

LABO-Positionspapier

- Klimawandel -

Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes

Zusammenfassung

Böden spielen eine zentrale Rolle im Klimageschehen. Einerseits sind sie unmittelbar von künftigen Klimaänderungen betroffen. Andererseits haben Eingriffe und klimabedingte Veränderungen der Bodeneigenschaften Auswirkungen auf das Klima. In diesem Kontext sieht die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) die folgende Betroffenheit des Bodenschutzes, aus der sich nachstehend aufgeführte Positionen und Handlungsempfehlungen ergeben:

Betroffenheit

Zwischen Boden und Klima bestehen komplexe Wechselwirkungen mit teilweise sich verstärkenden Rückkopplungseffekten. So findet zwischen Böden und Atmosphäre der Austausch klimarelevanter Gase (CO₂, N₂O und CH₄) statt. Eine Schlüsselfunktion kommt den Böden bei der Speicherung von Kohlenstoff zu (Senkenfunktion), wobei die von Böden gespeicherten C-Mengen je Flächeneinheit in der Reihenfolge Moore >> semiterrestrische Böden (Gleye, Marschen, Auenböden) > terrestrische Böden abnehmen. Den größten Einfluss auf die C-Vorräte der Böden hat die Landnutzung (Wald ≈ Grünland >> Ackerland). Darüber hinaus hat die Bodenbewirtschaftung einen deutlichen Einfluss auf die C-Gehalte und -Vorräte im Boden.

Auswirkungen des Klimawandels sind auf die natürlichen Bodenfunktionen sowie auf die Funktion der Böden als Standort der Land- und Forstwirtschaft zu erwarten. Die möglichen Bodenfunktionsbeeinträchtigung stehen dabei insbesondere im Zusammenhang mit

- (I) dem Risiko von abnehmenden Humusgehalten und -vorräten,*
- (II) einer zunehmenden potenziellen Wasser- und Winderosionsgefährdung,*
- (III) eines zunehmenden Risikos von Bodenschadverdichtungen sowie*
- (IV) Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes.*

Dabei ist davon auszugehen, dass Klimaänderungen und Auswirkungen auf Bodenfunktionen regional und lokal differenziert in Erscheinung treten und entsprechend zu bewerten sind.

Positionen und Handlungserfordernisse

- *Boden- und Klimaschutz sind untrennbar miteinander verbunden: Der Boden ist vom Klimawandel betroffen und Bodenschutz kann und muss auch Teil der Lösung des Klimaproblems sein. Diese Rolle des Bodens im Kontext der Diskussionen zum Klimawandel ist der breiten Bevölkerung, aber auch vielen Entscheidungsträgern (noch) nicht oder nicht hinreichend bewusst. Daher gilt es, die Rolle der Böden im und für den Klimawandel und dessen Folgen stärker hervorzuheben und hinreichend verständlich darzustellen. Damit kann auch ein wichtiger Beitrag zu einem insgesamt verbesserten Bodenbewusstsein erzielt bzw. können diesem neue Impulse verliehen werden.*
- *Zu besorgen ist, dass der Nutzungsdruck auf die Böden weiter zunehmen wird. Gründe sind die von den zu erwartenden globalen wie auch regionalen Klimaänderungen verursachten Beeinträchtigungen und Verluste von Böden sowie die Nutzungs- und Versorgungsansprüche einer wachsenden Bevölkerung. Dadurch dürften sowohl Handlungserfordernisse aber auch Interessenkonflikte weiter zunehmen, wobei letztere die Umsetzung von erforderlichen Schutzmaßnahmen erschweren. Klimaschutzpolitik muss daher die Belange des Bodenschutzes frühzeitig und umfassend einbeziehen und in ihre Handlungsfelder integrieren.*
- *Ein entscheidender Beitrag sowohl zum Klimaschutz als auch zum Bodenschutz besteht darin, die C-Senkenfunktion der Böden so weit wie möglich zu erhalten, wieder herzustellen oder nachhaltig zu verbessern.*

Erforderliche Maßnahmen hierfür sind:

