassung ein. Vor diesem Hintergrund sollte in einem ergänzenden Schritt geprüft werden, inwieweit sich die vorhandenen Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung für eine Erfolgskontrolle von bodenbezogenen Anpassungsmaßnahmen eignen.

Nutzen für Planungsaspekte und umweltpolitisch aktuelle Themen

Die Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung können weiterhin wertvolle Erkenntnisse für folgende Planungsaspekte liefern und von den jeweils beteiligten Ressorts angewendet werden:

- Flächennutzung: Klimabedingte Änderungen der Ertragsfunktion, Speicherkapazität von Böden für Treibhausgase, Kühlwirkung von Böden
→ Ressorts Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Energie, Raumplanung
- Trinkwasserversorgung: klimabedingte Änderungen des Bodenwasserhaushalts
→ Ressort Umwelt / Wasserwirtschaft
- Hochwasserschutz: klimabedingte Änderungen des Wasserrückhaltevermögens von Böden → Ressort Umwelt / Wasserwirtschaft
- Beregnung / Wasserbedarf und Wassernutzung in der Landschaft: klimabedingte Änderungen bzw. Etablierung von ressourcenschonenden Beregnungssystemen
→ Ressorts Wasserwirtschaft, Landwirtschaft
- Funktionalität von Landschaften / Landschaftsplanung (Bodenfunktionen): klimabedingte Änderungen der nachhaltigen Nutzbarkeit von und der Risiken in Landschaften
→ Ressorts Umwelt, Landwirtschaft / Forstwirtschaft

- Stoffflüsse/Stoffumsatz/Schadstoffbelastung von Böden: klimabedingte Änderungen von Nähr- und Schadstoffen und damit verbundene Risiken für die Bodennutzung sowie für Grundwasser und Oberflächengewässer
→ Ressorts Umwelt / Bodenschutz / Gewässerschutz, Landwirtschaft / Forstwirtschaft

Fazit:

Böden sind dynamische Naturkörper. Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung ermöglichen belastbare Aussagen zu langfristigen Prozessen im Boden nicht nur für den allgemeinen Bodenschutz, sondern auch unter dem Blickwinkel des Klimawandels. Die Ergebnisse aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung stellen eine maßgebliche Entscheidungsgrundlage dar, wenn es um die Ableitung von Maßnahmen zur Klimaanpassung unter dem Blickwinkel des Bodenschutzes geht, denn sie liefern Eingangsdaten und Erkenntnisse für die Klimafolgenabschätzung. Darüber hinaus sind die Bodendaten eine wichtige Eingangsgröße bei der von vielen Anwendern geforderten höheren regionalen Auflösung der Klimamodelle.

Eine Mehrfachnutzung der Bodendaten für verschiedene Zwecke trägt darüber hinaus zu einer deutlichen Wertsteigerung der Daten bei. Neben dem im BOKLIM-Vorhaben betrachteten Schwerpunkt der Ermittlung von Veränderungen des Bodenzustands unter dem Einfluss des Klimawandels können die Daten der Bodenzustandserhebung und des Bodenmonitoring weiterhin einen wichtigen fachlichen Beitrag für Planungsfragen unterschiedlicher Ressorts und Fachbereiche (Umwelt, Land- / Forstwirtschaft, Bodenschutz, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz, Energie, Raumplanung) leisten. Ferner sind sie wertvoll als fachliche Grundlagen für die Bearbeitung aktueller umweltpolitischer Themen wie Klimaanpassung, Reduzierung des Flächenverbrauchs, Nachhaltigkeitsstrategie und Biodiversitätsstrategie. Dies sind Themenfelder, die ausführlich in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG 2008) beschrieben sind.

Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, dass Bund und Länder die notwendigen Anstrengungen unternehmen, die Programme des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung zu erhalten, entsprechend der Nutzerbedürfnisse anzupassen, bestehende Defizite bei der Datenerhebung zu beseitigen und die Programme unterei-

inander stärker zu vernetzen. Dabei sollten auch die für die landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche verantwortlichen Stellen einbezogen werden, um diese besonders langfristig untersuchten und insbesondere für Fragestellungen der Humusversorgung und Ertragsfähigkeit gut geeigneten Standorte zu nutzen und zu erhalten.

2.4.2 Programmspezifische Dateneignung

Die Eignung der Messdaten der hier im Fokus stehenden forstlichen Monitoring- und Zustandserhebungsprogramme ICP Forest Level I / BZE Wald, ICP Forest Level II, der Boden-Dauerbeobachtung und der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche wird im Folgenden zusammenfassend erörtert.

Hierbei konnte eine aktuelle Arbeit der BOVA-Redaktionsgruppe „BDF/Humus/Klima“ (2010) zur länderübergreifenden Bearbeitung der Thematik „Veränderung der Humusgehalte / Klimawandel im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung“ einfließen, die eine vergleichende Darstellung verschiedener Messprogramme beinhaltet.

ICP Forest Level I / BZE Wald, ICP Forest Level II

Die Vorteile der forstlichen Programme liegen

- 1) in der hohen Standortzahl,
- 2) in der Vergleichbarkeit von föderal erhobenen Daten durch einheitliche Methoden zur Geländeaufnahme, Probenvorbehandlung, Analyse und Dokumentation und damit guten Eignung für stratifizierte (geschichtete) Auswertungen zur Identifizierung von Einflussfaktoren für Bodenveränderungen,
- 3) im effizienten Datenaustausch der beteiligten Institutionen untereinander aufgrund des gleichen Datenmanagements und einer Bundesdatenbank,
- 4) in der breiten Integration der Forschung durch Kopplung an weitere Inventuren unterschiedlicher Maßstabsebenen sowie
- 5) in der umfassenden Datenerhebung zum Messstandort in der BZE Wald.

Nachteile bestehen darin, dass

- 1) die Ergebnisse auf forstlich genutzte Böden beschränkt sind,
- 2) die künftige Fortführung nicht mit Sicherheit gegeben ist,
- 3) die Bewirtschaftungsdaten diskontinuierlich (nur zum Zeitpunkt der Inventur) erfasst werden und
- 4) derzeit noch Ergebnisse der BZE zum Waldwachstum fehlen.

Fazit:

Die Daten aus ICP Forest Level I / BZE Wald sind eine rasterbezogene Zufallsstichprobe. Sie sind aufgrund der hohen Anzahl von Messstandorten dazu geeignet, den aktuellen Zustand der Böden einschließlich der Faktoren Standort, Nutzung, Klima für Nährstoffgehalte und diffuse Schadstoffgehalte - in der BZE II auch organische Schadstoffe - repräsentativ abzubilden. Weiterhin können statistische Aussagen über Wechselbeziehungen zwischen Standort, Witterung/Klima, Bewirtschaftung und Belastungen abgeleitet werden.

Die Daten aus ICP Forest Level II sind aufgrund der Standorttreue bei dauerhaftem Betrieb dazu geeignet, langfristige Veränderungen der Böden und Aussagen zur künftigen Entwicklung der Böden für Bodenwasserhaushalt und Nährstoffein-/ austräge und -gehalte im Boden abzuleiten. Sie eignen sich aufgrund der zeitlich fortlaufenden Messungen besonders für eine vertiefende Untersuchung dynamischer Bodenprozesse (z.B. Ermittlung von Grundlagen für die Bodenwasserhaushaltmodellierung) sowie zur Weiterentwicklung und Validierung von Critical Load Ansätzen.

BZE Landwirtschaft

Die Inventur landwirtschaftlicher Böden hinsichtlich des Kohlenstoffstatus im Rahmen der BZE Landwirtschaft soll nach dem gleichen Messnetzkonzept wie die BZE Wald (rasterbasierte Stichprobe) und mit einheitlichen Methoden für Untersuchung und Datenerfassung durchgeführt werden. Somit treffen die diesbezüglichen Aussagen zur Dateneignung der ICP Forest Level I / BZE Wald auch auf die BZE Landwirtschaft zu.

Nachteile bestehen darin,

- 1) dass sich der Untersuchungsumfang auf Fragestellungen zum Kohlenstoffstatus beschränkt,
- 2) dass flächendeckende Messergebnisse erst in mehr als 5 Jahren vorliegen werden und Zeitreihenauswertungen erst nach Durchführung der vorgesehenen Wiederholungsbeprobungen möglich werden,
- 3) dass keine Kopplung mit anderen Messprogrammen besteht.

Fazit:

Die Daten aus der rasterbezogenen Zufallsstichprobe der BZE Landwirtschaft werden aufgrund der hohen Anzahl von Messstandorten dazu geeignet sein, den aktuellen Zustand der Böden für Kohlenstoffgehalte einschließlich der Faktoren Standort, Nutzung und Klima repräsentativ abzubilden. Eine Vernetzung der BZE Landwirtschaft mit anderen Messprogrammen trägt nicht nur zur Validierung der Daten, sondern auch zur Steigerung der Effizienz bei der Datenerhebung und -nutzung bei.

Boden-Dauerbeobachtung

Die Vorteile der Boden-Dauerbeobachtung liegen

- 1) in der hohen Anzahl von Standorten in den meisten Bundesländern,
- 2) in der langfristig gesicherten Fortsetzung durch die gesetzliche Verankerung in Bodenschutzgesetzen der Länder,
- 3) in der Ausrichtung auf den vorsorgenden Schutz der Bodenfunktionen,
- 4) in der weitgehend systematischen Messflächenauswahl nach Kriterien der Standorts-, Nutzungs- und Belastungsrepräsentanz,
- 5) in der Untersuchung aller drei Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald mit einem einheitlichen Untersuchungskonzept je Bundesland und einem bundesweit empfohlenen Mindestparameterumfang,
- 6) in der zunehmenden Integration der BDF in ein umfassenderes Umweltmonitoring (Boden, Wasser, Luft, Vegetation), wobei neu einzurichtende Monitoringprogramme (z.B. Monitoring gentechnisch veränderter Organismen, Kohlenstoffmonitoring) die Beobachtungsflächen als Basis nutzen,

- 7) in der umfassenden Datenerhebung zum Messstandort, aller (Bodenschutz-) relevanten Bodeneigenschaften und Einflussfaktoren für Bodenveränderungen wie Witterung/Klima, Bewirtschaftung und Belastungen sowie der (einheitlich angestrebten) intensiven und lückenlosen Dokumentation der Bewirtschaftung,
- 8) im einheitlich empfohlenen und relativ engen Wiederholungszyklus und der damit gesicherten systematischen Fortsetzung zur Generierung von Zeitreihen (z.B. klimabedingt ggf. veränderte bodenbiologische Parameter),
- 9) in der praxisnahen Bewirtschaftung der Flächen durch die jeweiligen Besitzer unter Einbeziehung der realen politisch und sozioökonomisch bedingten Veränderungen,
- 10) in den Auswertungsmöglichkeiten zur kleinräumigen Variabilität aufgrund von getrennt beprobten Teilflächen oder Mehrfachbeprobung.

Nachteile der Boden-Dauerbeobachtung liegen

- 1) im weiterhin bestehenden Bedarf für eine länderübergreifende Harmonisierung von Konzept, Methoden und Daten- und Methodendokumentation mit konkreten Auswertungszielen und -methoden sowie
- 2) im Fehlen von verbindlichen, konkreten Vereinbarungen zu Methoden, Qualitätssicherung und Datenaustausch und fortlaufenden länderübergreifenden Abstimmungsprozessen. Hier liefern die derzeit laufenden Arbeiten des LABO-BOVA zur prioritären Frage von Humus und Klimawandel wichtige Erkenntnisse, die künftig für die Fragestellung der Stoffgehalte der Böden und deren zeitliche Veränderung fortgesetzt werden sollten.

Fazit:

Die Basis-Boden-Dauerbeobachtung ist innerhalb der meisten Länder je nach Standortrepräsentanz und Flächenzahl dazu geeignet, den aktuellen Zustand der Böden für Nährstoffgehalte, diffuse Schadstoffgehalte und Bodenbiologie einschließlich der Standortfaktoren Nutzung und Klima abzubilden und die Entwicklung des Bodenzustands anhand von Zeitreihen zu belegen. Die teilweise in den Ländern variierenden Konzepte zur Standortauswahl erfordern themenspezifische Repräsentanzprüfungen im Vorfeld von länderübergreifenden Auswertungen.

Die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung ist aufgrund des Langzeitcharakters und der Standorttreue dazu geeignet, langfristige Veränderungen der Böden für Schadstoff- und Nährstoffgehalte, Stoffflüsse sowie den Bodenwasserhaushalt unter veränderten Klimabedingungen abzuleiten und Prozesse anhand vertiefender Untersuchungen zu erklären. Die erhobenen Daten sind wichtig zur Kalibrierung und Validierung von Modellen der Klimasystemforschung sowie der Klimafolgenforschung und -anpassung.

Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche

Die Vorteile der Dauerfeldversuche liegen

- 1) in der Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Faktoren der Landbewirtschaftung auf Bodeneigenschaften (u. a. organische Substanz) unter kontrollierten Bedingungen und über lange Zeiträume,
- 2) in der Lieferung von Erkenntnissen zum Prozessverständnis für Modellierungen,
- 3) der intensiven und lückenlosen Dokumentation der Bewirtschaftung und
- 4) den guten Analysemöglichkeiten von Ursache-Wirkungsbeziehungen, da häufig nur einzelne Einflussfaktoren, z.B. Düngung, variiert werden.

Nachteile bestehen vor allem in Bezug auf

- 1) die geringe Anzahl von Untersuchungsstandorten und die dadurch geringe Flächenrepräsentanz der Standorte,
- 2) die häufig eingeschränkte Praxisnähe der Landbewirtschaftung, da nur eine begrenzte Anzahl von i.d.R. wissenschaftlich optimierten Varianten bzw. Faktoren untersucht werden,
- 3) die Begrenzung der Ergebnisse auf landwirtschaftliche Böden,
- 4) die nicht immer durchgeführte umfassende bodenkundliche Profilsprache,
- 5) die ungenügende Harmonisierung und damit Vergleichbarkeit der eingesetzten Methoden und
- 6) die fehlende Koordination und Standardisierung zwischen den einzelnen Versuchen.

Fazit:

Die landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche sind dazu geeignet, am jeweiligen Standort – jedoch nicht in der Fläche – den aktuellen Zustand der Böden für stoffliche Belastungen, Nährstoffe (z.B. Einträge und Gehalte) und z.T. Bodenbiologie einschließlich der Standortfaktoren Nutzung und Klima abzubilden. Sie sind aufgrund des Langzeitcharakters und der Standorttreue dazu geeignet, langfristige Veränderungen der Böden und Aussagen zur künftigen Entwicklung der Böden für Nährstoffhaushalt und Ertragsgrößen sowie für Humusgehalte unter dem Einfluss des Klimawandels abzuleiten und sind wichtig zur Kalibrierung und Validierung von Modellen.

Fazit für weitere Messaktivitäten

Die agrarmeteorologische Messdaten des Deutschen Wetterdienstes mit Bodentemperatur und Wasserhaushaltsgrößen stellen eine wichtige Ergänzung für Anwendungen der Klimasystem- und Klimafolgenforschung dar. Erkenntnisse und Messdaten der dauerhaft betriebenen Feldlysimeter sowie aus Forschungsprojekten wie z.B. TERENO, CarboEurope ergänzen die Monitoring- und Erhebungsprogrammen, indem sie experimentelle Erkenntnisse und Methoden zur Modellierung von Bodenprozessen und zur Regionalisierung der punktuell gemessenen Daten liefern. Die Daten der Umweltprobenbank sind aufgrund der geringen Standortzahl als Ergänzung für Fragestellungen zur stofflichen Bodenbelastung anzusehen. All diese Messaktivitäten ersetzen jedoch nicht das Bodenmonitoring und die Bodenzustandserhebung mit ihren spezifischen Zielen und bodenschutz- oder bewirtschaftungsbezogenen Anwendungsbereichen.

Die Bodenschätzung ist aufgrund der hohen Anzahl von Messstandorten (Musterstücke, Vergleichsstücke, Grablöcher) insbesondere dazu geeignet, Standortfaktoren wie Bodenart, Humus, Gründigkeit, Steinbesatz, Staunässe, Geländegestaltung, Geologie usw. Klima repräsentativ und in großen Maßstab (1:5.000 und größer) zu beschreiben. Die Lage der Muster- und Vergleichsstücke wurde jedoch zum Zweck der Bewertung der Böden und nicht rasterbezogen oder belastungs- oder standortorientiert ausgewählt. Es findet eine reduzierte Datenerhebung im Wesentlichen unveränderlicher Bodeneigenschaften (z. B. Bodenart) statt. Die Bodenansprache erfolgt getrennt nach Ackerland und Grünland. Die in der Bodenschätzung verwendete Nomenklatur (z. B. Einteilung und Ansprache der Bodenarten) hat historische Wurzeln und bedarf ggf.

einer Übertragung in aktuelle Systeme. Bewirtschaftungsdaten werden nicht erhoben. Der Anwendungsbereich für bodenbezogene Fragestellungen ist – gegenüber bodenkundlichen Standortkartierungen – teilweise eingeschränkt. Von Vorteil sind jedoch die Einheitlichkeit der Aufnahme, die Flächendeckung und der Bearbeitungsmaßstab (40 x 40 m-Raster).

2.4.3 Mögliche Aussagen und Nutzen von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für die Arbeiten der Bundesregierung am Aktionsplan Anpassung

Bei kontinuierlicher Fortführung und Anpassung der Programme an die in Abschnitt 2.3 genannten Anforderungen lassen sich mit den Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung darüber hinaus wichtige Fragen zu Klimawandel, Klimafolgen und Anpassung beantworten (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Fragen zu Klimafolgen und -anpassung sowie Nutzen von deren Beantwortung (nach BOVA 2008, verändert und ergänzt)

Fragen zu Klimawandel, Klimafolgen und Anpassung	Nutzen für die Arbeiten der Bundesregierung am Aktionsplan Anpassung
Inwieweit werden sich die Humusgehalte der Böden durch den Klimawandel verändern? Können die Böden langfristig als Quellen oder Senken für Kohlenstoff betrachtet werden?	▪ Vermeidung negativer Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit, Wasserhaltefähigkeit und Erosionsempfindlichkeit ▪ Aufzeigen von Grenzen und Potenzialen der CO₂-Speicherung in Böden ▪ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Bewirtschaftung zur Anpassung an den Klimawandel
Inwieweit tragen die Böden zu Emissionen von Stickoxiden, Methan und Nitrat in die Atmosphäre bzw. Oberflächengewässer und Grundwasser bei?	▪ Einschränkung der Freisetzung von N₂O und CH₄ aus Böden / Erhöhung des Beitrags der Böden als N-Senke zur Reduzierung der Klimaerwärmung ▪ Frühwarnsystem/Vermeidung von Verschlechterungen des Zustands der Gewässer
Wie verändern sich Bodentemperatur und Bodenfeuchte?	▪ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Bewirtschaftung zur Anpassung an den Klimawandel ▪ Grundlage für Klimamodellierung und Verbesserung der Aussagekraft ▪ Grundlage für die Beurteilung des Einflusses auf den Stoffhaushalt und die bodenmikrobielle Aktivität
Wie verändert sich die mikrobielle Aktivität?	▪ Vermeidung von Beeinträchtigungen der Lebensraumfunktion der Böden ▪ Erkenntnisse über Veränderungen des Stoffumsatzes (z.B. Mineralisationsleistung) ▪ Indikator für Veränderung anderer Bodeneigenschaften
Wie werden sich Bodenverluste durch Bodenerosion und Bodenfunktionsbeeinträchtigungen durch Bodenverdichtungen entwickeln?	▪ Quantifizierung und Minimierung von Bodenverlusten ▪ Vermeidung von schädlichen Bodenveränderungen ▪ Ableitung von Maßnahmen zur Klimaanpassung aus Sicht der landwirtschaftlichen Bodennutzung
Wie verändern sich die Bodenlebensgemeinschaft und die Biodiversität in Böden durch den Klimawandel?	▪ Hinweise auf Veränderungen der Bodenlebensgemeinschaft und der Biodiversität im Boden ▪ Vermeidung von Beeinträchtigungen der Lebensraumfunktion oder Veränderung der Biodiversität der Böden ▪ Vermeidung von Beeinträchtigungen der Ökosystem-Dienstleistungen der Bodenlebensgemeinschaft ▪ Entwicklung von Strategien zur Kompensation unerwünschter Veränderungen der Bodenlebensgemeinschaft hinsichtlich ihrer Diversität und/oder Leistung ▪ Berücksichtigung der Leistungen der Bodenorganismen für Anpassungsstrategie an den Klimawandel

2.4.4 Eingangsdaten für Modelle

Klimamodelle mit globalem oder regionalem Bezug berechnen Bodentemperaturen und die Bodenfeuchte in verschiedenen Bodentiefen und benötigen diese Größen für repräsentative Böden zur Modellkalibrierung und -validierung. Für landwirtschaftlich genutzte Flächen stehen auf Anfrage fortlaufende Messreihen für etwa 500 naturräumlich repräsentative Standorte beim Deutschen Wetterdienst zur Verfügung, die mit klimatologischen Messgrößen gekoppelt sind. Es handelt sich um Tages- oder in jüngerer Zeit auch um Stundenwerte. Weiterhin liegen an Einzelstandorten der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche, Intensiv-BDF, ICP Level II-Standorten und z.T. für Feldlysimeter Daten zu Bodentemperaturen und Bodenfeuchte vor. Hier ist die Repräsentanz für Nutzungen, Klimaregionen und Bodenformen zu prüfen.