- *Schutz von Böden, insbesondere solchen mit sehr hohem C-Speichervermögen bzw. hohem C-Vorrat vor Überbauung im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren*
- *Reduzierung des Flächenverbrauchs bisher unversiegelter Böden durch verstärkte Innenentwicklung und Brachflächenrecycling;*
- *Rekultivierung und Renaturierung devastierter Flächen*
- *Erhalt, ggf. Mehrung von Wald und Grünland, insbes. Vermeidung von Grünlandumbruch;*
- *Schutz hydromorpher Böden, insbesondere Erhalt und Regeneration von Mooren*
- *nachhaltige Nutzung von Ackerflächen, insbesondere durch: Sicherstellung einer ausgeglichenen Humusbilanz; Vermeidung des Verlustes organischer Substanz infolge von Wasser- und Winderosion; Vermeidung von Bodenschadverdichtungen.*

Die Gehalte an organischer Substanz in Böden werden im Wesentlichen von den standorttypischen Gegebenheiten bestimmt und lassen sich daher nicht einfach

durch Zugabe von organischen Materialien erhöhen. Es bedarf weitergehender Klärung, ob sich Kohlenstoff auch aus Prozessen der pyrolytischen oder hydrothermalen Carbonisierung (Biochar, HTC-„Biokohle“) dauerhaft bzw. langfristig in Böden binden lässt (sowohl hinsichtlich der Wirkungen auf Bodenfunktionen als auch im Hinblick auf mögliche Schadstoffeinträge).

- *BBodSchG u. BBodSchV können in der derzeitigen Ausgestaltung allein keinen hinreichenden Schutz der Bodenfunktionen bzw. Erhalt der C-Senkenfunktion der Böden gewährleisten. Zum Klimaschutz sind keine spezifischen bodenschutzrechtlichen Instrumente vorhanden. Das BBodSchG sollte um die „Klimaschutzfunktion“ der Böden ergänzt werden, auch mit dem Ziel, diesen Belang künftig in Planungs- und Genehmigungsverfahren zu verstärken. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob konkretisierende Anforderungen zu dieser Funktion in der BBodSchV verankert werden können.*
- *Die Grundsätze der guten fachlichen Praxis (gfP) der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind auf der Grundlage einer Bewertung der Auswirkungen von Bewirtschaftungsformen und –maßnahmen auf den Humushaushalt der Böden zu untersetzen. Für den Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung können Agrarumweltmaßnahmen (AUM) ergänzende und grundsätzlich effektive Steuerungsinstrumente zum Erhalt und Verbesserung der C-Senkenfunktion der Böden darstellen. Daher sollten bestehende AUM weiterentwickelt und stärker auf bodenbezogene Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen ausgerichtet werden.*
- *Programme zum Schutz von Hochmooren sollten um Konzepte zur Bestandssicherung und Regeneration von Niedermooren ergänzt werden. Weiterhin sollten alternative Nutzungsverfahren entwickelt werden, die eine Moornutzung ohne dauerhafte Entwässerung erlauben.*
- *Der mit dem Klimawandel regionalspezifisch verbundene Anstieg des potenziellen Risikos von Bodenerosion und Bodenverdichtung erfordert grundsätzlich keine andere Art von Schutzmaßnahmen als die derzeit bereits empfohlenen. Aus Sicht des Bodenschutzes wird auch empfohlen, zur Beurteilung der Entwicklung des Erosionsrisikos und der Effektivität von Maßnahmen gegen Erosion, praxisnahe Erosionsprognosemodelle zu nutzen sowie ein gezieltes Erosionsmonitoring durchzuführen.*
- *Geeignete Anpassungsmaßnahmen müssen sowohl auf regionaler als auch lokaler Ebene getroffen werden. Die Weiterentwicklung und Verfeinerung regionaler Klimamodelle ist daher zur differenzierten Ausweisung der vom Klimawandel betroffenen Gebiete dringend erforderlich. Dabei ist ein ggf. bestehender Bedarf an weiteren Bodeninformationen (Art und Qualität) zu identifizieren und zu konkretisieren.*

- *Die Bodendauerbeobachtung leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimafolgenmonitoring. Daher sollte eine Weiterentwicklung und Abstimmung der Dauerbeobachtungsprogramme im Hinblick auf die Erfordernisse eines auf den Klimawandel bezogenen Bodenmonitorings vorgenommen werden.*

1. Auftrag/Veranlassung

Das Bundeskabinett verabschiedete im Dezember 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Bis April 2011 will die Bundesregierung einen Aktionsplan erarbeiten, der die in der DAS beschriebenen Ziele und Handlungsoptionen konkretisiert.

Ein erster Entwurf des Aktionsplans soll im Spätsommer 2010 vorgelegt werden. Zur Erarbeitung des Aktionsplans plant die Bundesregierung die Zusammenarbeit mit den Ländern zu intensivieren, um eine Koordinierung mit und zwischen den auf Länderebene bereits in Vorbereitung befindlichen Anpassungsstrategien zu erreichen.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat auf ihrer 35. Sitzung am 9./10. März 2009 in Düsseldorf unter TOP 16, Ziffer 3 den BOVA gebeten, ausgehend von der DAS bis zur 38. LABO-VV in einem Positionspapier

- darzulegen, welche Eigenschaften und Funktionen der Böden unter Berücksichtigung regionaler Betroffenheiten voraussichtlich am stärksten vom Klimawandel betroffen werden und
- auf dieser Grundlage die Handlungserfordernisse zum Bodenschutz zusammenzustellen.

Der BOVA hat in seiner 9. Sitzung am 22./23. Juni 2009 in Langenargen unter TOP 4.1.1 eine Redaktionsgruppe „Boden und Klimawandel“ mit der Erstellung dieses Positionspapiers beauftragt.

2. Bedeutung und Betroffenheit durch den Klimawandel

Böden spielen eine essenzielle Rolle im Klimageschehen. Sie werden einerseits unmittelbar von künftigen Klimaänderungen betroffen sein. Andererseits haben anthropogene Eingriffe und/oder klimabedingte Veränderungen der Stoff- und Energieflüsse der Böden Auswirkungen auf das Klima und für den Klimaschutz. Bodenschutz und Klimaschutz sind daher untrennbar miteinander verbunden – Klimaänderungen beeinflussen den Boden, veränderte Bodenverhältnisse beeinflussen das Klima. Der Umgang mit Böden ist daher sowohl Teil des Klimaproblems als auch seiner Lösung.

2.1 Bedeutung des Bodens für das Klima und den Klimaschutz

Böden sind ein wichtiger Bestandteil im globalen Kohlenstoffzyklus. Sie stehen in enger Wechselbeziehung zu den klimarelevanten Gasen CO₂, N₂O und CH₄ und sind in der Lage, große Mengen an Kohlenstoff und Stickstoff zu binden (Senkenfunktion). Böden speichern weltweit ungefähr fünfmal so viel Kohlenstoff wie die oberirdische Biomasse. Die Böden bilden damit nach den Meeren den zweitgrößten Treibhausgasspeicher und binden allein in Europa eine geschätzte Menge von 10 Mrd. t CO₂-Äquivalenten.

Böden können im Klimaregime Mitteleuropas vor allem durch Landnutzungsänderungen und durch eine nicht nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung allerdings auch Quelle für Treibhausgase sein oder infolge von Devastierung und Flächenversiegelung gänzlich ihre Kohlenstoffsinkfunktion verlieren. Moorböden sind dabei „hot spots“, denn das Speicher- und Freisetzungspotenzial aus organischen Böden ist deutlich höher und anhaltender als aus mineralischen. Darüber hinaus sind auch die hydromorphen Mineralböden (durch Grundwasser geprägte Böden: Gleye, Marschen, Aueböden) von besonderer Relevanz.

Bodenzustand als auch Flächennutzung beeinflussen direkt das Rückstrahlungsverhalten in die Atmosphäre. Die Extreme reichen von Kühlungs- und Verdunstungseffekten offener Wasserflächen bis hin zu Hitzestrahlungen versiegelter Flächen.

Funktionsfähige Böden können daher zur Verminderung bestimmter Folgen des Klimawandels beitragen, wie des im Sommer zunehmenden Hitzestaueffekts in urbanen Räumen. Bei Extremniederschlagsereignissen können sie dazu beitragen, die Überlastung von Entwässerungsanlagen und Gewässern sowie Überschwemmungen zu vermeiden. Durch Zurückhaltung von Niederschlagswasser in der Fläche vermindern sie die Auswirkungen veränderter Niederschlagsmengen und jahreszeitlicher Verteilung auf den Wasserhaushalt von Grundwasser und Oberflächengewässern.