Je nach Wissensstand in den bodenkundlichen, biologischen und hydrologischen Forschungsdisziplinen werden **Modelle zur Prognose von Klimawirkungen auf den Bodenzustand** eingesetzt. Der Vorteil von Modellbetrachtungen ist, dass auch flächenhafte Prognosen möglich sind. Voraussetzung ist, dass der im Boden ablaufende dynamische Prozess mit belastbaren Gleichungen beschrieben werden kann, die Modelle ausreichend validiert sind und flächenhafte Eingangsdaten zu den jeweils relevanten Bodeneigenschaften vorliegen. Dauerhaft eingerichtete, zeitlich hoch auflösende Monitoringprogramme liefern insbesondere Daten für die Modellkalibrierung und -validierung (vgl. Tab. 4). Darüber hinaus können sie grundsätzlich zur Interpretation von Modellergebnissen herangezogen werden.

Fazit:

Das agrarmeteorologische Messprogramm des DWD sowie ein Teil der Standorte von Bodenmonitoring und Langfristexperimenten liefern geeignete Bodendaten für die Kalibrierung und Validierung von Klimamodellen. Für Modellierungen von Klimafolgen eignen sich vorrangig Daten aus zeitlich hoch auflösendem Intensivmonitoring, wobei ergänzende forschungsorientierte Ansätze zur Modellentwicklung erforderlich sind. Die Dateneignung z.B. hinsichtlich der Flächenrepräsentanz und Untersuchungsverfahren muss je nach Fragestellung und eingesetztem Modell im Einzelfall geprüft werden.

Tab. 4: Parameter (-gruppen) zur Modellkalibrierung und -validierung

Modelltyp	Parameter (-gruppen) zur Modellkalibrierung und -validierung	Geeignete Bodendaten aus Monitoring und Zustandserhebung*
Klima-modelle	Bodentemperatur Bodenfeuchte Kohlenstoffgehalt	DWD; z.T. LWF, Intensiv-BDF, ICP Level II-Standorte, Feldlysimeter
	Eiswassergehalt	keine
Bodenerosionsmodelle	Modellspezifische Eingangsdaten zu Infiltrationsrate und Rauigkeit: Physikalische Basisparameter	LWF, Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level I / BZE, ICP Level II
	Flächendaten einschl. detaillierter Landnutzungsdaten	Bodenkarten, Bodenschätzung und andere Datenquellen
	Ergebnisse von C-Modellen	andere Datenquellen
Modelle für Bodenverdichtung	Modellspezifische Eingangsdaten zur Verdichtungsempfindlichkeit	LWF, Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level I / BZE, ICP Level II
	Flächendaten einschl. detaillierter Landnutzungsdaten	Bodenkarten, Bodenschätzung und andere Datenquellen
Bodenwasserhaushaltsmodelle	Bodenart, Bodentemperatur, Bodenfeuchte, Sickerwasser, Grundwasserflurabstand (kapillarer Aufstieg)	DWD, LWF, Intensiv-BDF, ICP Level II, Feldlysimeter, Level I / BZE II
	Lateraler Zufluss	keine
Modelle für den Stoffhaushalt und die stofflichen Bodenbelastung	Parameter für Stofftransport und veränderten Wasserfluss (Defizit zur Quantifizierung für bestimmte Formen des Stofftransports, z.B. preferential flow, partikelgebundener Transport)	Intensiv-BDF, ICP-Level II
	Schadstoffsorption: substratübergreifende Adsorptionsisothermen, K_{oc} -Werte (Defizit zu klimabedingten Wirkungen auf den partikelgebundenen Transport, z.B. von DOC, bzw. Ausmaß von preferentiellen Fließphänomenen)	ICP Level I / BZE Wald, Level II und Zeitreihen Basis-BDF (Verifizierung)
	Lösung/Fällung/Immobilisierung von Stoffen in Regionen mit einer zeitweise negativen Wasserbilanz: Wasserhaushalt in Kombination mit physikochemischer Gleichgewichtsmodellierung	ggf. Intensiv-BDF
	Schadstoffabbau im Boden: 1) Arrhenius-Funktion (Kinetik), Bodentemperatur; 2) Mikrobielle Aktivität	DWD, Feldlysimeter, Intensiv-BDF
	Mineralisation/Umsetzung der organischen Bodensubstanz/C- und N-Freisetzung: Bodentemperatur, Wassergehalt	ICP Level/ BZE Wald
Modelle für die Bodenmikrobiologie	Es sind noch keine validierten Modelle verfügbar.	potenziell Basis-BDF, Intensiv-BDF

Modelltyp	Parameter (-gruppen) zur Modellkalibrierung und -validierung	Geeignete Bodendaten aus Monitoring und Zustandserhebung*
Modelle für die Bodenfauna	Es sind noch keine validierten Modelle verfügbar, jedoch Modelle für die Verknüpfung von Bodeneigenschaften und Lebensgemeinschaftstypen, die eine flächenhafte Darstellung von zu erwartenden Ausprägungen der Bodenlebensgemeinschaft erlauben.	Grundlage für diese Modelle sind die Erhebungen auf BDF.
Modelle für Klimarelevante Gase	Freisetzung CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ : physikalische und chemische Bodeneigenschaften Defizite: Landnutzungsdaten, Fraktionierung von C _{org}	Level II und BDF, sensitiv nur Angaben Level II
Landnutzungsmodelle	Fruchtfolgesysteme, Düngungsintensität, Bodenbearbeitung	LWF, z.T. BDF, Interdisziplinäre Langzeituntersuchungen (z.B. TERENO, DFG-Exploratorien)

* Eignung aufgrund der Untersuchungskonzeption und Messhäufigkeit

2.4.5 Räumliche Aussagen zu Bodenzustand und klimabedingten Veränderungen

Flächendeckende räumliche Aussagen zum Bodenzustand liegen in Deutschland auf Bundesebene mit der nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Maßstab 1:1.000.000 vor (RICHTER et al. 2007) (Gründigkeit, typische Bodenart, Wasserverhältnisse, Ausgangsgestein (Substrat), vorherrschendes Relief, nutzungsspezifisches Bodeninventar der Acker-, Grünland- und Waldflächen). Im gleichen Maßstab stehen bundesweite Karten der Bodenarten, der organischen Substanz und der Sickerwasserrate aus dem Boden zur Verfügung. Weiterhin liegt für weite Teile Deutschlands mit der Bodenübersichtskarte 1:200.000 der BGR eine einheitliche bundesweite Bodenkartierung vor. Räumlich detailliertere Informationen zum Bodenzustand in Maßstäben von 1:100.000 bis 1:25.000 werden in den Bundesländern i.d.R. durch die Geologischen Dienste oder Landesämter bereitgestellt. Für lokale Anwendungen sind darüber hinaus großmaßstäbige Bodenkarten und Bodenschätzungskarten (Maßstab $\approx$ 1:5.000) sowie Kartenwerke der Forstlichen Standortskartierung vorhanden.

Von der BGR und den Staatlichen Geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland (SGD) werden Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden erarbeitet (AD-HOC-AG BODEN 2000) und fortgeschrieben. So genannte Pedotransferfunktionen erlauben die Ableitung von aufwändig messbaren Bodenparametern aus einfacher messbaren Bodenparametern (z. B. Feldkapazität aus Korngrößenzusammensetzung, Humusgehalt und Bodendichte). Es stehen zudem Methoden für eine flächenhafte Ermittlung von Erosions- und Verdichtungsgefährdungen bzw. -empfindlichkeiten zur Verfügung (vgl. z. B. HENNINGS 2003).

In zwei vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhaben wurde bundesweit den Fragen nach der Verdichtungsempfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Böden (FKZ 3707 71 202) sowie zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser (FKZ 3708 71 205 02) nachgegangen (Abschluss 2010). Im Rahmen dieser Forschungsvorhaben wurden auch flächenhafte Bewertungen in Form von bundesweiten Übersichtskarten vorgenommen.

Fazit:

Räumliche Informationen zu möglichen Wirkungen von Klimaänderungen auf die Böden liegen derzeit nur für bestimmte Bodengefährdungen vor. So können in Abhängigkeit von den eingesetzten Modellen Aussagen über die Erosionsrisiken von Einzelhängen und Einzugsgebieten bis auf Bundesebene getroffen werden. Voraussetzung dafür sind belastbare, räumlich hoch aufgelöste Klimadaten. Als Beispiel für aktuell vorliegende Karten zur Empfindlichkeit von Böden gegenüber Klimaänderungen ist die o.g. Abschätzung der Bodenerosion durch Wasser im Rahmen des UBA-F+E-Vorhabens FKZ 3708 71 205 02 zu nennen.

Es fehlen bisher bundesweite räumliche Abschätzungen möglicher Wirkungen von Klimaänderungen auf den Abbau organischer Substanz, den Bodenwasserhaushalt, die biologische Aktivität, die Zusammensetzung der Bodenlebensgemeinschaft, die Freisetzung klimarelevanter Gase und die Schadstoffmobilität. Mit Verweis auf die regional sehr unterschiedlich zu erwartenden Klimaänderungen sind derartige Einschätzungen jedoch vor allem auf regionaler Ebene (z. B. der Bundesländer) gefordert. So liegen in vielen Bundesländern bereits Berichte und flächenhafte Aussagen zu möglichen klimabedingten Veränderungen von Böden oder bodenbezogenen Prozessen vor, z.B. zu Erosion und Wasserhaushalt (z.B. Beregnungsbedarf). Beispielhaft sei auf Broschüren,

Hefte und Berichte aus Thüringen (TMLNU 2009), Niedersachsen (LBEG 2009), Sachsen (SMUL 2009), Nordrhein-Westfalen (MUNLV 2009), Brandenburg (MLUV 2008) und Sachsen-Anhalt (MLU 2009) verwiesen. Im Folgenden ist zudem eine Auswahl von Projekten aufgeführt, die derzeit in der Planung oder Durchführung sind:

- Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsentwicklung in Sachsen (LFULG 2009)
- Abschätzung der Klimafolgen auf den Wasserhaushalt der Böden Sachsens (LFULG 2009)
- Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen: Bodenschutz im Klimawandel – KLIWA – Forschungsvorhaben Baden-Württemberg (GROH 2009)
- Bodenbearbeitung und Humushaushalt von Ackerflächen im Hinblick auf den Klimawandel in Sachsen (NITSCHKE 2009)

Methoden zur Ermittlung flächenhafter Aussagen

Messdaten von rasterbasierten Messnetzen oder von für einen definierten Raum repräsentativen Standorten können zur Ermittlung flächenhafter Informationen genutzt werden, indem Regionalisierungsmethoden angewendet werden. Methodische Grundlagen für eine Regionalisierung von Bodendaten stehen mit statistischen und geostatistischen Verfahren zur Verfügung, die im stofflichen Bereich für Böden erprobt sind.

Zur Ermittlung von flächenhaften Informationen bieten sich vor allem die rasterbasierten Erhebungsprogramme der Bodenzustandserhebung (BZE) an. Mit ihrem vergleichsweise engen Messnetz werden Bodeneigenschaften untersucht, mit denen punktuell an repräsentativen Standorten gemessene Daten (z.B. zur Bodenfauna) verknüpft und so in die Fläche übertragen werden können. Auch ist eine Verknüpfung von Messergebnissen mit Bodenkarten in unterschiedlichen Maßstäben (z.B. Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:200.000) möglich.

Auf diese Weise kann der Ausgangszustand der Böden für flächenhafte Wirkungsanalysen abgebildet werden. Langfristig sind die Daten aus diesen Programmen bzw. Kar-

ten jedoch nur verwendbar, wenn die Daten in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden.

Erfüllen Messstandorte von nicht-rasterbasierten Programmen bestimmte Anforderungen an die Flächen- bzw. Landschaftsrepräsentanz (z.B. Repräsentanz für definierte Raumeinheiten aus Bodenform, Klimaregion und naturräumlicher Einheit), kommen auch deren Messergebnisse zur Ermittlung räumlicher Aussagen in Frage. Aussagen zur Repräsentanz und zur Mindestanzahl von Messstandorten lassen sich nur länderübergreifend bzw. bezogen auf naturräumliche Einheiten machen. Bundesweite und Messnetz übergreifende Repräsentanzanalysen für die ICP-Level II-Standorte und landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche stehen noch aus. Methodische Ansätze zur Prüfung von Messnetzen anhand der Kriterien Messdatenvergleichbarkeit, Landschaftsrepräsentanz von Messstandorten und geostatistische Repräsentanz von Messdaten wurden anhand der Boden-Dauerbeobachtung entwickelt (vgl. SCHRÖDER et al. 2003).

Bereits eingesetzt wurden Methoden zur Ermittlung räumlicher Aussagen aus Messdaten der Monitoring- und Erhebungssysteme für Gehalte und Vorräte von organischer Substanz und Spurenelemente im Boden.

Für die flächenhafte Modellierung der Bodenerosion unter den Bedingungen des Landnutzungswandels ist es nötig, die Veränderungen der einzelnen Eingabeparameter zu quantifizieren (Veränderung der Phänologie / Einsaat / Ernte, C_{org} -Gehalte im Boden, Bodenbedeckung, Wassergehalte etc.). Dafür ist eine enge Vernetzung der bodenbezogenen Monitoring- und Erhebungssysteme mit laufenden Klimafolgenforschungsprojekten nötig.

Die Übertragung von standortbezogenen Messergebnissen zur Bodenfauna in die Fläche kann durch Verknüpfung von bodenzoologischen Daten mit flächenhaft verfügbaren Bodeneigenschaften (Humusform, Bodenart, pH-Wert, Grundwasser) und der Nutzung erfolgen. Auf dieser Basis lassen sich Vorhersagen zum Vorkommen ökologischer Gruppen der Regenwürmer und zum Vorkommen bestimmter Typen der Bodenlebensgemeinschaft treffen. Begrenzend für den räumlichen Detaillierungsgrad wirkt die räumliche Auflösung, mit der die Daten für die Bodeneigenschaften vorliegen. Die dafür notwendigen Verknüpfungsregeln sind derzeit jedoch Expertenwissen, welches

nicht in einem bundesweit validierten und abgestimmten Regelwerk vorliegt. Auch zur Übertragung bodenmikrobieller Aussagen in die Fläche sind über die Verknüpfung von Messdaten mit flächenhaft dokumentierten Bodeneigenschaften nachvollziehbare Methoden zu entwickeln.

Keine validierten räumlichen Aussagen können bisher zur Freisetzung von Spurengasen (CO_2 , N_2O , CH_4) getroffen werden, da bislang repräsentative Messdaten, Modelle für verschiedene Nutzungstypen und erprobte Regionalisierungsmethoden fehlen.

2.4.6 Defizite der Programme des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung

Zur Anwendung von Bodendaten für Fragestellungen des Klimawandels bestehen hohe Anforderungen an Format, Dokumentation, Auflösung, Skala, Repräsentanz und Varianz (vgl. Kap. 2.3). Diese Anforderungen werden in den meisten Monitoring- und Erhebungsprogrammen nicht vollständig erfüllt. Anhand von Metadaten, d.h. der Beschreibung vorliegender Daten aus Monitoring und Erhebung, des Datenbedarfs und der Dateneignung wurden folgende Defizite abgeleitet:

1. Eingeschränkte Eignung des Untersuchungskonzepts und organisatorische Defizite

- Die eingesetzten Probenahme-, Vorbereitungs- und Analyseverfahren und die Maßnahmen zur Qualitätssicherung variieren zwischen Programmen, z.T. aber auch innerhalb eines Messprogramms im Laufe des Untersuchungsbetriebs. Probennehmer und Labore werden gewechselt und ausgegliedert. Dies schränkt die Vergleichbarkeit der Messdaten und damit ihr Anwendungspotenzial für zeitliche Auswertungen z.T. sehr deutlich ein. Häufig fehlen Informationen zur Beurteilung der Vergleichbarkeit und Möglichkeiten zur Umrechnung von Messwerten verschiedener Untersuchungsverfahren.
- Die Untersuchungshäufigkeiten der BZE und Boden-Dauerbeobachtung reichen für bestimmte Fragestellungen nicht aus (Untersuchungen organische Substanz, Lagerungsdichte und Mikrobiologie auf BDF).

- Die Übertragung von punktuellen Messergebnissen in flächenhafte Informationen (Regionalisierung) wird zum Zweck der Eingabe in globale und regionale Klimamodelle (hier Rasterformat) sowie zur Beschreibung des Ausgangszustands von Böden für modellgestützte Prognosen von Klimawirkungen (hier reale Flächen) benötigt. Regionalisierungsmethoden stehen zur Verfügung (vgl. Kap. 2.4.5). Es fehlen jedoch bislang Erfahrungen mit Daten aus den bundesweiten Monitoring- und Erhebungsprogrammen.
- Werden Erhebungen und Monitoringaktivitäten im Rahmen von Forschungsprojekten durchgeführt, ist eine langfristige Fortführung nicht gesichert. Auch wenn diese Projekte das Wissen ergänzen, werden sie wegen ihrer begrenzten Laufzeit nicht in der Lage sein, durch den Klimawandel ausgelöste, schleichende Veränderungen von Bodenzustand und Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen nachzuweisen.
- Prozessorientierte Forschungsprojekte (z.B. TERENO, CarboEurope) wurden und werden in der Regel ohne systematische Anbindung an bestehende Monitoringnetze und ohne Absprache mit den Verantwortlichen von Bund und Land angelegt; damit fehlt die Möglichkeit, Regionalisierungsansätze und damit eine Übertragbarkeit in die Fläche zu realisieren.

2. Eingeschränkt geeignete Dokumentation, Datenhaltung und Verfügbarkeit

- Mit Ausnahme der Umweltprobenbank finden die Datenhaltung und das Datenmanagement in einer Vielzahl von Stellen in Bund und Ländern und Forschungsinstituten mit unterschiedlicher Technik statt. Für die Bodenzustandserhebungen und z.T. für Basis-BDF⁶ werden Daten der Bundesländer auf Bundesebene zusammengeführt. Dies führt zu einem hohen Aufwand bei der Beschaffung von Daten und der Zusammenführung aus verschiedenen Programmen.
- Bislang werden Bodendaten nur begrenzt von Klimaforschungseinrichtungen für Modellierung von Klimaänderungen eingesetzt. Hindernis ist hier u.a. die fehlende Kenntnis über die vorhandenen Daten und deren Verfügbarkeit.

⁶ Eine zentrale Datenbank für Basis-BDF ist im Aufbau und beinhaltet derzeit z.B. noch keine bodenzoologischen Daten.

- Die Nutzungsrechte von Daten sind derzeit nicht einheitlich geregelt. Dies schränkt die Anwendung auf Seiten der Klimafolgenforschung und -anpassung ein.

3. Einschränkungen hinsichtlich der Eignung von Messstandorten

- Übergreifend für die betrachteten Messprogramme ist derzeit nicht vollständig bekannt, für welche Raumeinheiten bzw. Konstellationen von Einflussfaktoren die Messstandorte repräsentativ sind. Insbesondere die Informationen über die Bewirtschaftung liegen nur teilweise vor bzw. lassen sich nur teilweise den Bodenzustandsinformationen zuordnen.
- Innerhalb der Boden-Dauerbeobachtung und der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche ist aufgrund der variierenden Untersuchungskonzepte und unterschiedlichen Ziele davon auszugehen, dass die Repräsentanz der einzelnen Messstandorte unterschiedlich ist.

4. Eingeschränkte Kompatibilität von Daten aus unterschiedlichen Messprogrammen

- Die Bodenuntersuchungen erfolgen in den rasterbezogenen Erhebungsprogrammen der Bodenzustandserhebung (BZE Wald und Landwirtschaft) und des DWD in definierten und einheitlichen Tiefenstufen, während die Untersuchungen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen für die standorttypischen pedogenetischen Horizonte durchgeführt werden. Eine direkte Vergleichbarkeit ist meist nicht gegeben.
- Die eingesetzten Probenahme-, Vorbereitungs- und Analyseverfahren variieren zwischen den Monitoring- und Erhebungsprogrammen und schränken die Vergleichbarkeit der Messdaten und damit ihr Anwendungspotenzial für überregionale Aussagen deutlich ein. Es fehlen verbindliche Vereinbarungen zum Einsatz vergleichbarer Verfahren für BDF, LWF und Feldlysimeter.
- Die Repräsentanz von Standorten der vorhandenen Messnetze ist – je nach Ziel und Fragestellung des Messnetzes – unterschiedlich.

5. „Systembedingte“ Unsicherheiten

- Veränderungen des Bodenzustands lassen sich zum Teil nur sehr langfristig belegen. Belastbare Ergebnisse zu zeitlichen Trends in Bezug auf den Bodenzustand können z.B. erst nach ca. 30 bis 50 Jahren bei einer hinreichenden Untersu-

chungshäufigkeit vorgelegt werden. Entsprechend lange Messreihen sind bislang nur aus den landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen, aus der Boden-Dauerbeobachtung einzelner Bundesländer sowie einzelner Feldlysimeter verfügbar, d.h. die Zeiträume der Überwachung von Veränderungen des Bodenzustands sind bislang für bestimmte Fragestellungen zu kurz, um belastbare Aussagen über Veränderungen zu treffen.

- Die Aussagegenauigkeit der erhobenen Bodendaten kann auch bei homogenen Datenbeständen und einheitlichen Beprobungsmethoden mit Unsicherheiten behaftet sein, so dass bislang auch hier das Hintergrundrauschen i.d.R. nicht quantifiziert werden konnte.