2.2 Zu erwartende Klimaänderungen und Betroffenheit des Bodens

Die Ergebnisse der auf der Grundlage verschiedener Klimamodelle erstellten Szenarien in der DAS zu möglichen Klimaänderungen in Deutschland bis zum Jahre 2100 (Vergleichszeitraum 1961-1990) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Relativ rasche Erwärmung und Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 1,5 bis 3,7 °C, wobei sich die Erwärmung saisonal und regional unterschiedlich stark ausgeprägt zeigt: Größter saisonaler und regionaler Temperaturanstieg im Süden und Südosten Deutschlands im Winter; deutliche Abnahme der Tage mit Frost

und Schnee; deutliche Zunahme der Tage mit einer Maximaltemperatur über 30 °C.

- Kein für das gesamte Gebiet Deutschlands eindeutiger Trend für den Gesamtjahresniederschlag; allerdings zeichnet sich eine Umverteilung der Niederschläge innerhalb der Jahreszeiten ab: Die sommerlichen Niederschläge könnten sich um durchschnittlich 30 % verringern, wobei der Niederschlagsrückgang im Nordosten und Süd- und Südwesten Deutschlands am stärksten ausgeprägt wäre; durch die gleichzeitig zu erwartenden steigenden sommerlichen Temperaturen und eine damit einher gehende höhere Verdunstung könnten in Regionen, die heute schon sommerliche Trockenheit erleben (vor allem im Nordosten Deutschlands), Trocken- und Dürreperioden ausgeprägter auftreten. Die winterlichen Niederschläge nehmen insbesondere im Süden und Südwesten zu.
- Zu erwarten ist darüber hinaus eine Zunahme der Häufigkeit und Stärke künftiger Extremwetterereignisse (Starkniederschläge, Stürme, Hitzewellen).

Die zu erwartenden Klimaänderungen können die natürlichen Funktionen des Bodens als

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen (Mobilisierung von Nähr- und Schadstoffen) sowie als
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

beeinflussen oder beeinträchtigen.

Insbesondere über die Beeinflussung des Bodenwasserhaushalts sind Auswirkungen auch auf die Nutzungsfunktionen, vor allem die Funktion als Standort für die Land- und Forstwirtschaft (abnehmende Ertragsicherheit) in Betracht zu ziehen.

Die wesentlichen Auswirkungen der zu erwartenden Klimaänderungen auf die Böden lassen sich wie folgt umreißen, wobei regional differenzierte Aussagen nur insoweit getroffen werden können, als regionale Klimaprojektionen vorliegen.

- **Veränderung des Humushaushaltes**

Hinsichtlich der Änderungen im Vorrat an organischer Substanz in Böden wird in der Fachdiskussion überwiegend der Art der Landnutzung ein größeres Gewicht beigemessen als dem Klimawandel. Landnutzungsänderungen können sich als Folge des Klimawandels oder durch Anpassungsmaßnahmen ergeben.

Der ClimSoil Report vom 16.12.2008 zeigt keinen eindeutig in eine Richtung gehenden Effekt des Klimawandels auf den organischen Kohlenstoffvorrat von mineralischen Böden auf (teilweise sich überlagernde Einflüsse von Temperaturanstieg, erhöhten CO₂-Konzentrationen, veränderten Niederschlags- und Grundwasserverhältnissen). Der Bericht unterstreicht, dass aufgrund der großen Kohlenstoffvorräte in Böden sowie des Ausmaßes der CO₂-Flüsse zwischen Boden und Atmosphäre bereits geringfügige Änderungen im C_{org}-Gehalt der Böden erhebliche Auswirkungen auf das Klima und die Bodenqualität haben.

Von einem möglichen Humusabbau dürften insbesondere Böden in Regionen mit zunehmenden Durchschnittstemperaturen und abnehmenden Niederschlägen bzw. Bodenwassergehalten betroffen sein.

Hoch- und Niedermoore haben diesbezüglich die höchste Empfindlichkeit, da sie einerseits viel Kohlenstoff enthalten, dieser Vorrat andererseits aber nach Entwässerung verstärkt abgebaut wird, was zum Verlust an Bodensubstanz führt. Daraus ergeben sich für den Standort weitere negative Folgen (veränderte Torfeigenschaften, sinkende Geländeoberfläche, zunehmende Staunässe etc.), die auch die landwirtschaftliche Nutzung erschweren können.

Bundesweit trägt die landwirtschaftliche Nutzung organischer Böden mit etwa 3,8 % zu den Gesamtemissionen an Treibhausgasen bei. Damit zählt diese Treibhausgasquelle zu den Hauptquellgruppen nach IPCC, für die es besondere Anforderungen an die Berichterstattung gibt. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Reduzierung dieser Emissionen zu ergreifen.