Themenbezogene Defizite sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tab. 5: Defizite für die Anwendung von Bodendaten aus Monitoring und Zustandserhebungen für themenspezifische Fragen von Klimafolgen und Klimaanpassung

Thema	Defizite
Nichtstofflicher Bodenzustand	▪ Untersuchungsparameter, ausschließlich plotweise Anlage der Monitoringflächen und das häufige Fehlen von Bodenbedeckungs- und Bewirtschaftungsinformationen erlauben keine Übertragbarkeit auf die Fläche (Erosion, Verdichtung).
Bodenwasserhaushalt	▪ Die messtechnische Ausrüstung an Intensiv-BDF variiert in Abhängigkeit von der Einrichtung sowie der Fragestellung (z.B. im Rahmen von Projekten) oder auch zwischen den einzelnen Bundesländern. Eine Vergleichbarkeit ist nur zum Teil gegeben.
Stoffhaushalt, stoffliche Bodenbelastung	▪ Sensibel reagierende Parameter werden häufig nicht gemessen (z.B. Kohlenstofffraktionen, mobile Metallgehalte). ▪ Die für unterschiedliche Stoffe bedeutsamen saisonalen Einflüsse (C, N) können aufgrund zu geringer Messintervalle oft nicht erfasst werden. ▪ Die Ausgasung spielt für einige Schadstoffe (z.B. As, Hg, verschiedene organische Schadstoffe) eine wichtige Rolle. Die Ausgasung wird derzeit in keinem der bundesweiten Monitoring- und Erhebungsprogramme berücksichtigt. ▪ Die insbesondere für den Nährstoffhaushalt wichtigen Bewirtschaftungsdaten stehen häufig nicht oder nicht in geeigneter Form zur Verfügung.
Bodenmikrobiologie	▪ Derzeit ist es kaum möglich, saisonale Schwankungen und hiervon abweichende klimatische Schwankungen sicher zu detektieren, da die bodenmikrobiologischen Kennwerte an den Basis-BDF und anderen Messprogrammen höchstens 1x pro Jahr ermittelt werden. ▪ Erhebungen zur Charakterisierung der mikrobiellen Aktivität (z.B. Enzymaktivitäten) sind nur vereinzelt auf BDF oder Flächen der Dauerfeldversuche durchgeführt worden und kein fester Bestandteil der Untersuchungsprogramme. ▪ Jahreszeitliche Schwankungen (innerhalb eines Jahres und zwischen verschiedenen Jahren) erschweren die Vergleichbarkeit von Daten. ▪ Bodenenzymuntersuchungen werden derzeit nur selten durchgeführt.

Thema	Defizite
	▪ Messungen zur Erfassung der Veränderung der Struktur von mikrobiellen Lebensgemeinschaften werden derzeit in keinem Monitoringprogramm regelmäßig erfasst.
Boden-zoologie	▪ BDF dienen als Referenzflächen für die Bewertung von Veränderungen und für die Extrapolation in die Fläche. Da in einigen Bundesländern die Bodenfauna gar nicht, in anderen Ländern nur die Regenwürmer untersucht werden, hat die Referenz Lücken. ▪ Auf BDF werden meist nur Regenwürmer untersucht. Dies ist nicht ausreichend für Aussagen zu Klimawirkungen auf die Bodenbiodiversität und Dienstleistungen der Bodenlebensgemeinschaft. ▪ Fehlende Repräsentanz einzelner Nutzungen unter den BDF in einzelnen Bundesländern in Kombination mit fehlenden Untersuchungen zur Bodenfauna in anderen Bundesländern ergibt einen Mangel an Daten zur Regenwurmfauna für bestimmte Standortkonstellationen. ▪ Wahrscheinlich unzureichende Repräsentanz von Sondernutzungen und Extremstandorten (z.B. Moore, Trockenstandorte). ▪ Ob der Grundwasserflurabstand von grundwasserbeeinflussten BDF in allen Bundesländern in ausreichender zeitlicher Auflösung untersucht wird, ist unklar. Daten zu Gefügeparametern, Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung und Humusform werden im BDF-Programm standardmäßig nur einmalig aufgenommen. Für eine Verknüpfung der Veränderung bodenzoologischer Parameter mit Veränderungen dieser Parameter ist das nicht ausreichend, da auch für diese Parameter klimabedingte Veränderungen zu erwarten sind. ▪ Bodenbürtige Pflanzenkrankheiten und -schädlinge werden derzeit auf BDF nicht erfasst. Eine Erfassung über andere Monitoringprogramme ist zu prüfen, da klimabedingte Veränderungen wahrscheinlich sind. ▪ Es fehlt eine europaweit harmonisierte nutzungsübergreifende Klassifikation von Oberboden-Zuständen einschließlich Humusform. Der Oberboden ist das Medium, in dem die biologischen Prozesse größtenteils ablaufen. Gleichzeitig ist er der Teil des Bodenprofils, der vom Klimawandel prioritär betroffen ist. ▪ Die Erfassung der Bewirtschaftung auf BDF erfolgt nicht vollständig und einheitlich, insbesondere auch für Sonderstandorte (SPATZ 2001, BOVA Redaktionsgruppe „BDF/Humus/Klima“ 2010).
Klima-relevante Gase	▪ Es fehlen zeitlich hoch aufgelöste Untersuchungen, über das Jahr ablaufende Freisetzungen und Fixierungen der gasförmigen Verbindungen sowie quantitative Belegung der Quellen-Senkenfunktionen von Böden und validierte Modelle.
Land-nutzung	▪ Ergebnisse aus landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen sind nur zum Teil publiziert und damit verfügbar. Es fehlt eine systematische Etablierung der wichtigsten Bewirtschaftungssysteme in repräsentativen Boden- und Klimaregionen.

Fazit:

Defizite bestehen aufgrund einer zum Teil eingeschränkten Eignung der Messdaten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für die Beurteilung klimabedingter Veränderungen des Bodenzustands und der Unterschiedlichkeit der Untersuchungs-

konzepte einzelner Messprogramme (z.B. Parameterspektrum, Messhäufigkeit, Flächen- und Nutzungsrepräsentanz). Informationen über Bodendaten sind gegenwärtig uneinheitlich und liegen verteilt an vielen Stellen vor. Eine harmonisierte, zentrale Datenhaltung erfolgt nur teilweise. Hinzu kommt, dass Formate und Informationssysteme unterschiedlich und nicht ohne weiteres übertragbar oder gemeinsam verwendbar sind. Besondere Schwierigkeiten für eine standort- und messnetzübergreifende Datennutzung bestehen aufgrund der derzeit fehlenden Koordinierung der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche. Ein Zugang zur Gesamtheit der vorhandenen Bodendaten ist daher derzeit nicht gewährleistet. Hinzu kommen Probleme mit der Aussagegenauigkeit von Messdaten, da Veränderungen des Bodenzustands i.d.R. erst nach langen Zeiträumen sichtbar werden und Beprobungs- und Untersuchungsverfahren mit Unsicherheiten behaftet sind.

Handlungsempfehlungen zum Umgang mit den aufgeführten Datendefiziten in Kapitel 4 aufgezeigt.

2.4.7 Zusammenfassendes Fazit über die Eignung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für die Bearbeitung bodenspezifischer Themenbereiche

Im BOKLIM-Vorhaben wurde analysiert, inwieweit die Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für die Bearbeitung der folgenden klimawandelrelevanten Themenbereiche geeignet sind (weiterführend siehe ausführlicher Bericht):

- Nichtstofflicher Bodenzustand und –prozesse - Erosion und Verdichtung
- Bodenwasserhaushalt
- Bodestoffhaushalt, stoffliche Bodenbelastungen
- Bodenmikrobiologie
- Bodenzoologie
- Klimarelevante Gase

Übergreifende Einflüsse der Landnutzung wurden berücksichtigt.

Die kritische Prüfung des Datenangebots sowie der Dateneignung erfolgte aufbauend auf einer themenspezifischen Betrachtung der klimawandelbedingten Auswirkungen auf den Boden und deren Folgen. Diese Arbeiten sind die Grundlage für nachfolgende Empfehlungen für zukünftige Monitoring- und Datenerhebungsaktivitäten.

Die vorgenommene Analyse erbringt den Nachweis, dass die Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung eine Vielzahl wertvoller Informationen zur Beantwortung von Fragen der Wirkung von Klimaänderungen auf den Bodenzustand und die Bodenfunktionen liefern. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag für die langfristigen Arbeiten des Bundes und der Länder zur Klimaanpassung. Sie zeigt jedoch auch, dass die einzelnen Mess- und Erhebungsprogramme weiter angepasst und modifiziert werden müssen, um den Anforderungen im Hinblick auf Datenqualität, -belastbarkeit, -vollständigkeit (Parameterspektrum und Messhäufigkeit) sowie Flächen- und Nutzungsrepräsentanz im vollem Umfang gerecht zu werden. Tabelle 9 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die themenspezifischen Empfehlungen zur Anpassung der Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung an die Anforderungen der Klimafolgenforschung und Klimaanpassung.

Die maßgebliche Funktion der dauerhaft eingerichteten Programme besteht darin, belastbare Auskünfte über die Veränderungen des Bodenzustands zu geben. Darüber hinaus fungieren sie als Frühwarnsystem, in dem sie die Konsequenzen klimawandelbedingt veränderter Randbedingungen für Bodenprozesse und damit verbundene Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen nach § 2 BBodSchG aufzeigen.

Insbesondere das Monitoring (Boden-Dauerbeobachtung, ICP Level II) und langfristige Feldexperimente (Dauerversuche) können dazu beitragen, langfristige Veränderungen des Bodenzustands bzw. der Bodenfunktionen infolge des Klimawandels mit konkreten Daten zu dokumentieren und nachzuweisen (Beweissicherung).

Die Tabelle 6 fasst zusammen, inwieweit die Daten der Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung sowie weiterer Messaktivitäten dazu beitragen können, den Bodenzustand einmalig (bzw. ggf. periodisch wiederholt) zu erheben (Z), langfristige und durch den Klimawandel bedingte oder beeinflusste Veränderungen zu beobachten (V) oder Daten für die Kalibrierung und -validierung von Simulationsmodellen für Bodenveränderungen zur Verfügung zu stellen (M).

Parameter zur Messung klimabedingter Änderungen des Bodenzustands werden im Hinblick auf den Wärme- und Wasserhaushalt, den Stoffhaushalt, die Bodenmikrobiologie, die Bodenfauna und die Bodenverdichtung in Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung und weiteren bundesweiten Messaktivitäten untersucht, wobei jedoch nicht alle jeweils relevanten Messgrößen vollständig zur Verfügung stehen. Die Erhebung von Parametern zur Freisetzung von Spurengasen und zur direkten Messung von Bodenabträgen durch Erosion erfolgt derzeit nur vereinzelt bzw. nicht im Rahmen der betrachteten Programme. Für die Landnutzung wichtig sind die für die Bodeneigenschaften und Bodenprozesse bestimmenden Informationen, die aus Dauerfeldversuchen (auch künftig) gewonnen werden können.

Tab. 6: Eignung von Messdaten für die Erhebung und Beobachtung des Bodenzustands unter veränderten Klimabedingungen

Thema	Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung					Weitere Messaktivitäten		
	ICP Level II / BZE Wald	ICP Level II	Basis-BDF	Intensiv-BDF	LWF	DWD-Agrar-meteorologie	Feld-lysi-meter	UPB
Nichtstoffl. Bodenzustand	-	-	-	(Z,M)	-	-	-	-
Bodenwasserhaushalt	-	Z,V,M	Z, V	Z,V,M	(Z,V,M)	Z,V,M	V,M	-
Stoffhaushalt, stoffl. Bodenbelastung	Z,V	Z,V,M	Z, V	Z,V,M	Z,V,M	-	V,M	Z, V
Bodenmikrobiologie	-	-	Z,V,M	Z,V,M	(Z,V)	-	-	-
Bodenzoologie	(Z,V)	-	Z,V,M	Z,V,M	(Z,V)	-	-	-
Klima-relevante Gase	-	-	-	-	-	-	-	-
Landnutzung	Z	Z,M	Z,V	(Z,V,M)	Z,V,M	-	V,M	-

Z = Einmalige Erhebung des Bodenzustands

V = Beobachtung langfristiger Veränderungen des Bodenzustands

M = Kalibrierung und -validierung von Simulationsmodellen

() = deutlich eingeschränkte Eignung wegen geringer Standortzahl oder methodischen Defiziten

Um Wirkungen der erwarteten Klimaänderungen auf die Böden prognostizieren zu können, sind vertiefte Untersuchungen der zugrunde liegenden Prozesse unbedingt erforderlich. Für derartige Prozessbetrachtungen können Daten aus bodenbezogenen Messprogrammen eingesetzt werden. Programme, in denen Stoffflüsse gemessen werden (Intensiv-BDF, ICP Level II, Feldlysimeter), bieten Möglichkeiten zur Berechnung von standortbezogenen Stoffbilanzen und lassen Rückschlüsse auf An- oder Abreicherungen von Stoffen im Boden zu. Prozessorientierte Studien zum Wasserhaushalt werden insbesondere anhand der Intensiv-BDF und ICP Level II-Flächen, aber auch vertieft mittels Feldlysimetern durchgeführt.

Erkenntnisse und Messdaten aus Forschungsprojekten wie z.B. TERENO, CarboEurope ergänzen die Monitoring- und Erhebungsprogramme, indem sie experimentelle Erkenntnisse und Methoden zur Modellierung von Bodenprozessen liefern. Zu verbessern ist insbesondere die Beschreibung von Prozessen und Interaktionen (System Boden–Vegetation–Atmosphäre) in Bezug auf steigende atmosphärische CO₂-Gehalte, Pflanzenwachstum und Verdunstung.

Methodische Ansätze für räumliche Betrachtungen sind für Aussagen zur Bodenerosion, zu den Stoffgehalten, -vorräten und zu Wasserhaushaltsgrößen vorhanden. Sie, fehlen jedoch für Angaben zur Bodenmikrobiologie, zur Bodenfauna und zur Freisetzung von Spurengasen. Speziell für die Bodenfauna sind die Verknüpfungsregeln zur Übertragung von standortbezogenen Messergebnissen in die Fläche derzeit noch Expertenwissen, das nicht in einem bundesweit validierten und abgestimmten Regelwerk vorliegt.

Räumliche Informationen zu möglichen Wirkungen von Klimaänderungen auf die Böden liegen derzeit in bundesweitem Maßstab nur für bestimmte Bodengefährdungen vor (Bodenerosion durch Wasser). Es fehlen bisher übergreifende räumliche Abschätzungen möglicher Wirkungen von Klimaänderungen auf den Abbau organischer Substanz, den Bodenwasserhaushalt, die biologische Aktivität, die Zusammensetzung der Bodenlebensgemeinschaft, die Freisetzung klimarelevanter Gase und die Schadstoffmobilität. Auf regionaler Ebene liegen jedoch in vielen Bundesländern bereits flächenhafte Aussagen zu möglichen klimabedingten Veränderungen von Böden oder bodenbezogenen Prozessen vor, z.B. zu Erosion und Beregnungsbedarf.

Inwieweit die Messstandorte der Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung für eine Bewertung von Fragen des Klimawandels geeignet sind, hängt vom Untersuchungsspektrum und der Untersuchungsmethodik ab. Entscheidend ist auch, ob alle Landschaften und besonders empfindliche Standorte wie z.B. Feuchtgebiete abgedeckt sind. Datendefizite bestehen aufgrund einer eingeschränkten Eignung und der konzeptioneller Unterschiede der einzelnen Programme (z.B. Parameterspektrum, Messhäufigkeit, Flächen- und Nutzungsrepräsentanz). Organisatorische Gründe wie z.B. die fehlende Koordinierung der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche führen zu besonderen Schwierigkeiten. Ein Defizit für potenzielle Nutzer der Bodendaten ist, dass Informationen über die Daten gegenwärtig uneinheitlich sind und an vielen Stellen verteilt vorliegen und es nicht immer eine harmonisierte, zentrale Datenhaltung gibt. Ein Zugang zur Gesamtheit der vorhandenen Bodendaten ist daher derzeit nicht gewährleistet, d.h. hinsichtlich der Bereitstellung von (Meta-) Daten besteht ein Verbesserungspotenzial. Hinzu kommen Probleme mit der Aussagegenauigkeit von Messdaten.

Effiziente länder- oder messnetzübergreifende Auswertungen zur Klimafolgenabschätzung und zur Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel lassen sich erst dann durchführen, wenn die in Kapitel 2.3 zusammengefassten Anforderungen an Messstandorte, an Untersuchungskonzept und -umfang sowie an Dokumentation, Datenhaltung und -verfügbarkeit erfüllt sind. Darüber hinaus bedarf es der Umsetzung der in Kapitel 4.1 themenübergreifend und in Tabelle 9 konkret und themenspezifisch dargelegten Handlungsempfehlungen für die Anpassung der Programme aus Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung an die Anforderungen der Klimafolgenforschung – und -anpassung.

2.5 Kosten und Nutzen der Bereitstellung von Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung

In Deutschland stehen die Aktivitäten der Bodenzustandserhebung, der Bodendauerbeobachtung und der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche in den meisten Bundesländern und auf Bundesebene unter einem politischen Begründungsdruck, da in der Regel Vorgaben zur Kostenreduzierung gemacht werden und sowohl bundes-

weit als auch auf Europäischer Ebene keine ausdrückliche rechtliche Verpflichtung zur Überwachung des Bodenzustands existiert. Hinzu kommt das Problem, dass Aussagen zu Veränderungen des Bodenzustands nur auf Grundlage langfristiger Messperioden möglich sind, da sich die Bodenprozesse wie z.B. Verwitterung und Mineralneubildung, Zersetzung und Humifizierung in sehr großen Zeiträumen vollziehen. Die Bildung von einem Meter Boden dauert je nach Ausgangsgestein und Einflussfaktoren mehrere tausend Jahre. Darüber hinaus erschwert eine unzureichende methodische Einheitlichkeit die bundesweite Datenauswertung und Berichterstattung (vgl. Kap. 2.4.6).

Das BUNDESAMT FÜR UMWELT DER SCHWEIZ (2007) schätzt, dass in Mitteleuropa der Kostenanteil für Bodenbeobachtung weit unter einem Prozent der insgesamt für den Umweltschutz aufgewendeten Kosten liegt. Vor dem Hintergrund, dass die Ergebnisse der Messaktivitäten als Grundlagen für die Begründung, Planung und Erfolgskontrolle von z.B. klimarelevanten Bodenschutz-Maßnahmen dienen, ist dieser Anteil erstaunlich gering. Es fehlt das Bewusstsein, dass ein unzureichendes Bodenmonitoring zu verspäteten und falschen Signalen an politische Entscheidungsträger führt. In Konsequenz dieser falschen Signale können hohe volkswirtschaftliche Folgekosten für Umwelt- oder Anpassungsmaßnahmen entstehen.

Noch deutlicher wird das Problem bei der Betrachtung folgender Zahlen: Laut Angaben der Münchener Rück von 2002 stiegen die ökonomischen Schäden extremer Wetterereignisse in den letzten drei Jahrzehnten um den Faktor fünfzehn. Erste Schätzungen gehen davon aus, dass die deutsche Volkswirtschaft in den kommenden 50 Jahren nur für die Behebung von Klimaschäden ca. 3 % des Bruttosozialprodukts, das sind bis zu 800 Mrd. US-\$, aufwenden muss. (KEMFERT 2007). Entscheidungen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung sind demnach zukünftig in einem großen Rahmen gefragt. Hier muss eine klare Positionierung erfolgen, wie belastbar die Datenbasis sein soll, auf denen die Entscheidungen aufbauen.

Eine fundierte Analyse wirtschaftlicher Aspekte der Aktivitäten zur Überwachung und Erhebung des Bodenzustands steht noch aus und war nicht Gegenstand des BOKLIM-Vorhabens. Gleichwohl werden an dieser Stelle verfügbare Angaben zu den betrachteten Programmen aufgeführt (siehe Kasten). Die Kosten von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung setzen sich aus den Kosten für die Planung und Organisation, Probenahme, Analytik, Auswertung und Berichterstattung zusammen. Die Höhe der

Kosten hängt ab von der Anzahl der Untersuchungsstandorte, der Länge der Zufahrtsstrecken, der Untersuchungshäufigkeit, der Probenzahl, der Anzahl und Art der Analysen sowie von Zielen und Umfang der Datenauswertungen und der Berichterstattung. Es wird eingeschätzt, dass der größte Kostenanteil für die Erhebung der Daten anfällt, während Datenhaltung und Analyse sowie Koordination und Steuerung geringere Anteile aufweisen.

Um die anfallenden Kosten zu reduzieren, werden Einsparpotenziale gesucht, die zu einer Reduzierung des Untersuchungsumfangs führen. Aufgrund fehlender Finanzierungsmöglichkeiten hat sich z.B. die Zahl der Dauerfeldversuche in Deutschland in den vergangenen Jahren erheblich reduziert und in einigen Bundesländern wird die Schließung bzw. Reduzierung der BDF-Standorte diskutiert oder ist bereits erfolgt (z.B. Intensiv-BDF in Bayern).

Beispiel: Kosten Boden-Dauerbeobachtung

Hinsichtlich der von den Ländern zu finanzierenden Kosten stellte die LABO in einem Bericht von 2002 je Basis-BDF 8.000 € bis 15.000 € pro Fläche für die Flächeneinrichtung und Grundinventur (Flächenauswahl, Klärung der Nutzungs- und Betretungsrechte, Vermessung und Vermarkung, bodenkundliche Probenahme und -analytik) sowie mittlere jährliche Betriebskosten in Höhe von ca. 1.500 € pro BDF-Standort (ohne Personalkosten) fest. Für Intensiv-BDF können schätzungsweise jährliche Kosten von 40.000 bis 50.000 € bei monatlicher Probenahme angesetzt werden, wobei diese Zahlen nur einen groben Orientierungsrahmen darstellen. Tatsächliche Kosten können hiervon aufgrund der Preisentwicklung und schlechter Vergleichbarkeit wegen unterschiedlicher Preisermittlungsverfahren abweichen (BOVA 2008).

Beispiel: Kosten Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche

Die Kosten für die Durchführung der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche betragen, nach vorliegenden Erfahrungswerten, im Durchschnitt 28.000 € je Hektar, einschließlich der wichtigsten, obligatorisch notwendigen Analysen. Bei rd. 30 ha Versuchsfläche insgesamt wären dies 840.000 €. Für Leitung und Organisation des Gremiums müsste ein Wissenschaftler vorgesehen werden. Einschließlich einiger Aufwendungen für Material, Dokumentation und Reisekosten würden die Kosten unter 900.000 € jährlich bleiben. Da es sich um Aufgaben handelt, die jeweils über die Aufgaben der einzelnen Einrichtungen hinausgehen und insbesondere die Universitäten große finanzielle Probleme haben, ist eine zentrale Finanzierung, oder zumindest Teilfinanzierung, notwendig (KÖRSCHENS 2006).

Konsequenzen eines Wegfalls oder einer Reduzierung von Messaktivitäten sind:

- Es können keine belastbaren Aussagen für durch Klimaänderungen zu erwartende Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen und damit verbundenen Wirkungen auf die Landnutzung getroffen werden.
- Die Möglichkeiten einer systematischen Beweissicherung und Erfolgskontrolle von Maßnahmen entfallen.

- Wichtige Aussagen zu Klimawandel, Klimafolgen und -anpassung können nicht mit Messdaten belegt werden (z.B. Veränderung von Humusgehalten, Beitrag der Böden zu THG-Emissionen, vgl. Tab. 3).
- Modellszenarien bleiben unscharf.

Bei nicht bundesweit und koordiniert betriebenen Mess- und Auswertungsansätzen ist zudem ein hoher personeller und finanzieller Aufwand durch Überschneidungen (Doppelarbeit) zu erwarten.

Handlungsempfehlungen

- Sicherstellung der beim Bund und in den Ländern sowie bei Forschungseinrichtungen und Universitäten langfristig angelegten Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung im Hinblick auf die Erfordernisse eines auf den Klimawandel bezogenen Bodenmonitorings. Nur auf dieser Grundlage ist es möglich, die aus dem Klimawandel resultierenden Veränderungen des Bodenzustands und der Bodenqualität mit konkreten Daten und belastbaren Zeitreihen zu dokumentieren sowie eine Erfolgskontrolle der Maßnahmen zu gewährleisten.
- Die Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung liefern eine Vielzahl wertvoller Informationen zur Beantwortung von Fragen der Wirkung von Klimaänderungen auf den Bodenzustand und die Bodenfunktionen. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag für die langfristigen Arbeiten des Bundes und der Länder zur Klimaanpassung. Die einzelnen Mess- und Erhebungsprogramme müssen jedoch weiter angepasst und modifiziert werden, um den Anforderungen im Hinblick auf Datenqualität, -belastbarkeit, -vollständigkeit (Parameterspektrum und Messhäufigkeit) sowie Flächen- und Nutzungsrepräsentanz im vollem Umfang gerecht zu werden (siehe Kapitel 4.1, Tabelle 9).
- Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die Aktivitäten des Bodenmonitorings und der Erfassung des Bodenzustands erstmals bundesweit und messnetzübergreifend betrachtet. Es liegen Handlungsstrategien für die künftige effiziente Nutzung der Mess- und Erhebungsaktivitäten zur Klimafolgen- und anpassungsforschung vor und es werden Vorschläge zur Verbesserung der Verfügbarkeit für Bodendaten unterbreitet (siehe Kapitel 4.2). Diese gilt es nachfolgend umzusetzen.

- Unter dem Aspekt der Kosteneffizienz sollte die Zusammenarbeit zwischen den an der Gewinnung und Nutzung von Bodendaten beteiligten Institutionen und Akteuren verbessert und Synergiepotenziale genutzt werden. Konkrete Schnittstellen und Handlungsempfehlungen für Information und Kommunikation weist der vorliegende Bericht in den Kapiteln 4.1 und 4.3 aus.
- Eine systematische messnetzübergreifende Untersuchung der Kosten der in Deutschland betriebenen Messprogramme würde Transparenz schaffen und eine Beurteilung von Einsparpotenzialen sowie eine Prognose des künftig entstehenden Mehraufwandes ermöglichen. Dieser kann dann mit dem Zugewinn an Aussagekraft der Datensätze in Beziehung gesetzt werden kann (siehe auch Kap. 4.1).

3 DATENBEREITSTELLUNG UND EFFIZIENTE NUTZUNG VON BODENDATEN

Wie in Kapitel 2 dargelegt, werden Bodendaten in der Klimasystemforschung und in der Klimafolgen- und -anpassungsforschung für Forschungsprojekte und Beratungsaufgaben im Kontext Klimawandel (Folgen des Klimawandels, Anpassungsstrategien) benötigt. Dabei handelt es sich v.a. um Bodenmessdaten, die noch nicht in ausreichendem Maß öffentlich bekannt und verfügbar sind. Um diese benötigten Bodendaten effektiv nutzbar zu machen, müssen deren Inhalte und Zugangsmöglichkeiten bekannt sein. Datenerfassung, Bereitstellung und Erläuterungen müssen sich einerseits an potenziellen Nutzerinteressen orientieren, andererseits so präsentiert werden, dass Nutzer die optimalen Daten für den entsprechenden Verwendungszweck finden können. Gleichzeitig dürfen keine unzumutbaren Aufwände für die Datenbereitstellung oder den Aufbau entsprechender Infrastruktur bei den Datenbesitzern und -anbietern (Datenprovidern) entstehen.

Auf der Grundlage aktueller informationstechnischer Entwicklungen, fachlicher und technischer Anforderungen wird ein Konzeptvorschlag erarbeitet, wie der Zugang zu projektrelevanten Informationen und Daten verkürzt und vereinfacht werden kann (s. Handlungsempfehlungen in Kap. 4.2).

Für die Herleitung der Handlungsempfehlungen sind dabei folgende Aspekte von zentraler Bedeutung:

- Zentrale Triebfeder für die Vernetzung von Umweltdaten in Europa ist die INSPIRE-Richtlinie (RL 2007/2/EG) samt der daraus resultierenden Geodatenzugangsgesetze des Bundes und der Länder und der erforderlichen Techniken und Standards für die Umsetzung. Ziel der INSPIRE-Richtlinie ist es, qualitativ hochwertige Geodaten aus den Behörden der Mitgliedstaaten unter einheitlichen Bedingungen zur Unterstützung der Formulierung, Umsetzung und Bewertung europäischer und nationaler Politikfelder zugänglich zu machen.
- Einen ersten Informationsgewinn stellt die qualifizierte Bereitstellung von Metadaten über Datensammlungen dar. Sie liefern erste Einblicke in die Datenbestände, bevor diese selbst bereitgestellt werden.

- INSPIRE fordert über Metadaten hinaus webbasierte Online-Dienste für die Suche, die Visualisierung und die Bereitstellung der Daten. Daten müssen gemäß INSPIRE-Datenspezifikationen interoperabel sein (ISO- und OGC-Standards).
- Die INSPIRE-Richtlinie fordert in Annex III auch den Austausch von Bodendaten. Boden umfasst demnach „die Beschreibung von Boden und Unterboden anhand von Tiefe, Textur, Struktur und Gehalt an Teilchen sowie organischem Material, Steinigkeit, Erosion, gegebenenfalls durchschnittliches Gefälle und erwartete Wasserspeicherkapazität“. Aktuell wird auf europäischer Ebene erarbeitet, welche Daten genau im Sinne der Richtlinie ausgetauscht werden sollen (z.B. Parameter, räumliche und zeitliche Auflösung) und wie diese zu strukturieren und zu kodieren sind (Fachschema). Sowohl Bodenkarten als auch Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung sind von INSPIRE betroffen. Schwerpunkt von BOKLIM waren die Bodenmessdaten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebungen.
- Aktuell werden Daten zwischen Bund und Ländern zur Erfüllung von Bodenschutzaufgaben auf der Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich (VwV Datenaustausch 1994; Anhang Boden 1998) geregelt. Diese Vereinbarung ist eine Grundlage, die auf künftige Aufgaben im Kontext von INSPIRE, des Klimaschutzes oder anderer Zukunftsthemen inhaltlich und technisch angepasst werden kann.
- Es bestehen bereits Dateninfrastrukturen und Metadatenportale, die für den Austausch von Bodenmessdaten eine hohe Relevanz haben. Im Rahmen des BOKLIM-Projektes wurden hier die europäische Geodateninfrastruktur (ESDI), die Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE), PortalU als das zentrale Umweltportal der bundesdeutschen Umweltverwaltung von Bund und Ländern sowie die Produkte des eContentplus-Projektes GS Soil als aktuelles Forschungsprojekt zum Aufbau einer INSPIRE-kompatiblen Geodateninfrastruktur für europäische Bodendaten genauer betrachtet und bei der Konzeption berücksichtigt.
- Eine Dateninfrastruktur braucht nicht nur technische Standards, sondern v.a. die aktive Mitwirkung der beteiligten Akteure: Datenbesitzer, Datenprovider, Service- und Portal-Dienstleister, Datennutzer und zuständige Behörden. Diese Akteure haben unterschiedliche Zuständigkeiten und verfügen in der Regel über be-

schränkte Ressourcen. Daraus resultieren unterschiedliche Ansprüche an eine mögliche Dateninfrastruktur, die bei der Konzeption berücksichtigt werden müssen. Vor allen Dingen aber müssen die Akteure erkennen können, worin ihr Nutzen besteht, die Infrastruktur mitzugestalten.

Zielszenario und Aufgabenstellung

Mit der INSPIRE-Richtlinie zeichnet sich ein rechtlicher und organisatorischer Rahmen ab, der die Zukunft der Metadaten und Dateninfrastrukturen prägt. Diese Zukunft ist – vereinfacht ausgedrückt – gekennzeichnet durch:

- einheitliche technische Standards und Schnittstellen,
- einheitliche Nomenklatur und Semantik,
- europaweit verfügbare Bodendaten und
- durchgängige Datenprozessierungsketten.

Im Schlepptau von INSPIRE entstehen aktuell INSPIRE-konforme Portale und Fachschemata, die sich auch für klimarelevante Bodendaten eignen. Es wird erwartet, dass die aktuellen Entwicklungen dazu führen, dass entsprechende Infrastrukturen und Fachdaten-Spezifikationen in drei Jahren deutlich ausgebaut sein werden.

Auf der Grundlage der Analyse der Anforderungen und aktuellen Entwicklungen wird ein Zukunftsszenario entworfen, dessen ausführliche Herleitung der Langfassung zu entnehmen ist:

Ein Datenbesitzer stellt seine Bodenmessdaten für berechtigte Nutzer künftig standardkonform über Web-Dienste zur Verfügung. Über Metadaten publiziert er Inhalt und alle erforderlichen Charakteristika für potenzielle Nutzer. Den potenziellen Nutzern stehen über diverse Metadatenportale und die darin eingebundenen Katalogdienste Recherchemöglichkeiten zur Verfügung, die den Weg vom Datenbedürfnis zum Datenzugriff erheblich verkürzen.

Unabhängig von den Aktivitäten, die im Nachgang des BOKLIM-Vorhabens ausgelöst werden, entwickeln sich die zur Verfügung stehenden Metadatenportale, Fachschemata und Datenportale weiter. Sie bilden die Basis für ein Umsetzungskonzept zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit von klimarelevanten Bodendaten in Deutschland

und sind auch für andere Anwendungsbereiche neben der Klimasystemforschung, Klimafolgenforschung und -anpassung nutzbar.

Mit PortalU steht derzeit bereits ein Instrument zur Erfassung und Recherche von Umweltdaten zur Verfügung. Das System beruht auf aktuellen Standards zur Metadatenverwaltung, ist INSPIRE-konform und die erfassten Metadaten lassen sich in andere Portale einbinden.

Im Kontext von GDI-DE und INSPIRE werden (Geo-)Dateninfrastrukturen entstehen, die – neben Karten – auch bodenkundliche Messdaten erschließen und für berechtigte Nutzer verfügbar machen. Es wird möglich sein, alle relevanten Datenquellen über die zentral bekannten Adressen zu recherchieren und sich über die Metainformationen einen Überblick zu verschaffen. Die Datendienste selbst werden vermutlich verteilt vorliegen. Das bedeutet, dass gut ausgestattete Institutionen selbst Infrastrukturen aufbauen werden, die die entsprechenden Informationen als Dienste (z.B. Web Feature Services oder Sensor Observation Services) bereitstellen werden; kleinere Institutionen werden dagegen Angebote zentraler Portal-Dienstleistern nutzen.

Damit die Inhalte der Datendienste für die Softwarekomponenten und die Benutzer verständlich sind, müssen die enthaltenen Daten einheitlich strukturiert und kodiert werden. Hierzu werden aktuelle Entwicklungsprojekte auf europäischer und globaler Ebene Vorschläge für internationale Datenaustauschformate (Fachschemata) vorlegen und Standards entwickeln, die einen großen Schritt für die Vereinheitlichung von Datenaustauschformaten zur Folge haben werden. Die internationalen Ergebnisse sind anschließend national weiter zu spezifizieren (z.B. Parameterlisten, Verfahren etc.). Dieser Prozess wird sich umso schneller vollziehen, je gezielter die zentralen Akteure der Fachdomäne Boden zusammenarbeiten.

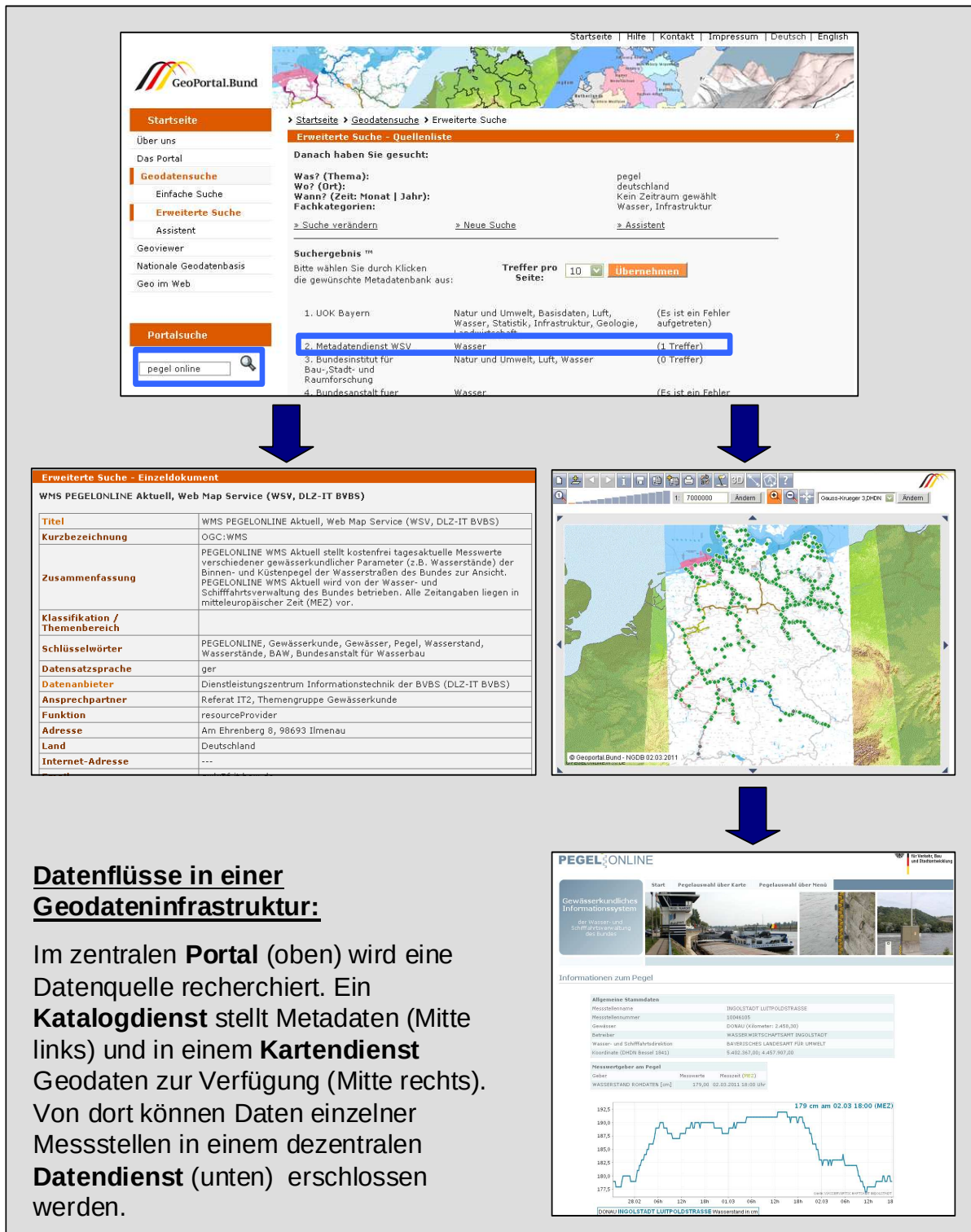


Abb. 3: Datenflüsse in einer Geodateninfrastruktur (online-Ressourcen:
<http://www.geoportal.bund.de>; <http://www.pegelonline.wsv.de>, letzter Abruf
 22.02.2011)

Aufgaben und Nutzen

Zusammenfassend sind auf dem Weg zu einer Dateninfrastruktur Boden derzeit die in Tabelle 7 verzeichneten Aufgaben absehbar. Diese Aufgaben sind im Umsetzungskonzept weiter ausgeführt (s. Handlungsempfehlungen Kap. 4.2). Zuvor jedoch gilt es, die einzelnen Ressorts (BMU, BMWi, BMELV, BMVBS) für die gemeinsame Sache, Bodendaten effizient zu vernetzen, im Sinne der Vorgaben und Anforderungen zu gewinnen und sich in einem „Fachnetzwerk Boden“ zu engagieren. Aus der Umsetzung der Handlungsempfehlungen ergibt sich folgender Nutzen:

- Steigerung der Nachfrage nach Boden(überwachungs)daten und daraus ableitbaren Aussagen und damit Wertsteigerung von Messprogrammen;
- Herstellung neuer Kommunikationswege und -verbünde zwischen verschiedenen Instituten und Ressorts (Netzwerk-Bildung);
- Erhöhung der Akzeptanz von Erhebungs- und Monitoringaktivitäten sowie Bodenkartierungen;
- Synergieeffekte durch die Bündelung von Überwachungsaktivitäten;
- Erleichterung der Datenvernetzung auf nationaler und europäischer Ebene;
- Erhöhung der Aussagekraft von Klimamodellen oder von in der Klimafolgen- und -anpassungsforschung eingesetzten Wasserhaushalts- oder Stoffflussmodellen durch die Bereitstellung hochwertiger Eingangs- oder Validierungsdaten.

Tab. 7: Anstehende Aufgaben auf dem Weg zur „Datenvernetzung der Zukunft“

Aufgabe	Akteure	Priorität/ Reihenfolge
Bereich Metadaten:		
- Standards für die Metadatenbereitstellung/ Metadatenkatalog - Fachliches Metadatenprofil für Bodendaten (Schwerpunkt Bodenmessdaten von BOKLIM)	Zuständige Bundesbehörden (gemäß nationaler und internat. Vorgaben)	1
Metadaten zu den Datenbeständen	Datenprovider	1
Geeignetes Metadatenportal zur Erfassung und Recherche	Service-/ Portaldienstleister, Zuständige Bundesbehörden	1
Möglichkeit, andere standardkonforme Metadatenkataloge einzubinden („Ernten“)	Service-/ Portaldienstleister	2
Bereich Messdaten		
Datendienste und Portale, die Bodenmessdaten bereitstellen (ggf. unstandardisiert)	Service-/ Portaldienstleister	2
Datendienste mit <u>standardisierten</u> Kommunikationsschnittstellen	Service-/ Portaldienstleister	3
Semantisches Fachschema für Bodenmessdaten	Zuständige Bundesbehörden (gemäß nationaler und internat. Vorgaben)	3
Datenportale, die <u>standardisierte</u> Datendienste bereitstellen	Service-/ Portaldienstleister	3

Eignung der Datenbestände für die Vernetzung

Um erste Anhaltspunkte für die Realisierung eines Datennetzwerks Boden zu liefern, wurden die Datensätze aus Programmen des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung sowie weitere langfristige Boden-Beobachtungsaktivitäten im Hinblick auf die Bedingungen für eine effiziente Datenbereitstellung analysiert und priorisiert. In Tabelle 8 sind technische und organisatorische Aspekte der Datenhaltung (Zentralität, Homogenität) der fachlichen Eignung im Sinne der auf den Klimawandel ausgerichteten Bodenforschung einander gegenübergestellt. Für detaillierte Informationen zu den einzelnen Programmen und Boden-Flächendaten wird auf Kapitel 2.1 und den Entwurf der Broschüre „Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland“ (AHU AG 2009) verwiesen.