- **Veränderung des Bodenwasserhaushalts / Stoffhaushalts**

Infolge von wärmeren und trockeneren Sommern sowie feuchteren und milderen Wintern muss mit erhöhten Verdunstungsraten gerechnet werden. Dieses kann zu einer Abnahme der Sickerwasserspense führen (Verringerung des Saldos der klimatischen Wasserbilanz), verbunden mit einer stärkeren Ausnutzung der Bodenwasservorräte bis hin zu einem Mangel an pflanzenverfügbarem Wasser in der Vegetationsperiode (insbesondere bei grundwasserfernen Standorten und/oder Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität).

Mögliche Auswirkungen abnehmender Bodenwassergehalte sowie abnehmender Phasen von Austrocknung und Wiederbefeuchtung sind die Verringerung der Abbauleistung des Bodens. Projizierte höhere Niederschläge im Winterhalbjahr haben weiterhin Konsequenzen für das Infiltrations- und Abflussverhalten der Böden. Eine Erhöhung der Niederschlagsintensitäten kann die Verlagerung von Schadstoffen mit dem Sickerwasser zur Folge haben. Der Meeresspiegelanstieg

wird in den küstennahen Niederungen zu einer Veränderung des Bodenwasserhaushaltes führen.

In Folge der eingangs beschriebenen Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Bodenwasser- und Stoffhaushalt muss mit Konsequenzen für langfristig angelegte Maßnahmen zur Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten bzw. bei Monitored Natural Attenuation (MNA)-Konzepten gerechnet werden. Auch hierzu besteht allerdings noch Forschungsbedarf.

- **Wasser- und Winderosionsgefährdung**

Das Risiko für Bodenabträge ist aufgrund kleinräumig variierender Einflussfaktoren (Niederschlag, Topografie, Bodenstruktur und Bewirtschaftung) sehr unterschiedlich. Durch die projizierte Zunahme der Winterniederschläge und Starkregen ist vor allem in den erosionsgefährdeten Gebieten im Süden und Südwesten Deutschlands mit einem Anstieg der Wassererosion zu rechnen (z. B. bayerisches Tertiärhügelland, Kraichgau, Saar-Nahe-Bergland). Für die Winderosionsgefährdung gilt Gleiches sinngemäß bei Zunahme von Windgeschwindigkeiten und Trockenperioden. Potenziell winderosionsgefährdet sind vor allem Feinsand- sowie trockene Anmoor- und Niedermoorböden im Norden und Nordosten Deutschlands. Darüber hinaus kann durch Änderungen der Landnutzung (z.B. Grünlandumbruch) oder im Pflanzenanbau, bedingt durch veränderte klimatische Bedingungen (z.B. Maisanbau in gefährdeten Lagen), das Erosionsrisiko zunehmen.

- **Verdichtungsgefährdung**

Eine hohe Verdichtungsempfindlichkeit weisen bereits heute die Böden der Küstenregion (Marschen) sowie die Böden der Jungmoränenlandschaften, der Lössgebiete und des Tertiärhügellandes auf. Durch die projizierte Veränderung des Niederschlagsregimes mit Zunahmen der Niederschlagshöhen im Winter und Frühjahr ist insbesondere in diesen Gebieten mit einem regionalen Anstieg des Risikos der Bodenverdichtung bei Bodenbefahrung und -bearbeitung zu rechnen. Zudem kann durch die Abnahme der Frosttage die Auflockerung des Bodens (Bodengare) gemindert werden (z.B. Küstenregionen und Nordwestdeutsches Tiefland).

In Regionen mit projizierten verlängerten Vegetationsperioden ist mit erhöhten Nutzungspotenzialen bis hin zu zwei Ernten zu rechnen. Die mehrfache Bearbeitung im Jahresablauf kann das Verdichtungsrisiko zusätzlich erhöhen.

Neben den landwirtschaftlich genutzten Böden sind insbesondere Waldböden durch Rückarbeiten bei der Holzernte gefährdet.