Tab. 8: Eignung und Homogenität ausgewählter Datenbestände in Deutschland

	Fachliche Eignung*	Technisch-organisatorische Eignung**	Datenhomogenität	Datenhaltung
ICP Forest Level II	hoch	hoch	hoch	zentral und dezentral
Agrarmeteorologische Daten DWD	hoch	hoch	hoch	zentral
Intensiv-BDF	hoch	mittel	gering	dezentral
Basis-BDF	mittel	hoch	z.T. hoch (UBA-bBIS)	zentral und dezentral
ICP Forest Level I / BZE Wald	mittel	hoch	hoch	zentral und dezentral
BZE Landwirtschaft	mittel	gering (Daten liegen noch nicht vor)	hoch (zu erwarten)	zentral
Feldlysimeter	hoch	gering	gering	dezentral
Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche	hoch	gering	sehr gering	dezentral
Umweltprobenbank	gering	hoch	Hoch	zentral

* für Fragestellungen von Klimasystemforschung, Klimafolgen- und -anpassungsforschung

** nach derzeitigem Stand der Datenhaltung und -bereitstellung

Die aufgelisteten Datenbestände werden sehr unterschiedlich verwaltet und kodiert, Metadaten sind kaum verfügbar und eine zentrale Auskunftsinanz steht nicht zur Verfügung. Gleichwohl bestehen zu einzelnen Programmen bereits Datensammlungen, Auskunftssysteme und Datenschnittstellen. Die Daten aus ICP Forest Level II und die agrarmeteorologischen Daten des DWD weisen die besten Voraussetzungen für eine vergleichsweise einfache Vernetzung auf. Deutlich ungünstiger sind die Verhältnisse für die BDF-Daten und die landwirtschaftlichen Flächen, solange die Daten der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche dezentral gehalten werden und die BZE Landwirtschaft noch nicht vorliegt.

Vorschlag für ein Metadatenprofil für Bodenmessdaten

Um Recherchen nach geeigneten Bodendaten effizienter gestalten zu können, müssen Festlegungen getroffen werden, wie Datensammlungen mit Metadaten zu dokumentieren sind, damit die Anwender fachlich sinnvolle Suchanfragen stellen können. Dazu schlägt das BOKLIM-Projekt ein geeignetes Metadatenprofil für klimarelevante Bodenmessdaten vor. Das Profil ist aber auch für Bodenmessdaten geeignet, die in anderen Anwendungsbereichen nachgefragt werden (z.B. Umweltberichterstattung, Boden-

schutz, Biodiversitätsstrategie). Es kann als Diskussionsbasis für weitere Abstimmungsgespräche zwischen den zuständigen Behörden und weiteren Akteuren dienen.

Das erarbeitete Metadatenprofil gründet auf den entsprechenden Standards der ISO (19115, 19139), den INSPIRE-Vorgaben, dem Metadatenmodell des PortalU sowie den Arbeitsergebnissen des eContentplus-Projektes GS Soil. Es enthält insgesamt 41 Metadatenelemente (nicht alle verpflichtend). Enthalten sind Angaben zum Metadaten-satz selbst, zur Datensatzbeschreibung, zu Nutzungseinschränkungen, zu Herkunft, Datenqualität und zur Datenpflege, zu räumlicher Datenstruktur und zum Referenzsystem, zu Inhalt, Darstellungskatalog und Vertrieb, zu Ausdehnung, bibliographischen Angaben und verantwortlichen Stellen sowie zu Untersuchungsmethoden und Parametern:

BOKLIM-Metadatenprofil⁷:

1) Informationen zum Metadaten-satz

- 1 Metadaten-satzidentifikator
- 2 Metadaten-Sprache
- 3 Metadaten-Zeichensatz
- 4 Metadaten-Verantwortliche Stelle
- 5 Datum der Erstellung des Metadaten-satzes
- 6 Bezeichnung des Metadatenstandards
- 7 Version des Metadatenstandards

2) Datensatzbeschreibung

- 8 Name der Ressource (z.B. Boden-Dauerbeobachtung Deutschland, Boden-Dauerbeobachtungsfläche Nr. 064)
- 9 Kurzbeschreibung inkl. Anzahl Untersuchungsstandorte, untersuchte Landnutzung(en), Verknüpfung mit anderen Messnetzen,
- 10 Ressourcenart (dataset, series oder service)
- 11 Zweck der Ressource
- 12 Bearbeitungsstatus der Ressource (z.B. abgeschlossen, historisches Archiv, kontinuierliche Aktualisierung)
- 13 Schlüsselwort (z.B. Klimafolgenmonitoring, Bodenschutz)
- 14 Räumliche Auflösung (nur bei Karten oder Rasterdaten).
- 15 Sprache der Ressource
- 16 Zeichencodestandard der Ressource
- 17 Themenbereich (z.B. Landwirtschaft, Umwelt, Geowissenschaften)
- 18 Nutzung der Ressource (z.B. Beantwortung von Fragen zu Humusvorräten)

⁷ Für Erläuterungen, weitere Beispiele und den Bezug der Metadatenelemente zu ISO, INSPIRE, GS Soil und Portal U wird auf den ausführlichen Abschlussbericht zum BOKLIM-Vorhaben verwiesen.

3) Einschränkungen

- 19 Anwendungseinschränkung
- 20 Zugriffs- und Nutzungseinschränkungen

4) Herkunft, Datenqualität, Pflege

- 21 Erläuterung zur Herkunft (z.B. Export aus bBIS-BDF)
- 22 Relative Positionsgenauigkeit (z.B. 1 m, 1000 m)
- 23 Konformität (mit Produktspezifikation oder Benutzeranforderungen)
- 24 Verantwortliche Institution(en) (z.B. Urheber, Anbieter)
- 25 Pflegeintervall der Ressource (z.B. Jährlich, einmalig, unregelmäßig)

5) Räumliche Datenstruktur, Referenzsystem

- 26 Darstellungstyp (Struktur der räumlichen Daten) (z.B. Vektor)
- 27 Typ der geometrischen Objekte (z.B. Punkt, Fläche)
- 28 Anzahl/Dichte der Punkte (Punktzahl/km²)
- 29 Identifikator des Referenzsystems (z.B. UTM32N ETRS89)

6) Inhalt, Darstellungskatalog, Vertrieb

- 30 Dateninhalt, Objektartenkatalog, Darstellungskatalog u.a.
- 31 Technische Abgabebedingungen (z.B. Layer Bundesland, 60MB, Link)
- 32 Datenformat / Dienststart

7) Ausdehnung, Bibliographische Angaben und verantwortliche Stelle

- 33 Geografisches Begrenzungsrechteck
- 34 Zeitbezug (z.B. Erstbeprobung 1990-1993)
- 35 Datum Erzeugung, Veröffentlichung oder Überarbeitung der Ressource
- 36 Ressourcenverweis (Online-Ressource)

8) Untersuchungsmethoden und Parameter

Die nachfolgend in Klammern genannten Metadatenelemente sind nicht Bestandteil des BOKLIM-Metadatenprofils. Sie können z.T. entfallen oder vorläufig in die Kurzbeschreibung aufgenommen werden (s. ausführlicher Abschlussbericht).

- (37 Probenahmemethode (z.B. Einzelprobe gestört))
- (38 Verteilung Probenahmestandorte (z.B. systematisch, Raster))
- (39 Anzahl Nicht-Bodenparameter)
- (40 Anzahl Parameter)

für jeden Parameter:

- 41 Parameter-Name (z.B. TOC, pH)
- 42 Untersuchungsmedium (z.B. Boden-Feststoff)
- 43 Kategorie (z.B. Physikalische Bodeneigenschaften)
- 44 Name der Messmethode (z.B. DIN ISO 10 390: 2005), nach Möglichkeit ergänzt um Probenahmemethode.
- (45 Entnahmetiefe (z.B. Bezugstiefe oder Oberboden))
- (46 Häufigkeit (z.B. mehrmals regelmäßig))
- (47 Parameter-Typ (z.B. numerisch))
- 48 Parameter-Interpretation (z.B. klassifiziert, gemessen)
- (49 Parameter-Genauigkeit)

Der Ansatz, parameterspezifische Elemente in ein Metadatenprofil aufzunehmen, ist vor der Umsetzung nochmals eingehend in Fachkreisen zu diskutieren, sobald entsprechende Vorschläge aus den Facharbeitsgruppen aus anderen Initiativen (GS Soil, INSPIRE etc.) vorliegen. Das Metadatenprofil mit konkreten Empfehlungen für einzelne Elemente ist der Langfassung des Berichts zu entnehmen. Es zeigt, welche Elemente für sinnvolle Recherchen der Datennutzer im Bereich der Klimaforschung, Klimafolgenforschung und -anpassung mindestens benötigt werden. Auf zusätzliche fach- oder datenspezifische Elemente (z.B. konkreter Anwendungsbereich in der Klimaforschung, beteiligte Arbeitsgruppen/-gremien) wird verzichtet, um den Erfassungs- und Pflegeaufwand zu begrenzen.

Fazit:

Die 2010er-Jahre stehen im Zeichen der Vernetzung. Dies geht über soziale Netzwerke hinaus und betrifft auch Umweltdaten. Aktuell entstehen Techniken, Standards und Austauschplattformen, die sich für eine effiziente Bereitstellung und Nutzung von Bodenmessdaten eignen und den Anforderungen von Datenschutz und Eigentumsrechten Rechnung tragen.

Um die ersten Schritte in die Zukunft interoperabler Bodendaten zu konkretisieren, werden im Rahmen des BOKLIM-Projektes die für die Klimaforschung interessanten Bodendaten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung auf ihre Eignung für die Vernetzung geprüft und bewertet. Ein erster Entwurf eines Metadatenprofils für Bodenmessdaten wird vorgelegt, der von den beteiligten Akteuren weiter spezifiziert werden kann.

Es kommt nun darauf an, den Nutzen einer Vernetzung von Bodenmessdaten zu erkennen, um im Rahmen eines „Fachnetzwerkes Boden“, die nächsten Schritte zu gehen (s. Kap. 4.2).

4 EMPFEHLUNGEN FÜR BODENMONITORING UND BODENZUSTANDSERHEBUNG ZUM EINSATZ IN DER KLIMAFOLGEN- UND KLIMAAANPASSUNGSFORSCHUNG

In Zukunft wird weiterhin und vermehrt ein Bedarf an Bodendaten bestehen, um Fragen zu den Klimafolgen und zur Klimaanpassung zu beantworten. Auch um die Wirkung und den Erfolg von Bodenschutz- und Klimaschutzmaßnahmen sowie Rückkopplungseffekte von im Boden ablaufenden Prozessen auf das Klima zu bewerten, sind Bodendaten erforderlich (vgl. Kap. 2). Aktueller Anlass für Überlegungen zur Weiterentwicklung der bestehenden Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung sind die Aktivitäten zur Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) und des Aktionsplans Anpassung.

Handlungsbedarf besteht bei der Anpassung der Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung (s. Kap. 4.1), der Bereitstellung von Bodendaten für eine effiziente Nutzung (Technik und Organisation) (s. Kap. 4.2) sowie dem Informationsaustausch und der Kommunikation mit beteiligten Akteuren, Öffentlichkeit, Politik und Wissenschaft (s. Kap. 4.3).

4.1 Anpassung der Programme

Im Fokus des vorliegenden Berichts steht die Frage, inwieweit sich die in Deutschland vorhandenen Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung eignen, um zu beurteilen, ob und wie sich Klimaänderungen auf den Zustand der Böden auswirken. Die Strategie zur Beantwortung dieser Frage umfasst drei Säulen, die sowohl auf Daten aus Bodenmonitoring, Bodenzustandserhebung und weiteren z.B. agrarmeteorologischen Messaktivitäten als auch auf Bodenkarten aufbauen (siehe Abb. 4). In Kapitel 2.4.1 werden die bodenbezogenen Messprogramme und -aktivitäten den drei Säulen zugeordnet.



Abb. 4: Aufgaben zur Beurteilung der Wirkung von Klimaänderungen auf Böden

Unserer Auffassung nach sollte das Ziel von Politik und Forschung sein, die erforderlichen Bodendaten langfristig und kontinuierlich zu erheben, um die Fragen zur Veränderung der Böden unter veränderten Klimabedingungen anhand belastbarer Daten zu beantworten. Hier gilt es, auf die bestehenden Programme und Aktivitäten aufzubauen und bestehende organisatorische und technische Strukturen zu nutzen. Der in der Eigenverantwortlichkeit von Ländern und Forschungseinrichtungen liegende Betrieb von Messnetzen sollte verstärkt in den Dienst der in Bund und Ländern gleichermaßen relevanten Aufgaben der Klimaanpassung gestellt werden. Ziel ist eine intelligente und kosteneffiziente Nutzung der etablierten und bewährten bestehenden Messsysteme. Diese Aufgaben können nur durch eine langfristige länder- und ressortübergreifende Kooperation und eine zielgerichtete Koordination bewältigt werden.

Zur Weiterentwicklung der Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung werden im Folgenden messnetz- und fragestellungsübergreifende Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese sollten in einem nächsten Schritt durch die zuständigen Behörden priorisiert und konkretisiert werden. Ohne eine Umsetzung dieser Schritte ist nicht sichergestellt, dass künftig die erforderlichen belastbaren und auswertbaren Daten für die Fragen von Klimawandel und Anpassung zur Verfügung stehen. Durch eine Integration der Messnetze BDF, ICP Level I / BZE Wald, ICP Level II, BZE Landwirtschaft und Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche in die zu bearbeiteten

Fachthemen und durch die Vernetzung thematisch einschlägiger wie klima-, boden- und bewirtschaftungsrelevanter langfristiger Prozessstudien (universitäre und außer-universitäre Forschungseinrichtungen) können die Anforderungen der Klimafolgenforschung im Bereich der Wirkungs- und Prozesskontrolle erfüllt werden.

Themenübergreifende Handlungsempfehlungen

Um die Anforderungen für eine effiziente Nutzung von Bodendaten aus Erhebung und Monitoring (siehe Kap. 2.3) zu erfüllen und die Datendefizite (siehe Kap. 2.4.6) zu reduzieren, empfiehlt die ARGE BOKLIM folgende Maßnahmen und Aktivitäten:

- **Auswahl relevanter Fragestellungen** für die Klimafolgenforschung (vgl. Tab. 3) und Zuordnung des erforderlichen Parameterspektrums, Benennung koordinierender Institutionen für die relevanten Fragestellungen; systematische Koordination von einschlägigen Forschungsprogrammen der DFG, des Bundes und der Länder::

Bisher fehlen bundesweite räumliche Abschätzungen der Wirkungen von Klimaänderungen auf den Abbau organischer Substanz, den Bodenwasserhaushalt, die biologische Aktivität und die Zusammensetzung der Bodenlebensgemeinschaft, die Freisetzung klimarelevanter Gase und die Schadstoffmobilität, sowie für die Langzeitbeobachtungen von erosionsbedingten Bodenabträgen. Vor diesem Hintergrund wird für diese Fragestellungen eine bundesweite Erhebung und Beobachtung mit hinreichender Intensität empfohlen. Mindestanforderungen an den Parameterumfang sind für verschiedene Fragestellungen in Tabelle 2 angegeben.

→ verantwortliche Akteure: Bund (Koordination), Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer, Ressortforschungseinrichtungen, Netzwerk Bodenwissenschaften bei acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften)

- **Durchführung von themenspezifischen Repräsentanzanalysen für alle Messstandorte** der Basis-BDF, Intensiv-BDF, ICP Level II-Standorte und Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche sowie Auswahl von themenspezifischen Messstandorten für 1) Überwachung 2) Prozessstudien 3) Modellszenarien (Modelleingangsdaten):

Um zu prüfen, ob mit den vorhandenen Daten bereits repräsentative flächenhafte

Aussagen für das Bundesgebiet getroffen werden können, sollte eine Zuordnung der verschiedenen Flächen zu fragestellungsspezifisch relevanten Räumen erfolgen. Es ist zu prüfen, ob diese Räume in ausreichender Zahl mit repräsentativen Daten zu den zu untersuchenden Parametern abgedeckt werden. Ziel ist es dabei, für die relevanten Fragestellungen die realen Varianten und Kombinationen von Nutzung und Standortfaktoren in ausreichender Anzahl abzubilden. Auch extensiv oder nicht genutzte Standorte und Extremstandorte (Trocken/Nass, organische Böden etc.) sollten berücksichtigt werden. Es sollten Gebiete identifiziert und vereinbart werden, die von klimabedingten Veränderungen (potenziell) besonders betroffen sind (so genannte Empfindlichkeitscluster, z.B. Moore für Humus/C). Identifiziert werden können diese Gebiete themenspezifisch aufgrund vorhandener Bodeninformationen, Kartenwerke und dem Stand des Wissens über Regionen erhöhter Anfälligkeit. Jede Region sollte mit einer ausreichenden Anzahl von Intensiv-BDF-Standorten und Level II-Standorten, landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen abgedeckt sein.

→ verantwortliche Akteure: Bund (Koordination z.B. BGR, UBA, vTI), Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer

- **Kontinuierliche und langfristige Fortführung von Messungen** für die vorangehend identifizierten Standorte und Parameter innerhalb der bestehenden dauerhaft eingerichteten Messprogramme der Basis- und Intensiv-BDF, Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche, ICP Level II zu Überwachungszwecken und um statistisch auswertbare Zeitreihen zu erhalten; besonders wichtig ist die Fortführung bodenzoologischer und mikrobiologischer Untersuchungen auf BDF, da diese ausschließlich hier in geeigneter Form gemessen werden.

→ verantwortliche Akteure: Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer, Ressortforschungseinrichtungen des Bundes, Universitäten

- **Regelmäßige Wiederholung von rasterbasierten Inventuren** zur Erhebung des Bodenzustands mit dem vorrangigen Ziel der regelmäßigen, stichproben- und flächenhaften Ermittlung des Bodenzustands (ICP Level I / BZE Wald und Landwirtschaft).

→ verantwortliche Akteure: Forst- und Landwirtschaftsbehörden des Bundes und der Bundesländer

- Rechtliche Verankerung von Überwachung und Prozessforschung, Datenaustausch und übergreifender Koordination für langfristig angelegte Programme, sofern bisher nicht vorhanden. Möglichkeiten zur Verankerung in Bundes- und Ländergesetzen sowie zum Datenaustausch z.B. in Anlehnung an die Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich (VwV Datenaustausch, Anhang II.4 „Austausch bodenschutzrelevanter Daten“) sollten geprüft werden (z.B. in Anlehnung an das Protokoll „Bodenschutz“ der Alpenkonvention von 1991, siehe nachfolgender Kasten).

→ verantwortliche Akteure: Bund, Länder

- Unterstützung einer langfristigen Kontinuität der Programme durch Fördermaßnahmen

→ verantwortliche Akteure: Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden des Bundes und der Bundesländer, Netzwerk Bodenwissenschaften bei acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften)

Protokoll zur Durchführung der Alpenkonvention von 1991 im Bereich Bodenschutz (Auszug)

(Quelle: www.alpconv.org)

Artikel 19 - Forschung und Beobachtung

- (1) Die Vertragsparteien fördern und harmonisieren in enger Zusammenarbeit Forschungen und systematische Beobachtungen, die zur Erreichung der Ziele dieses Protokolls dienlich sind.
- (2) Die Vertragsparteien sorgen dafür, daß die jeweiligen Ergebnisse nationaler Forschung und systematischer Beobachtung in ein gemeinsames System zur dauernden Beobachtung und Information einfließen und im Rahmen der geltenden staatlichen Ordnung öffentlich zugänglich gemacht werden.
- (3) Die Vertragsparteien vereinbaren, ihre alpenbezogenen Forschungsvorhaben zum Bodenschutz unter Berücksichtigung anderer nationaler und internationaler Forschungsentwicklungen zu koordinieren, und nehmen gemeinsame Forschungsaktivitäten in Aussicht.
- (4) Besondere Aufmerksamkeit ist den Bewertungen der Bodenempfindlichkeit im Hinblick auf unterschiedliche menschliche Tätigkeiten, den Bewertungen der Regenerationsfähigkeit der Böden sowie der Prüfung der bestgeeigneten entsprechenden Technologien beizumessen.

Artikel 20 - Erstellung harmonisierter Datengrundlagen

- (1) Die Vertragsparteien kommen überein, im Rahmen des Beobachtungs- und Informationssystems der Alpen vergleichbare Datengrundlagen (Bodenparameter, Probenahme, Analytik, Auswertung) und die Möglichkeit des Datenaustauschs zu schaffen.
- (2) Die Vertragsparteien verständigen sich über vorrangig zu untersuchende bodengefährdende Stoffe und streben vergleichbare Bewertungsmaßstäbe an.
- (3) Die Vertragsparteien streben an, den Zustand der Böden im Alpenraum unter Berücksichtigung der geologischen und hydrogeologischen Situation nach gleichen Bewertungsgrundlagen und harmonisierten Methoden repräsentativ zu erfassen.

Artikel 21 - Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen und Koordinierung der Umweltbeobachtung

- (1) Die Vertragsparteien verpflichten sich, für den Alpenraum Dauerbeobachtungsflächen (Monitoring) einzurichten und in ein alpenweites Netz zur Bodenbeobachtung zu integrieren.
- (2) Die Vertragsparteien vereinbaren, ihre nationale Bodenbeobachtung mit den Umweltbeobachtungseinrichtungen in den Bereichen Luft, Wasser, Flora und Fauna zu koordinieren.
- (3) Im Rahmen dieser Untersuchungen werden die Vertragsparteien nach vergleichbaren Vorgaben Bodenprobenbanken aufbauen.

- Verstärkte Aktivitäten zur Vernetzung der Messprogramme untereinander zur Steigerung der Effizienz:
 - Einbindung vorhandener Messstandorte der Boden-Dauerbeobachtung und der landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche in die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft („Intelligente Stichprobe“)
 - Erhebung vergleichbarer Daten für gleiche Messgrößen durch Entwicklung von Methoden zur Übertragung und/oder methodische Abstimmung (z.B. Intensiv-BDF und ICP Level II-Standorte)
 - Ermittlung der Schnittstellen von BDF, ICP Level I/BZE Wald, ICP Level II, LWF zu Forschungsvorhaben wie TERENO und Nutzung von Intensiv-

Forschungsansätzen und der Infrastruktur aufwändiger, prozessorientierter Studien durch Formulierung und Kommunikation von: a) Anforderungen der Forschung an behördliche Überwachungsprogramme wie z.B. Parameterbedarf für Modelle sowie b) Anforderungen der behördlichen Überwachung an die Forschung wie z.B. Weiterentwicklung von Umrechnungsfunktionen, Analyse- und Auswertungsverfahren

- Rechtliche Regelungen für den ressortübergreifenden Datenaustausch zur Förderung der Transparenz (z.B. zwischen Umwelt- und Landwirtschaftsressort)
- verstärkte ressortübergreifende Zusammenarbeit der Bereiche: Umwelt, Landwirtschaft, Forsten, Wirtschaft, Finanzen von Bund und Ländern, Fachämtern etc. unter der Koordination des Bundes; Benennung einer koordinierenden Institution; Einrichtung eines ständigen messnetz- und forschungsprojektübergreifenden Koordinierungsgremiums; Arbeitsgruppen für relevante Fragestellungen; Fortführung und z.T. Intensivierung bestehender programm-interner Gremien.
- verantwortliche Akteure: Bund, Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer, universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen
- **Aktivitäten zur Förderung der Nutzung von Bodendaten in Wissenschaft und Verwaltung**, z.B. vermehrte und regelmäßige Veröffentlichung aufbereiteter Daten und Ergebnisse (z.B. insbesondere bodenzoologischer Daten aus der Boden-Dauerbeobachtung, landwirtschaftliche Dauerfeldversuche)
- Optimierung der Untersuchungskonzepte und Auswerteverfahren:
 - Systematische, messnetzübergreifende Untersuchung der Kosten der Messprogramme zur Steigerung der Transparenz, zur Beurteilung von Einsparpotenzialen und eines ggf. künftig entstehenden Mehraufwandes, der dann mit dem Zugewinn an Aussagekraft der Datensätze in Beziehung gesetzt werden kann.
 - Orientierung an der Methodik bestehender Untersuchungen bei Neuaufnahme oder Ergänzung von Monitoring- und Erhebungsaktivitäten, möglichst auch im internationalen Rahmen, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

- Überprüfung und Anpassung von Parameterumfang, Messintervallen und -intensität an themenspezifischen Anforderungen (vgl. Tab. 2 und Tab. 9) unter Berücksichtigung der Kosteneffizienz.
 - Harmonisierung der Probenahmeverfahren, insbesondere hinsichtlich der Überwachung von C und N (Trennung Humusaufgabe von Mineralboden, Entnahmetiefen).
 - Vereinheitlichung der methodischen Umsetzung des Messprogramms auf den vorhandenen BDF-Flächen insbesondere im Bereich Bodenbiologie und Bodenphysik: Vereinbarung standardisierter Mess-/ Bestimmungsverfahren.
 - Entwicklung von validierten und nachvollziehbaren Methoden zur Übertragung von Aussagen in die Fläche über die Verknüpfung von Messdaten mit flächenhaft dokumentierten Bodeneigenschaften für die Freisetzung von Klimagasen aus Böden sowie für mikrobiologische und zoologische Daten.
 - Länder- und/oder messnetzübergreifende Zusammenführung von Messdaten für Auswertungen, um auf eine Vereinheitlichung der heterogenen Datenpools hinzuwirken und wissenschaftliche und wirtschaftliche Synergieeffekte zu erzielen.
- verantwortliche Akteure: Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer; Bund (Koordination)
- Optimierung von Dokumentation und Datenhaltung
 - Verbindliche Vereinbarung der Anwendung eines Methoden-Codes bzw. der Anwendung eines durch Übersetzungsschlüssel kompatiblen Dokumentationssystems zur Vereinheitlichung der Methodendokumentation mit dem Ziel, einen Austausch vergleichbarer Daten zu ermöglichen
 - Verbindliche Vereinbarung einer einheitlichen Metadatenerfassung und Aktivitäten zur Verbesserung des Zugangs zu Bodendaten (s. Kap. 4.2)
- verantwortliche Akteure: Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer; Bund (Koordination)

- **Integration der Daten und Messergebnisse in Forschungsaktivitäten**, indem jedes Forschungsprojekt (BMU, BMBF, DFG) bestehende Messstandorte / Beobachtungsprogramme in den Forschungsansatz einbeziehen muss.
 → verantwortliche Akteure: Ausschreibende Institutionen von BMU, BMBF, DFG, Netzwerk Bodenwissenschaften bei acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften)
- **Berücksichtigung der laufenden Aktivitäten der EU (JRC)**, um künftig eine Nutzung von Daten auf allen Ebenen zu ermöglichen.
 → verantwortliche Akteure: Bund (z.B. BGR, UBA, VTI)

Für eine erfolgreiche und effiziente Nutzung von Bodendaten ist eine **finanziell angemessene Ausstattung** der entsprechenden Forschungs- und Transferaktivitäten erforderlich, z. B. Co-Finanzierung durch Bund, EU u. a.

Themenspezifische Handlungsempfehlungen

Um die vorangehend beschriebene Strategie je nach Fragestellung zu konkretisieren, sind themenspezifische Empfehlungen in Tabelle 9 aufgeführt.

Tab. 9: Themenspezifische Empfehlungen für die Anpassung der Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung an Anforderungen der Klimafolgenforschung und Anpassung

Thema	Empfehlungen zur Anpassung von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung
Nichtstofflicher Bodenzustand (Erosion, Verdichtung)	▪ Monitoring von Erosion in ausgewählten Agrarregionen unter Berücksichtigung von Klima, Geomorphologie, Boden auf verschiedener Skalenebene von Plot bis EZG unter der Gewährleistung einer Mindestlaufzeit von 20 bis 30 Jahren. ▪ Daten können so für Prozessstudien, Validierung, Anpassung oder Neuentwicklung von Erosionsmodellen und Bewertungsmethoden auf Plot- (Einzelhang-) bzw. Einzugsgebietsebene sowie zur Beobachtung von Veränderungen des Erosionsgeschehens (durch Klima, Bewirtschaftung oder deren Wechselwirkung) genutzt werden. Schwerpunkt soll dabei die agrarische Landnutzung sein. Das Verfahren soll wie folgt aufgebaut werden: - o Messung des Abtrages auf Einzugsgebiets-Ebene - o Erfassung des Abtrages auf Schlag- (Plot-)ebene auf ausgewählter Anzahl an Schlägen - o Periodische Messung über ¹³⁷Cs über längere Zeiträume. - o Gleichzeitige Erfassung von Landnutzung, Klima, Abfluss und anderen relevanten Daten

Thema	Empfehlungen zur Anpassung von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung
	0 ▪ In Bezug auf Bodenverdichtung sind keine Anpassungen erforderlich.
Bodenwasserhaushalt	▪ Langfristige und zeitlich hochauflösende Messung von bodenhydrologischen Kenngrößen mit einheitlichen Methoden an allen Standorten der Intensiv-BDF, sofern dies nicht bereits erfolgt (Mindestparameterumfang und Frequenzen siehe Tab. 2). ▪ Abschätzung der Wasserhaushaltssituation wie im Rahmen der BZE II vorgesehen, z.B. auf der Grundlage von einfachen, vorliegenden modellierten Klimadaten und unter zusätzlichem Einsatz entsprechender Wasserhaushaltsmodelle. ▪ Kopplung der Erhebung von Bodenfeuchtedaten mit anderen Fragestellungen (Synergieeffekte), z.B. Programme zu Empfehlungen der Befahrbarkeit von landwirtschaftlichen Nutzflächen. ▪ Verwendung vorliegender Datensammlungen, die kurze Zeiträume abdecken (z.B. BIOSOIL Demonstration Project) als Ergänzung und zur Ergebnisvalidierung der Auswertung langjähriger Zeitreihen. ▪ Berücksichtigung der 500 Messstellen des DWD und regionaler Monitoring-Programme der Bodenfeuchte bei Auswertungen zu Auswirkungen des Klimawandels. ▪ Zukünftige neue Messungen von Parametern des Bodenwasserhaushaltes sollten sich im Umfang und Intervall / Zeitpunkt mindestens an bestehenden Untersuchungsprogrammen orientieren, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen (z.B. Ausrichtung auf die Messzeitpunkte assoziierter Niederschlagsmessungen).
Stoffhaushalt, stoffliche Bodenbelastung	▪ Erhebung sensibler Parameter zur Untersuchung der Veränderungen der OBS. Diese sollten in der Lage sein, saisonale Änderungen/Einflüsse (z.B. Bewirtschaftungs- und/oder Klimaänderungen) treffgenau und möglichst zeitnah abzubilden. Integration unterschiedlich stabiler C-Fractionen der OBS in zukünftige regelmäßig durchzuführende Messprogramme ▪ Eindeutige Definition der Datenanforderungen an OBS-Modelle für das Monitoring, einschließlich einer geeigneten Parametrisierung. ▪ Anpassung der Beprobungsintervalle, um die zeitliche Stoffdynamik (z.B. Saisonalitäten) adäquat zu detektieren, Bewertung der ökologischen Wirksamkeit, der zeitlichen und räumlichen Auflösung. ▪ Verfügbarmachung von mindestens regionenspezifischen Informationen aus der VDLUFA-Düngeempfehlung. ▪ Detaillierte Erfassung der chemischen Zusammensetzung des Niederschlags sowie des Staubniederschlags. ▪ Überprüfung der erfassten Parameter hinsichtlich organischer Schadstoffe (insbes. Biozide). ▪ Detaillierte Dokumentation der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung. ▪ Einführung kürzerer Messabschnitte auch zu unterschiedlichen Jahreszeiten an ausgewählten Standorten, um den zeitlichen Trend und Extremjahre besser erfassen zu können. ▪ Integration mobiler Fraktionen von Spurenmetallen in das Basis-BDF Messprogramm (z.B. NH_4NO_3-Extraktion), sofern nicht bereits enthalten. ▪ Wiederholte Untersuchungen mit gleichem Erhebungsraster und vergleichbaren Methoden zur Erfassung der Veränderungen im Bodenzustand. ▪ Messung der Ausgasung schädlicher Stoffe auf repräsentativen, ausgewählten Standorten unter Berücksichtigung der zeitlichen Dynamik. ▪ Einbeziehung der Unterböden bei Beprobung, Analyse, Interpretation und Bewertung. ▪ Berücksichtigung der Sonderrolle besonders sensibel reagierender Organoböden (Moore, Auenböden).

Thema	Empfehlungen zur Anpassung von Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung
Bodenmikrobiologie	▪ Bundesweite Messung und Ableitung von mikrobiellen Kenngrößen (vgl. Tab. 2) ▪ Verkürzung der Messabschnitte für mikrobiologische Kennwerte insbesondere bei Intensiv-BDF (aber auch bei Basis-BDF wünschenswert), um saisonale Entwicklungen erfassen zu können ▪ Fortsetzung, Intensivierung und Erweiterung der bodenmikrobiologischen Erhebungen auf bereits untersuchten BDF, da nur über Zeitreihen Veränderungstendenzen diagnostizierbar sind.
Bodenzoologie	▪ Erfassung der Regenwürmer und einer Gruppe der Mesofauna auf BDF <u>aller</u> Bundesländer (vgl. Tab. 2). ▪ Fortsetzung der bodenzoologischen Untersuchungen auf bereits untersuchten BDF. ▪ Anpassung der Messhäufigkeit für Gefügeparameter, Lagerungsdichte, Porengrößenverteilung und Humusform sowie bei der Erfassung Grundwasserflurabstand auf grundwasserbeeinflussten Standorten. ▪ Anpassung der Dokumentation des Grundwassermanagements für drainierte Standorte und der Dokumentation der Bewirtschaftungsmaßnahmen (vgl. Tab. 2). ▪ Messung der Bodentemperatur auf ausgewählten Intensiv-BDF-Standorten in Kombination mit bodenbiologischen Untersuchungen.
Klimarelevante Gase	▪ Etablierung und Instrumentierung von etwa 10 bis 15 (ICP Level-II / Intensiv-BDF) ausgewählten, regional repräsentativen Standorten zur kontinuierlichen Messung der Spurengasdynamik unter Berücksichtigung bereits etablierter Standorte (Niedersachsen, Hochschulen, außeruniversitäre Forschung) im Rahmen einer komplementären Strategie. ▪ Direktmessung der Spurengasfreisetzung von relevanten Bodengesellschaften und Landnutzungstypen. ▪ Modelluntersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf die Spurengasemission unter Nutzung von validierten Modellen.
Landnutzung	▪ Konsequente Integration bestehender bzw. Etablierung neuer landwirtschaftlicher Dauerfeldversuche zur langfristigen Untersuchungen komplexer Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungssystemen und Bewirtschaftungsintensität in repräsentativen Agrarregionen.

Verknüpfung und interdisziplinärer Einsatz von Daten

Möglichkeiten für eine Kombination von Daten aus Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung bestehen z.B. in Bezug auf Messdaten zur Ausgasung von Schadstoffen und Emissionen klimarelevanter Gase (ggf. gleiche Probenahmetechnik). Weiterhin bestehen Zusammenhänge hinsichtlich der maßgeblichen Steuergrößen für Veränderungen des Bodenzustands. So sind die direkten Messgrößen für den Bodenwasserhaushalt gleichzeitig maßgebliche Steuergrößen für Stoffhaushalt und biologische Aktivität im Boden. Humus und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) sind einerseits direkte Messgrößen für Veränderungen des Kohlenstoffvorrats von Böden und andererseits entscheidende Steuergrößen für den Stoffhaushalt und die biologische Aktivität.

Für eine gemeinsame Verwendung von Daten aus unterschiedlichen Messprogrammen, ist die Einrichtung von Datenschnittstellen erforderlich.

Forschungsbedarf

Vertiefende Untersuchungen sind erforderlich, um Defizite bzgl. der Datenauswertung und –verknüpfung auszuräumen. Empfohlen werden Vergleichsstudien für unterschiedliche Untersuchungsverfahren, um eine Vereinheitlichung von (programminternen) Messdaten und damit Auswertungen größerer, messnetz- und/oder länderübergreifender Datenbestände zu ermöglichen. Um Erkenntnisse zu den Wirkungen des Klimawandels auf den Bodenzustand zu gewinnen, können fragestellungsbezogene, länderübergreifende Datenauswertungen dienen. Hierfür sind unterschiedliche Daten räumlicher und vor allem zeitlicher Ausprägung erforderlich. Im ersten Schritt sollte im Wesentlichen mit den bereits erhobenen und digital verfügbaren Daten gearbeitet werden (Flächen- und Punktdaten). Hierbei kann festgestellt werden, ob die vorhandenen Daten in ausreichender Qualität und Quantität vorliegen. Gleichzeitig können auf diese Weise auch potentielle Schwächen des Datensatzes identifiziert und behoben werden.

Weiterhin besteht vertiefender Forschungsbedarf und Bedarf für Datenauswertungen zur Klärung themenspezifischer Fragen zu Änderungen des Bodenzustands aufgrund veränderter Klimabedingungen (vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Themenspezifische Empfehlungen für vertiefende Untersuchungen / Forschungsbedarf

Thema	Empfehlungen für vertiefende Untersuchungen
Nichtstofflicher Bodenzustand (Erosion, Verdichtung)	▪ Abschätzungen der durch Bodenerosion eingetragenen Sedimente in Fließgewässern sind für unterschiedliche Nutzer relevant, z.B. die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Das heißt diesbezügliche Daten liegen an unterschiedlichen Stellen ggf. schon vor, oder werden nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund der zu erwartenden Klimaänderungen zukünftig vermehrt erhoben. Zu prüfen wäre daher, inwieweit in einem ressortübergreifenden Ansatz entsprechende Synergien genutzt werden können. Denkbar wäre ein gestuftes Verfahren: a) Identifikation potenziell gefährdeter Gebiete als Ergebnis einer Modellierung potenzieller Erosionsgefährdung auf kleiner Maßstabsebene (bundesweit – Maßstab 1 : 1.000.000), b) Modellierung der landnutzungsabhängigen (aktuelle) Erosionsdisposition auf regionaler Maßstabsebene (z.B. 1 : 200.000), c) Definition geeigneter Einzugsgebiete (Größe, Landnutzung , ggf. Forschungsbedarf) und Zeitreihen, d) Messung von Sedimentfrachten; parallel intensive Beobachtung des Erosionsgeschehens zur Ermittlung von Sediment-Liefer-Verhältnissen

Thema	Empfehlungen für vertiefende Untersuchungen
Bodenwasserhaushalt	▪ Erstellung von Wasserhaushaltsmodellen zum Einfluss von erforderlichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Bewässerung) im Hinblick auf die Nutzungskonkurrenz von Wässern bei steigenden Temperaturen ▪ Nutzung von Bodenwasserhaushaltsmodellen zur gezielten Beratung im Bereich der landwirtschaftlichen Flächennutzung (z.B. Zeitpunkt der Bearbeitung, Anpassung der Kulturpflanzen) ▪ Identifikation von hydromorphen Böden, die aufgrund von klimatischen Veränderungen trocken fallen können und somit entscheidende Veränderungen bezüglich des Stoffhaushaltes (z.B. Methanbildung beim Trockenfallen von Mooren) erfahren können.
Stoffhaushalt, stoffliche Bodenbelastung	▪ Einbeziehung von Unterböden in Modelle ▪ Messung der Ausgasung von Schadstoffen ▪ Verknüpfung von Stoffhaushalt- und Erosionsmodellen vor allem für landwirtschaftliche Flächen ▪ Intensivierung von Untersuchungen der klimasensibleren Bodenlösung
Bodenmikrobiologie	▪ Erfassung von Veränderungen der mikrobiellen Bodenlebensgemeinschaft
Bodenzoologie	▪ Einfluss von Bewirtschaftung und Nutzungsänderungen auf die Bodenlebensgemeinschaft, auch im Hinblick auf Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. ▪ Zusammenhang zwischen mittlerem Grundwasserstand und dem Vorkommen tiefgrabender Regenwürmer (oder allgemein zwischen einem geeigneten Parameter der Bodenfeuchte und der Bodenlebensgemeinschaft). ▪ Zusammenhänge zwischen bodenphysikalischen Faktoren (Gefüge, Porenvolumen, Porengrößenverteilung) und Bodenlebensgemeinschaft im Hinblick auf Verdichtung, Versickerung, Verschlammung und Erosionsneigung. ▪ Weiterentwicklung des Expertenwissens zu Referenzwerten für die untersuchten Tiergruppen für alle Naturräume Deutschlands ▪ Auswertung vorhandener Daten zu relevanten Tiergruppen auf europäischer Ebene, um klimawandelbedingte Veränderungen von Struktur und Funktion der Bodenlebensgemeinschaft besser bewerten und abschätzen zu können.
Klimarelevante Gase	▪ Direktmessung der Spurengasfreisetzung von Mooren unter Acker, Forst, auf renaturierten Standorten u.a. auch nach Abtorfung (mit zeitlicher Dynamik) ▪ Regionalisierung der Messwerte: Parametrisierung der wesentlichen Steuerungsgrößen in Abhängigkeit flächendeckend digital verfügbarer Daten bzw. unter Nutzung der Fernerkundung ▪ Konzeptionelle Versuche zur Auswirkung von Klimawandel auf Spurengasemissionen in Form eines multifaktoriellen Designs ▪ Langzeitwirkungen atmogener N-Deposition auf ökosystemare C- und N-Umsetzungen mit besonderer Berücksichtigung der C-N-Interaktionen in Böden bei Klimawandel (Stabilität der C_{org}-/N_{org}-Fraktionen in Böden) ▪ Entwicklung und Förderung klimaschonender Verfahren der Moornutzung (Erlen-, Schilf-, Sphagnenkultur) und Modelluntersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf die Torfakkumulation ▪ Direktmessung der Spurengasfreisetzung und Kohlenstoffbilanzen für hydromorphe Böden unter Grünland und nach Grünlandumbruch unter Berücksichtigung von Entwässerungsmaßnahmen ▪ Innovative, schnell durchführbare Bestimmung der verschiedenen C-Fraktionen in Böden (z.B. Infrarotmethoden)

4.2 Umsetzungskonzept für die Bereitstellung und effiziente Nutzung von Bodendaten

Auf dem Weg hin zu einer vernetzten Bereitstellung und effizienten Nutzung von Bodendaten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung stehen Aufgaben im Bereich der Metadatenbereitstellung und Messdatenbereitstellung an (s. Kap. 3).

Die Qualität der künftigen Recherchemöglichkeiten, der Zugriffsmöglichkeiten und der Verwertbarkeit klimarelevanter Bodenmessdaten hängt **aus technischer Sicht** vor allem ab von

- der Qualität der Metadatendokumentation im Sinne des Verwendungszweckes,
- der Verfügbarkeit einheitlicher Standards zur Dokumentation der Daten (Metadaten-profil),
- der Verfügbarkeit von Datenportalen bzw. Datendiensten, die bodenkundliche Messdaten als standardkonforme Dienste bereitstellen und schließlich
- der Verfügbarkeit einer einheitlichen Datenkodierung (bodenkundliches Applikationsschema).

Hinzu kommen **organisatorische und rechtliche Aspekte** im Hinblick auf die Bereitschaft, Daten unter bestimmten Bedingungen (Nutzungsvereinbarungen, Urheberrechte, Datensicherheit etc.) publik zu machen. Diese Bereitschaft muss gefördert werden, indem mit den potenziellen Datenprovidern in weiteren gemeinsamen Gesprächen die Notwendigkeit und der Nutzen einer Datenbereitstellung einerseits und einer gemeinsam vereinbarten Standardisierung andererseits diskutiert werden. Das vorliegende Umsetzungskonzept thematisiert daher neben der Koordinierung gemeinsam abgestimmter Aktivitäten die Erarbeitung eines Metadatenprofils und die Bereitstellung von Metadaten sowie die Bereitstellung von bodenkundlichen Messdaten.

Grundsätze des Umsetzungskonzeptes

Das Umsetzungskonzept geht von einer schrittweisen und iterativen Umsetzung aus, die regelmäßig – anhand der eigenen Ergebnisse sowie der Entwicklungen in den Infrastruktur- und Forschungsprojekten – nachjustiert wird. Der Konkretisierungsgrad der Vorschläge nimmt daher mit jedem Schritt ab.

Das Umsetzungskonzept geht davon aus, dass für die Verbesserung der Datenverfügbarkeit Internettechnologien eingesetzt werden. Dabei spielt es in der Regel keine wesentliche Rolle, wo funktionale Komponenten realisiert werden. Dies betrifft einfache Webauftritte, Portale, aber auch Dienste. Wer die Komponenten federführend erstellt und über welche Adressen sie erreicht werden können, ist nicht Gegenstand des Umsetzungskonzeptes, sondern wird gemeinsam zwischen den beteiligten Akteuren zu besprechen sein.

Schritt 1: Erste Schritte zur Kooperation und Erstellen von Metadaten (ca. 2011)

- Die Akteure und Datenhalter auf Bundesebene arbeiten eine gemeinsame Position aus, wie die vorgelegten Vorschläge innerhalb eines „Fachnetzwerkes Boden“ umgesetzt werden können. Es gilt dabei die einzelnen Ressorts (BMU, BMWi, BMELV, BMVBS) für die gemeinsame Sache, Bodendaten effizient zu vernetzen, im Sinne der Vorgaben und Anforderungen zu gewinnen. Auch die Teilnahme von Vertretern der Länder, aus Bund-Länder-Arbeitsgremien sowie eine Vernetzung mit BMBF/TERENO wird hier als sinnvoll erachtet.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene, d.h. UBA, BGR, vTi, DWD; zuständige Ministerien

- In einem solchen Fachnetzwerk Boden wird unter Berücksichtigung der Interessen der Datenbesitzer/-provider diskutiert,
 - welche Daten relevant sind,
 - welche Daten bereitgestellt werden können und sollen, bzw. es wird festgehalten, welche Daten ohnehin schon – z.B. im Rahmen von INSPIRE – bereitgestellt werden,
 - welche Metainformationen für eine zielgerichtete Recherche nach relevanten Bodendaten erforderlich sind und
 - welche Portale und Infrastrukturen genutzt werden sollen.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene, d.h. UBA, BGR, vTi, DWD

- Die Entwicklung in den parallel laufenden Infrastrukturprojekten (v.a. PortalU, GDI-DE, GS SOIL) und Standardisierungsgremien (v.a. INSPIRE, ISO, OGC) wird beobachtet und validiert.

→ verantwortliche Akteure: zu benennende Akteure aus dem Fachnetzwerk Boden

- Es wird ein Metadatenkatalog für die Daten aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung auf Basis eines auf Bund-/Länderebene abgestimmten Metadatenprofils (in Anlehnung an das vorgeschlagene BOKLIM-Metadatenprofil) erstellt. Die Erfassung erfolgt nach Möglichkeit und nach Abstimmung zwischen den Akteuren in PortalU / InGrid.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene und in den Ländern

- Falls erforderlich wird mit der PortalU-Koordinierungsstelle über Anpassungsmöglichkeiten des Katalogs bzw. der Portalformulare verhandelt.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene; Service-/Portaldienstleister

- Die Ersterfassung der Metadaten erfolgt in Abstimmung mit den Datenprovidern zentral durch einen Dienstleister für die im Kapitel 3 gelisteten Datenbestände, um die Eintrittsschwelle niedrig zu halten (Aufwand) und von Beginn an eine gewisse Einheitlichkeit zu erreichen. Die Dokumentation wird auf der Ebene der – in sich – einheitlich strukturierten Datenbestände vorgenommen, die künftig als ein Datendienst vorstellbar sind, also z.B. ICP Forest Level II auf Bundesebene, Intensiv-BDF auf Länderebene, sofern die Datenbesitzer einverstanden sind. Die erhobenen Metadaten werden durch die Datenbesitzer qualitätsgeprüft und zur Publikation im PortalU-Metadatenkatalog freigegeben und später weitergepflegt (gemäß INSPIRE-Vorgaben).

→ verantwortliche Akteure: Dienstleister, Akteure und Datenhalter auf Bundesebene sowie in den Ländern; Forschungseinrichtungen

- Für die Recherche kann je nach Anforderungen oder Wunsch der beteiligten Akteure PortalU selbst genutzt oder ein eigenes Rechercheformular/-portal aufgebaut werden, das die zur Verfügung stehende PortalU-Schnittstelle nutzt, um Suchab-

fragen zu formulieren. Ein eigenes Bodendaten-Rechercheportal hätte den Vorteil, in einer umgebenden Dachinternetseite die potenziellen Nutzer direkt anzusprechen und gezielt auf die Anwendungsbereiche der Daten aufmerksam machen zu können. Ein spezifisch entwickelter Recherche-Client könnte sinnvolle und mögliche Suchparameter und -kombinationen komfortabel bereitstellen, so dass sehr viel zielgerichteter recherchiert werden kann als in PortalU selbst (z.B. Wo liegen Messdaten zu bestimmten Parametern im Boden vor?). Es sollte durch das Fachnetzwerk Boden entschieden werden, welche Variante zu realisieren ist.

→ verantwortliche Akteure: Fachnetzwerk Boden; potenzielle Datennutzer aus der Klimaforschung und ggf. weiteren Anwendungsbereichen (Definition der Suchkriterien); Service-/Portaldienstleister

- Bekanntgabe der zentralen Adressen zur Recherche auf einschlägigen Webseiten und Portalen, damit die Einstiegsseite über eine einfache Suche in gängigen Suchmaschinen gefunden wird.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene sowie in den Ländern; Forschungseinrichtungen

Varianten und Erläuterungen:

Für die Metadatenerfassung wird zunächst PortalU verwendet. Die Beschränkungen im Datenmodell werden in diesem Kontext geprüft. Gegebenenfalls wird ein erweiterter Katalog vorgeschlagen, der näher an den Anforderungen von künftigen INSPIRE-Spezifikationen ist (z.B. erweiterte Möglichkeiten v.a. im Bereich der parameterspezifischen Kriteriendokumentation – innerhalb oder außerhalb von Portal U).

In Schritt 1 wird auch geprüft, ob geeignete Portale aus anderen Kontexten bestehen, die für weitere Realisierungsschritte zu betrachten sind.

Ergebnis von Schritt 1:

Interessierte Nutzer finden mit einer Standardsuchmaschine im Internet (z.B. Google) schnell das Portal zur Recherche von Bodendaten: direkt (im Fall eines eigenen Portals) oder indirekt über die qualifizierten Links auf einschlägigen Webseiten (z.B. im Fall von PortalU).

Bei der Suche nach relevanten Bodendaten ist es möglich, spezifische Kriterien festzulegen, um hinreichend genaue Treffer zu bekommen. Bei der Festlegung der relevanten Kriterien sind die potenziellen Nutzer aus der Klimaforschung und ggf. weiterer Anwendungsbereiche zu Rate zu ziehen.

Die Recherche liefert also eine Trefferliste mit geeigneten ausführlichen Metadaten, mit der der Nutzer für seine jeweilige Fragestellung beurteilen kann, ob die gelisteten Bodendaten (hier sind nicht nur die klimarelevanten Bodendaten gemeint) für ihn tatsächlich von Interesse sind. Die Metadaten enthalten einen kompetenten Ansprechpartner, der dem Nutzer Rede und Antwort stehen kann, und ggf. weiterführende Links zu Online-Ressourcen u.a. Schließlich kann der potenzielle Nutzer die Daten, nachdem er ihre prinzipielle Eignung geprüft hat, bei Bedarf anfordern. Damit werden die im Fokus des BOKLIM-Vorhabens stehenden Datenbestände aus Bodenmonitoring und Bodenzustandserhebung für Nutzer in der Klimasystem-, Klimafolgen- und -anpassungsforschung erschlossen. Gleichzeitig bieten sich Recherchiermöglichkeiten für Datennutzer anderer Anwendungsbereiche (z.B. Bodenschutz, Biodiversitätsstrategie).

Schritt 2: Feinkonzept zur Realisierung der Dateninfrastruktur für Messdaten und initiale Realisierungsschritte erster Dienste (ca. 2012)

- Bei der Realisierung der weiteren Umsetzungsschritte ist es wichtig, die Ergebnisse der aktuell laufenden Projekte und Prozesse (INSPIRE, GDI-DE, OGC/ISO, GS SOIL, PortalU, Fachinformationssysteme des Bundes und der Länder) zu analysieren und in den Umsetzungsprozess einzubringen. Das Fachnetzwerk Boden wirkt weiterhin maßgeblich mit.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene, d.h. UBA, BGR, vTi, DWD

- Ziel der Umsetzungsphase ist die Erarbeitung eines Feinkonzepts zur Realisierung der Dateninfrastruktur für Messdaten. Dieses Konzept schlägt vor, welche (ggf. bereits in anderen Portalen bestehenden) Komponenten verwendet werden können, welche Komponenten angepasst oder neu entwickelt werden müssen (z.B. das Eingangsportal) und wie Schnittstellen für dezentrale Dienste ausgestaltet werden. Technische und fachliche Spezifikationen werden bis zur Implementierungsgenau-

igkeit konkretisiert. Eine mögliche Architektur ist im Zukunftsszenario beschrieben (s. Kap. 3).

Es wird ein Fachschema auf der Basis der vorliegenden bodenfachlichen und technischen Spezifikationen definiert oder ggf. nur festgelegt, auf das die Datenprovider die bestehenden Datenbestände ausrichten können.

→ verantwortliche Akteure: Akteure und Datenhalter auf Bundesebene, d.h. UBA, BGR, vTi, DWD sowie in den Ländern

- Bestehende und neu entstehende Web-Daten-Ressourcen werden sukzessive über die Metadaten auffindbar und, nachdem alle Nutzungsbedingungen geklärt sind, auch nutzbar gemacht.

→ verantwortliche Akteure: Datenhalter auf Bundesebene sowie in den Ländern; Forschungseinrichtungen

- Den Beteiligten kommt weiterhin die Aufgabe zu, den Prozess hin zu einer komponentenbasierten Bodendateninfrastruktur – und sei es auch nur als Teil einer bestehenden übergeordneten Dateninfrastruktur – mitzugestalten.

→ verantwortliche Akteure: Datenbesitzer, Datenprovider, zuständige Behörden, potenzielle Datennutzer, Service-/Portaldienstleister

Mögliche Varianten und Erläuterungen:

Mögliche Varianten hängen an den Zwischenergebnissen aus der Akteurskoordination, der Recherche nach geeigneten Portalen und den Ergebnissen der Fachspezifikationen. Schon jetzt absehbar sind folgende größere Varianten:

- A. Entwicklung eines Fachportals, das vertikal und horizontal hoch vernetzt konzipiert ist und so wenig wie möglich selbst implementiert. Damit ist Folgendes gemeint: Das Fachportal erschließt über eine eigene Benutzeroberfläche (Client), das bestehende Suchdienste nutzt, Daten aus mehreren kaskadierend vernetzten Metadaten-Katalogen. Das Portal stellt die entsprechenden Metadaten und womöglich auch entsprechende Web Map Services für die Geoobjekte/Erhebungsstellen in den einzelnen Datensammlungen graphisch dar. Hierdurch kann zu den Einzelobjekten navigiert werden, um die entsprechenden Metadaten und ggf. auch die Einzeldaten zu den Geoobjekten einzusehen.

Dienste sind online zugreifbar, soweit man dafür – falls notwendig – autorisiert ist. Datendienste sind standardisiert interoperabel. Sie werden i.d.R. nicht vom Fachportal unterhalten, sondern von den Datenprovidern. Für alle Datenprovider, die dazu nicht imstande sind, besteht innerhalb des Fachportals oder in einer dritten Dateninfrastruktur eine alternative Möglichkeit, eigene Datendienste bereitzustellen und einzubinden.

- B. Man beschränkt sich auf die Entwicklung eines Systems, das **nur bestehende, ggf. auch heterogene Datendienste erntet** (z.B. aus bBIS, ICP Forest etc.), da die Entwicklung interoperabler, einheitlicher Datenbereitstellungsdienste nicht geeignet ist (aufwändig, es besteht kein Konsens etc.). Voraussetzung wäre, dass ein Zugriff auf die Daten möglich ist. Unter Umständen erfüllen die Daten-systeme auch keine einheitlichen Fachmodelle.
- C. Es werden zunächst eine **Recherchemöglichkeit und eine Linkliste** realisiert: Gegebenenfalls zeigen die Metadatenätze zunächst auch gar nicht auf Datendienste, sondern auf Links innerhalb oder außerhalb des Fachportals mit weiteren Informationen. Weitere Ausbauschritte sind zu einem späteren Zeitpunkt immer noch möglich.

Weitere Untervarianten könnten sein, dass eine spezifische Metadatenkatalogerweiterung erforderlich ist, um die BOKLIM-spezifischen Metadatendetails exakt abzubilden. Diese Details werden mit dem PortalU-Metadatenatz kombiniert, um den Rechercheanforderungen zu genügen.

Schritt 3: Realisierung und Inbetriebnahme einer Dateninfrastruktur mit interoperablen Diensten (ca. 2013-2014)

- Die Realisierung kann schrittweise für unterschiedliche Varianten (s. Schritt 2) erfolgen.
→ verantwortliche Akteure: Service-/Portaldienstleister, Datenprovider
- Die Datendienste werden sukzessive entwickelt, an die Dateninfrastruktur angebunden und bereitgestellt.
→ verantwortliche Akteure: Datenprovider

Zusammenfassende Darstellung der Aufgaben von Datenbesitzern und Datenprovidern

Der Erfolg der Umsetzung des Konzepts zur effizienten Datenbereitstellung und -nutzung hängt entscheidend von der Mitwirkung der Datenbesitzer und Datenprovider ab. Folgende Leistungen wären im Rahmen des Umsetzungskonzepts für die Datenbesitzer und Datenprovider zu erbringen:

- Freigabe der von BOKLIM identifizierten Bodendatensammlungen zur Weiterverwendung durch Dritte (gemäß festzulegender Nutzungsvereinbarungen)
- weitergehende Analyse bestehender Datensammlungen und Metadaten hinsichtlich ihrer Relevanz für boden- und klimarelevante Fragestellungen und Konformität zu den vorgelegten Empfehlungen
- Identifizierung weiterer – aus Sicht der Datenprovider – relevanter Datensammlungen
- Pflege (ggf. auch selbst Ersterfassung) der BOKLIM- und INSPIRE-konformen Metadaten
- abschließende Aufbereitung der relevanten Datensammlungen gemäß der in Schritt 2 definierten Datenmodelle/Schemata
- Implementierung der entsprechenden Datendienste (technisch und organisatorisch) zur interoperablen Bereitstellung der Daten und Anmeldung an den relevanten Katalogdiensten

4.3 Information und Kommunikation

Die Daten der Bodenzustandserhebung und des Bodenmonitoring leisten einen wichtigen fachlichen Beitrag für Bewertungs- und Planungsfragen unterschiedlicher Ressorts und Fachbereiche. Ebenso liefern sie fachliche Grundlagen für die Bearbeitung aktueller umweltpolitischer Themen wie Klimaanpassung, Reduzierung des Flächenverbrauchs, Nachhaltigkeitsstrategie und Biodiversitätsstrategie (siehe Kap. 2.4.3). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Anwendungspotenziale der Bodendaten für interessierte Nutzer bekannter zu machen und bei Bedarf Daten oder Erkenntnisse zur Verfügung zu stellen.

Bund-/Länder-Gremien

UMK, AMK, MKRO, ...
BLAG KliNa, LABO (LAI, LAWA, LAGA, LANA, BLAC, LAG)

Forschungsverbünde

KLIMZUG
Klimazwei

Universitäten

Klimatologie / Meteorologie
Agrar- und Forstwissenschaften
Bodenwissenschaften

Bundesministerien

BMU
BMELV
BMBF
BMWi

Fachbehörden

UBA
vTI
BGR
DWD

Forschungseinrichtungen

MPI
PIK
ZALF
UFZ

Akteure**Landesämter**

Umwelt/Verbraucherschutz
Landwirtschaft
Forsten
Geologie

Landesministerien

Umwelt-/Verbraucherschutz
Landwirtschaft
Wirtschaft

Interessensvertreter

Naturschutz- und Umweltverbände
Dt. Meteorologische Gesellschaft
Landwirtschaftsverbände
Wasserverbände

Regional- und Kommunalbehörden**Ingenieur- und Planungsbüros**

Abb. 5: Akteure Datengewinnung und -nutzung

Der Erfolg für einen verstärkten Einsatz Bodenmonitoring- und Bodenzustandsdaten in der Klimafolgen- und Klimaanpassungsforschung hängt entscheidend von der Mitgestaltung und Vernetzung der beteiligten Institutionen und Akteure auf Seiten der Datenerhebung, -haltung und -nutzung ab (vgl. Abb. 5). Die Erfahrungen aus der Bearbeitung des BOKLIM-Vorhabens haben bestätigt, dass eine intensive Informations- und Kommunikationsarbeit unerlässlich ist, um verschiedenen Zielgruppen die auf ihre jeweiligen Bedürfnisse zugeschnittenen Informationen und Beteiligungsmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen. So kann ein konstruktiver Umgang mit Zielkonflikten und gegensätzlichen Interessen (siehe Tab. 11) gefördert werden.

Tab. 11: Beispiel für Zielkonflikt

Interesse A		Interesse B
Länder- und ressortübergreifend abgestimmte Untersuchungsstrategie bei Bodenmonitoring und –erhebung mit Nutzung von Synergieeffekten	↔	Landesspezifisch angepasstes Untersuchungskonzept mit Ausrichtung auf spezifische Fragestellungen und historisch bedingten methodischen Besonderheiten
<u>Akteure:</u> Institutionen Bundesebene (z.B. UBA, BGR, vTI)		<u>Akteure:</u> Datenerheber (z.B. Landesamt)

Künftig gilt es, die vorhandenen Forschungs- und Verwaltungsgremien zu nutzen und einen langfristig fortlaufenden Prozess zu initiieren. Die Koordination dieses Informations- und Kommunikationsprozesses sollte zentral durch eine Institution auf Bundesebene durchgeführt werden, die ressortübergreifend arbeitet und alle Kooperationspartner (z.B. UBA, BGR, vTI) einbindet.

Empfohlen wird die Umsetzung eines Informations- und Kommunikationspakets mit folgenden Bausteinen:

- **Benennung eines Koordinators und Ansprechpartners sowie Einrichtung eines ständigen Koordinierungsgremiums** für messprogramm- und ressortübergreifende Vernetzung bei der Erhebung, Bereitstellung und Nutzung von Bodendaten nach Möglichkeit mit rechtlicher Verankerung („Fachnetzwerk Boden“ mit der Aufgabe einer zielgerichteten und zielgruppenorientierten Vermarktung von Daten und Forschungsergebnissen bei Entscheidungsträgern und Datennutzern und einer ressortübergreifenden Koordination). Empfehlungen zur rechtlichen Verankerung der Koordination können z.B. in ressortübergreifende Bund/Länder-Arbeitsgruppen eingebracht werden.
 → verantwortliche Akteure: Bund (Koordination), Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer, Ressortforschungseinrichtungen
- **Einrichtung und Betrieb einer übergreifenden Informationsplattform („Dach-Internetseite“) für Bodendaten in Deutschland** mit gebündelten messprogramm- und ressortübergreifenden Angaben zum Angebot, Nutzen und Auffinden von Bodendaten für Anwendungen des Bodenschutzes, der Klimasystem- und Klimafolgenforschung, der Land- und Forstwirtschaft (z.B. Verweise auf Angebote der Länder und PortalU); Verknüpfung mit dem Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass). Als Grundlage können Inhalte der vorhabensbezogenen Internetseite www.boklim.de genutzt werden. Das Duplizieren von Inhalten anderer Angebote z.B. der Länder sollte vermieden werden; vielmehr soll der Zugang von Datennutzern zu Metadaten und Ansprechpartnern durch strukturierte Verweise erleichtert werden. Die Informationsplattform kann genutzt werden, um auf die Verwendung einheitlicher Begrifflichkeiten, z.B. für Parameter, hinzuwirken und zielgruppenorientierte Informationen anzubieten. Sie

kann weiterhin genutzt werden, um die in Bund und Ländern vorliegenden Bodendaten und –karten und die benötigten Methoden zur Regionalisierung und/oder zum Up- und Downscaling besser bekannt und verfügbar zu machen.

→ verantwortliche Akteure: Bund

- Einrichtung und Betrieb einer Metadatenplattform für Bodendaten in Deutschland unter Nutzung von bestehenden Systemen wie PortalU (vgl. Kap. 4.2)

→ verantwortliche Akteure: Bund (Koordination), Erhebende Institutionen von Bodendaten

- Fortschreibung der Broschüre „Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland – Bodendaten für Fragen zu Klimawandel, Klimafolgen und Anpassung“, um – ergänzend zu digitalen Metadaten – einen Überblick über die vorhandenen Daten zu geben und in gut handhabbarer, gedruckter Form bereitzustellen. Ein Entwurf der Broschüre vom 31.8.2009 liegt aus dem BOKLIM-Vorhaben vor und sollte z.B. auf Basis der Beiträge der Teilnehmer des BOKLIM-Workshops aktualisiert werden. Eine langfristige Fortschreibung – z.B. in Form einer Losen-Blatt-Sammlung – ist sinnvoll, um die Angaben bei Änderungen z.B. der Messstandorte oder der gemessenen Parameter, stets aktuell zu halten. Dazu gehört auch eine regelmäßige Fortschreibung der Liste der „Themenkarten des Bundes und der Länder“ (LABO-BOVA 2006).

→ verantwortliche Akteure: Bund (Koordination), Erhebende Institutionen von Bodendaten

- **Aufwertung und Bekanntmachung von repräsentativen Messstandorten durch ein Zertifikat z.B. als „Klimafolgen-Messstation“** im Sinne von Best-Practice-Beispielen für die Erhebung, Nutzung und Verfügbarmachung von Ergebnissen aus Messungen. Es kann eine Wertsteigerung der gemessenen Bodendaten erreicht werden, indem an ausgewählten Stationen der direkte Nutzen von Messdaten für die Nationale Anpassungsstrategie veranschaulicht und der Öffentlichkeit und politischen Entscheidungsträgern vermittelt wird.

→ verantwortliche Akteure: Bund (Koordination), Betreiber der Messprogramme

- **Regelmäßige Durchführung von Informationsveranstaltungen** für Erheber, Halter und (potenzielle) Nutzer von Bodendaten zur öffentlichen Vorstellung, Diskussion und Weiterentwicklung der Datenerhebung und gewonnenen Erkenntnisse aus Erhebung und Monitoring (möglichst jährlich). Besonderer Bedarf besteht für einen verstärkten Austausch der datenerhebenden und koordinierenden Stellen mit den Akteuren der atmosphärischen Klimaforschung, um deren Anforderungen an Bodendaten und deren Verfügbarmachung gerecht werden zu können. Hiermit kann eine deutliche Wertsteigerung von Bodendaten erreicht werden. Es wird empfohlen, die Informationsveranstaltungen an konkreten Themen und an den Bedürfnissen der Zielgruppen auszurichten (z.B. Welche Bodendaten sind zur Verbesserung von Klimamodellen geeignet? Was wissen wir aus Bodenmonitoring und Erhebung über Veränderungen des Kohlenstoffstatus in Böden? Wie können Wasserhaushaltsmodelle für die Klimafolgenabschätzung verbessert werden? In welchem Verhältnis stehen Kosten und Nutzen bei Monitoring und Erhebung? etc.). Eine aufeinander aufbauende Veranstaltungsreihe mit den jeweils zu beteiligenden Zielgruppen sollte im Rahmen eines Konzepts konkretisiert werden.
 → verantwortliche Akteure: Bund (Koordination), Umwelt-, Forst-, Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer, Ressortforschungseinrichtungen
- **Ständige Einrichtung von Fachausschüssen zur Förderung der bestehenden messprogrammspezifischen** Abstimmungsprozesse durch Bund-/Länder-Arbeitsgruppen (insbes. für die Boden-Dauerbeobachtung und landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche).
 → verantwortliche Akteure: Bund/Länder
- **Regelmäßige Durchführung von ressortübergreifenden Arbeitsgesprächen** mit beteiligten Behörden und bei Bedarf mit externer z.B. wissenschaftlicher Beratung. Ziel der Arbeitsgespräche ist die Bearbeitung konkreter Aufgabenstellungen zur Weiterentwicklung der Datenerhebung, -auswertung und -bereitstellung (z.B. für Themen wie rechtliche Verankerung von Datenerhebung und -austausch, Kosteneffizienz von Monitoring und Erhebungen, Harmonisierung von Untersuchungsstrategien und -verfahren, Monitoringstrategie für Bodenerosion und klimarelevante Gase).

5 FAZIT UND AUSBLICK

Die Eignung von Bodendaten aus den wichtigsten bundesweit und dauerhaft betriebenen Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung für die Klimaforschung wurde im BOKLIM-Vorhaben erstmals messnetz- und themenübergreifend bewertet. Im Fokus standen dabei Fragestellungen zur Veränderungen des Bodenzustands aufgrund von erwarteten Klimaänderungen, die im Rahmen der Anpassungsstrategie der Bundesregierung an den Klimawandel thematisiert werden.

Die Ergebnisse des Vorhabens machen deutlich, dass langfristig Messdaten zum Bodenzustand erhoben und vorgehalten werden müssen, um frühzeitig Veränderungen und Beeinträchtigungen des Bodenzustands und der Bodenfunktionen zu erkennen, entsprechend erforderliche Anpassungsmaßnahmen einleiten zu können sowie die Möglichkeiten für eine Erfolgskontrolle der Maßnahmen zu haben.

Es wird der Nachweis erbracht, dass die Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung eine Vielzahl wertvoller Daten zur Beurteilung der Wirkungen von Klimaänderungen auf Böden liefern. Je nach Fragestellung und den sich daraus ergebenden Anforderungen eignen sich die Daten 1) für die langfristige Überwachung von Änderungen des Bodenzustands, 2) für Prozessstudien und vertiefende Messungen an repräsentativen Standorten z.B. auch zur Kalibrierung und Validierung von Prognosemodellen sowie 3) für den Einsatz in Modellszenarien zu Veränderungen des Bodenzustands. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag für die langfristigen Arbeiten des Bundes und der Länder zur Klimaanpassung. Die Daten der Bodenzustandserhebung und des Bodenmonitoring sind darüber hinaus ein wichtiger Baustein für Planungsfragen unterschiedlicher Ressorts und Fachbereiche (Umwelt, Land- und Forstwirtschaft, Bodenschutz, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz, Energie, Raumplanung). Ebenso sind sie wertvoll als fachliche Grundlagen für die Bearbeitung aktueller umweltpolitischer Themen wie Reduzierung des Flächenverbrauchs, Nachhaltigkeitsstrategie und Biodiversitätsstrategie.

Um das Potenzial der Daten für Fragen von Klimawandel und Anpassung in vollem Umfang nutzen zu können, ist es jedoch notwendig, dass die Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung mit Ausrichtung auf konkrete Fragestellungen weiter angepasst und modifiziert werden. Nur so können sie den Anforderungen

im Hinblick auf Datenqualität, -belastbarkeit, -vollständigkeit (Parameterspektrum und Messhäufigkeit) sowie Flächen- und Nutzungsrepräsentanz gerecht werden. Hierzu hat die ARGE BOKLIM konkrete Handlungsempfehlungen wie z.B. zur Erweiterung des Parameterspektrums formuliert. Diese sind den jeweils zuständigen Institutionen und Akteuren zugeordnet. Weiterhin wird der Forschungsbedarf aufgezeigt.

Unter dem Aspekt der Kosteneffizienz sollte die Zusammenarbeit zwischen den Datenbereitstellern und den Datennutzern verbessert und Synergiepotenziale genutzt werden. Zu ersten Vernetzungen der beteiligten Institutionen und Akteure führte die Präsentation und Diskussion von BOKLIM auf diversen Veranstaltungen (z.B. KomPass-Workshop, KBU-Veranstaltung am Tag des Bodens 2010). Die intensive Informations- und Kommunikationsarbeit im BOKLIM-Vorhaben leistete insgesamt einen Beitrag zum Wissenstransfer für die Datenbereitsteller, der Datennutzer und der Entscheidungsträger einerseits und das Kennenlernen der Vorstellungen der Zielgruppen andererseits. Die datenführenden Institutionen wurden als Anlaufstellen in Sachen Bodendaten besser bekannt und es wurde Feedback zu Bewertungen und Empfehlungen eingeholt. Diese Arbeit gilt es fortzusetzen bzw. zu intensivieren. Der vorliegende Bericht enthält Empfehlungen, wie z.B. die Einrichtung eines ständigen Koordinierungsgremiums, und Maßnahmen, die die Vernetzung weiter ausbauen und vertiefen.

Darüber hinaus liegt ein Konzept zur effizienten Bereitstellung und -nutzung von Bodendaten vor. Das Projekt liefert wichtige konzeptionelle Ansätze zur künftigen Vernetzung von Bodendaten auf Bundes- und Länderebene. Es werden Möglichkeiten für konkrete erste Arbeitsschritte und langfristige Perspektiven aufgezeigt, die sich an den rechtlichen Anforderungen der INSPIRE-Richtlinie und des Geodatenzugangsgesetzes, den aktuellen technischen Anforderungen und Standards sowie organisatorischen Randbedingungen orientieren. Die Empfehlungen zur Datenbereitstellung decken Anforderungen klimarelevanter Fragen ab, enthalten jedoch viele themenunabhängige Aspekte, die z.B. für den Bodenschutz oder die Biodiversitätsstrategie aufgegriffen werden können. Im Rahmen eines Fachnetzwerkes Boden, das sich aus Vertretern der beteiligten Ressorts (BMU, BMWi, BMELV, BMVBS) zusammensetzt, sollten weitere Schritte ins Leben gerufen, konkretisiert und in die Umsetzung gebracht werden.

Die Handlungsempfehlungen sollten in einem nächsten Schritt durch die zuständigen Behörden priorisiert und konkretisiert werden. Ohne eine Umsetzung dieser Schritte ist nicht sichergestellt, dass künftig die erforderlichen belastbaren und auswertbaren Daten für die Fragen von Klimawandel und Anpassung zur Verfügung stehen.

Durch eine Integration der Messnetze Boden-Dauerbeobachtung, ICP Forest Level I / Bodenzustandserhebung Wald, ICP Forest Level II, Bodenzustandserhebung Landwirtschaft für die Klimaberichterstattung und Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche in die zu bearbeiteten Fachthemen sowie durch eine Vernetzung klima-, boden- und bewirtschaftungsrelevanter langfristiger Prozessstudien von Universitäten und Forschungseinrichtungen können die Anforderungen der Klimafolgenforschung im Bereich der Wirkungs- und Prozesskontrolle erfüllt werden.

Mit den Ergebnissen des BOKLIM-Vorhabens wird der Weg hin zu einem verstärkten Einsatz von Bodendaten in der Klimafolgen- und -anpassungsforschung, einer hinreichenden Vernetzung der Instrumente von Bodenzustandserhebung und Bodenmonitoring und einem besseren Datenzugang aufgezeigt. Wichtige Teilziele, wie die Bereitstellung von konkreten Handlungsempfehlungen und Informationsangeboten zu Bodendaten sowie die Bildung erster Netzwerke wurden erreicht. Um die mit dem Vorhaben angestrebten Ziele langfristig zu erreichen, ist der Weg konsequent weiterzuverfolgen. Aus der Umsetzung der Handlungsempfehlungen ergibt sich folgender Nutzen:

- Steigerung der Nachfrage nach Boden(überwachungs)daten und daraus ableitbaren Aussagen und damit Wertsteigerung von Messprogrammen;
- Herstellung neuer Kommunikationswege und -verbünde zwischen verschiedenen Instituten und Ressorts (Netzwerk-Bildung);
- Erhöhung der Akzeptanz von Erhebungs- und Monitoringaktivitäten sowie Bodenkartierungen;
- Synergieeffekte durch die Bündelung von Überwachungsaktivitäten;
- Erleichterung der Datenvernetzung auf nationaler und europäischer Ebene;

Erhöhung der Aussagekraft von Klimamodellen oder von in der Klimafolgen- und -anpassungsforschung eingesetzten Wasserhaushalts- oder Stoffflussmodellen durch die Bereitstellung hochwertiger Eingangs- oder Validierungsdaten.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) für das Schutzgut Boden sind belastbare Daten und zuverlässige Zeitreihen über die langfristigen Veränderungen des Bodenzustands und der Bodenfunktionen erforderlich. Die Instrumente des Bodenmonitoring und der Erfassung des Bodenzustands stellen dabei unerlässliche Datengrundlagen dar. In Deutschland bestehen dauerhaft eingerichtete Monitoringprogramme mit repräsentativen Standorten und es finden regelmäßig rasterbasierte Erhebungen des Bodenzustands statt. Die Programme arbeiten in unterschiedlichem Maß nach zwischen den Beteiligten abgestimmten Grundsätzen. Informationen über Bodendaten sind gegenwärtig uneinheitlich und liegen verteilt an vielen Stellen vor, d.h. insbesondere hinsichtlich der Bereitstellung von (Meta-)Daten besteht ein Verbesserungspotenzial. Im BOKLIM-Vorhaben wurde die Eignung von Bodendaten aus den wichtigsten bundesweit und dauerhaft betriebenen Programmen des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung für die Klimaforschung erstmals messnetzübergreifend bewertet. Im Fokus standen dabei Fragestellungen zu Veränderungen des Bodenzustands aufgrund von Klimaänderungen. Demnach liefern die Programme eine Vielzahl wertvoller Daten zur Beurteilung der Wirkungen von Klimaänderungen auf Böden. Je nach Fragestellung und den sich daraus ergebenden Anforderungen eignen sich die Daten

- 1) für die langfristige Überwachung von Änderungen des Bodenzustands,
- 2) für Prozessstudien und vertiefende Messungen an repräsentativen Standorten z.B. auch zur Kalibrierung und Validierung von Prognosemodellen sowie
- 3) für den Einsatz in Modellszenarien zu Veränderungen des Bodenzustands.

Allerdings ist es notwendig, die Programme des Bodenmonitoring und der Bodenzustandserhebung mit Ausrichtung auf konkrete Fragestellungen zu koordinieren und an bestimmten Stellen anzupassen, um deren Potenzial für Fragen von Klimawandel und Anpassung nutzen zu können. Neben der Bewertung der Bodendaten liegt ein erstes Konzept zur effizienten Datenbereitstellung und -nutzung vor. Empfehlungen für nächste Schritte zur Koordinierung und Optimierung künftiger Mess- und Erhebungsaktivitäten werden den jeweils zuständigen Institutionen und Akteuren zugeordnet; Forschungsbedarf wird aufgezeigt. Die Empfehlungen sind auf klimarelevante Fragen

ausgerichtet, enthalten jedoch auch viele themenunabhängige Aspekte, die z.B. für den Bodenschutz oder die Biodiversitätsstrategie aufgegriffen werden können.

7 SUMMARY

The German Strategy for Adaptation to Climate Change was adopted in 2008. The implementation of the strategy requires reliable data and time series on the long-term changes in soil condition and soil functions. Soil monitoring and soil survey are essential data bases for this purpose. In Germany there are permanently established monitoring programmes with representative locations and repeated soil surveys based on a regular grid of sites. The different programmes vary in respect to harmonization regarding agreed principles between the participating institutions. Information on soil measuring data is currently heterogeneous and distributed at many locations. Particularly the provision of (meta-)data should be improved. Here you can find the exceptional quality of BOKLIM. It evaluates the suitability of soil data for climate research across the different measuring programmes in Germany. The most important nation-wide and permanently operating programmes of soil monitoring and soil survey were taken into account. The main aspects were the changes in soil condition due to climate change. As a result, the programmes provide a variety of valuable data to assess the effects of climate change on soils. Depending on the problem and the resulting requirements, the data are suitable 1) for the long-term monitoring of changes in soil condition, 2) for detailed process studies and measurements at representative locations, e.g. for the calibration and validation of predictive models, and 3) for use in model scenarios predicting changes in soil condition. However, it is necessary to coordinate the programmes of soil monitoring and soil survey with the focus on precise questions. The programmes have to be optimized at certain points to improve for issues of climate change and adaptation. In addition to the evaluation of soil data, a first concept for an efficient data provision and data use was created. Recommendations for next steps to coordinate and optimize future monitoring and survey activities and for data provision are advised to the relevant competent institutions and actors. Further research needs were identified. The recommendations aim at improving the interaction between climate change and soil conditions. They can also be taken up for other research fields such as soil protection aspects or biodiversity strategy aspects.

8 LITERATUR

1. Ad-hoc-AG Boden Methodendokumentation Bodenkunde – Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Geologisches Jahrbuch Sonderhefte, Heft SG 1. Hannover 2000.

2. ahu AG Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden in Deutschland - Bodendaten für Fragen zu Klimawandel, Klimafolgen und Anpassung. 31. August 2009. Entwurf

3. BAFU – Bundesamt für Umwelt, Schweiz: FAQ: Häufig gestellte Fragen zur Bodenbeobachtung.
http://www.bafu.admin.ch/boden/00972/04883/index.html?lang=de#sprungmarke0_37 (2007):

4. BBodSchG Bundes-Bodenschutzgesetz Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten, vom 17. März 1998, BGBl. I S. 502, zuletzt geändert am 9. Dezember 2004, BGBl. I S. 3214.

5. BioSt-NachV Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung vom 23. Juli 2009 (BGBl. I S. 2174).

6. BOVA Redaktionsgruppe Boden-Dauerbeobachtung als eine Grundlage für den vorsorgenden Bodenschutz. Stand: 03.06.2008, unveröffentlichter Entwurf (2008)

7. BOVA Redaktionsgruppe Konzeption zur länderübergreifenden Bearbeitung der Thematik "Veränderung der Humusgehalte / Klimawandel" im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung". Stand: 10.02.2010, unveröffentlichter Entwurf (2010)

8. Deutsche Bundesregierung Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen.
<http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>

9. DirektZahlVerpflG Direktzahlungen-Verpflichtungengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. April 2010 (BGBl. I S. 588)

10. DirektZahlVerpflV Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 4. November 2004 (BGBl. I S. 2778), die zuletzt durch die Verordnung vom 20. April 2010 geändert worden ist

11. EC Verordnung (EG) Nr. 1205/2008 der Kommission vom 3. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Metadaten.

12. EC JRC INSPIRE Metadata Implementing Rules: Technical Guidelines based on EN ISO 19115 and EN ISO 19119 (2009)

13. Groh Bodenabtrag durch Wassererosion in Folge von Klimaveränderungen: Bodenschutz im Klimawandel – KLIWA – Forschungsvorhaben Baden-Württemberg (2009)

14. Hennings, V. Erosionsgefährdung ackerbaulich genutzter Böden durch Wasser (Karte im Maßstab 1:2.750.000). In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Bd. 2: Relief, Boden und Wasser. Inst. f. Länderkunde [Hrsg.]. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg – Berlin (2003)

15. Kemfert, C. Der Mensch beeinflusst das Klima – was muss er dafür bezahlen?: Die ökonomischen Kosten des Klimawandels. In: Hiller, B & Lange, M.A. (Hrsg.): Globale Umweltveränderungen und Wetterextreme – was kostet der Wandel? Münster : Zentrum für Umweltforschung, S. 125-133 (2007)

16. LBEG – Landesamt für Auswirkungen des Klimawandels auf Böden in Niedersachsen. LBEG Bericht Klimawandel; Hannover (2009)
 Bergbau, Energie und Geologie

- | | | |
|-----|---|--|
| 17. | LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie | Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsentwicklung in Sachsen. Abschätzung der Klimafolgen auf den Wasserhaushalt der Böden Sachsens (2009) |
| 18. | MLUV – Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg | Maßnahmenkatalog zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Ref. Presse- und Öffentlichkeitsarbeit; Potsdam (2008) |
| 19. | MLU - Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt | Entwurf der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel. Magdeburg (2009) |
| 20. | MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein – Westfalen | Anpassung an den Klimawandel – Eine Strategie für Nordrhein – Westfalen. Referat Öffentlichkeitsarbeit; Düsseldorf (2009) |
| 21. | Nitsche | Bodenbearbeitung und Humushaushalt von Ackerflächen im Hinblick auf den Klimawandel in Sachsen (2009) |
| 22. | Richter, A., Adler. Gert H., Fahrak, M & W. Eckelmann | Erläuterungen zur nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1000000 (BÜK 1000 N, Version 2.3), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover (2007) |
| 23. | FFH-Richtlinie | Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21.05.1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, zuletzt geändert durch Richtlinie 97/62/EG des Rates vom 27.10.1997 |

- | | |
|--|---|
| 24. Wasserrahmenrichtlinie
WRRL | Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, L 327, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 22. Dezember 2000 |
| 25. SMUL - Sächsisches
Staatsministerium für
Umwelt und Landwirt-
schaft | Klimawandel und Landwirtschaft – Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung; Dresden (2009) |
| 26. Spatz, P. | Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Boden-Dauerbeobachtung. In: ubatexte 22/01. Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin (2001) |
| 27. TMLNU - Thüringer Minis-
terium für Landwirtschaft,
Naturschutz und Umwelt | gemeinsam Klimabewusst handeln – Thüringer Klima- und Anpassungsprogramm.Referat Presse, Öffentlichkeitsarbeit; Erfurt (2009) |
| 28. Umweltbundesamt | Themenblatt Anpassung an Klimaänderung in Deutschland – Landwirtschaft 12/2008 (2008) |
| 29. VwV Datenaustausch | Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich (1994) |