- **Veränderung der Biodiversität**

Der Klimawandel hat unmittelbaren Einfluss auf die Bodenlebewesen und Mikroorganismen aufgrund der direkten Abhängigkeit der mikrobiellen Aktivität von Temperatur und Feuchtigkeit. Veränderungen der Bodenbiodiversität können Auswirkungen auf die ökosystemaren Funktionen des Bodens zur Folge haben. Mikroorganismen leisten beispielsweise einen entscheidenden Beitrag bei der Nährstoffbereitstellung, den Stoffflüssen und dem Stoffumsatz von Böden. Maßgeblich ist weiterhin ihre Rolle bei der Freisetzung der klimarelevanten Spurengase.

Es besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Biodiversität im Boden und zu den ökologischen Folgen einer Veränderung der Bodenfauna.

3. Handlungsfelder

Die Rolle des Bodens ist im Kontext der Diskussionen zum Klimawandel bei der breiten Bevölkerung, aber auch vielen Entscheidungsträgern (noch) nicht oder nicht hinreichend bewusst. Daher gilt es, die Rolle der Böden im und für den Klimawandel und dessen Folgen stärker hervorzuheben und hinreichend verständlich darzustellen. Damit kann auch ein wichtiger Beitrag zu einem insgesamt verbesserten Bodenbewusstsein erzielt bzw. können diesem neue Impulse verliehen werden.

Durch die sowohl regional wie auch global zu erwartenden, durch den Klimawandel verursachten Beeinträchtigungen bzw. Verluste von Böden (z. B. Versteppung, Bodenabtrag) ist vor dem Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung zu besorgen, dass der Nutzungsdruck auf die verbleibenden Böden, z. B. durch intensive landwirtschaftliche Produktion, weiter zunehmen wird und die durch den Klimawandel bedingten Degradationsprozesse noch verstärkt werden.

Grundsätzlich muss konstatiert werden, dass das bodenschutzrechtliche Instrumentarium zum Schutz der Bodenfunktionen allein nicht ausreicht, sondern ergänzt werden muss. Auch die Regelungen zum Erosions- und Gefügeschutz sowie zur Grünlanderhaltung im Cross-Compliance-System gewähren keinen hinreichenden Schutz. Derzeit stellt die Förderung von Agrarumweltmaßnahmen (AUM) grundsätzlich das effektivste Steuerungsinstrument zum Erhalt der natürlichen Bodenfunktionen dar. Bezogen auf alle oben genannten Risiken ergibt sich folgender allgemeiner Handlungsbedarf:

- Ergänzung der „Klimaschutzfunktion“ der Böden im BBodSchG, auch mit dem Ziel, diesen Belang künftig in Planungs- und Genehmigungsverfahren zu verstärken. Prüfung, ob und inwieweit konkretisierende Anforderungen zu dieser Funkti-

on in der BBodSchV verankert werden können.

- Verstärkte Ausrichtung der Agrarumweltmaßnahmen (AUM) auf bodenbezogene Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen.
- Verbesserter Schutz und Erhalt von Dauergrünlandflächen als CO₂-Speicher durch Aufnahme in entsprechende Handlungs- und Förderprogramme und konsequentere Umsetzung in gesetzlichen Regelungen.
- Konkretisierung und Weiterentwicklung der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung im Sinne des Klimaschutzes und möglicher Klimafolgen. Darauf aufbauend regelmäßige Betrachtung und Bewertung, inwieweit die Grundsätze der guten fachlichen Praxis eingehalten bzw. umgesetzt werden.
- Identifizierung und Bewertung von Böden mit einem wesentlichen Beitrag zur Klimafolgenbewältigung in Städten (Kühlfunktion, Teilnahme am Wasserkreislauf).
- Darüber hinaus dient auch die Reduzierung des Flächenverbrauchs dem Klimaschutz. Durch die Umwandlung bisher unversiegelter Flächen (vor allem mit landwirtschaftlicher Nutzung) in (teil)versiegelte Flächen für Siedlung und Verkehr gehen diese Flächen als Kohlenstoffspeicher und Fläche für die Produktion von Nahrungsmitteln verloren. Eine vorrangige Bepflanzung und Entwicklung von Flächenreserven im Innenbereich kann daher einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung des Biomasseproduktionspotenzials und der Kohlenstoffspeicherfunktion von Böden leisten.

3.1 Humus sowie humusbildende Prozesse

Der Erhalt des Bodenhumus sowie die C-Bindung in Böden stellen sowohl im Hinblick auf den Klima- und Bodenschutz (Vermeidung der Freisetzung klimarelevanter Gase, Erhaltung und Entwicklung der natürlichen Bodenfunktionen) als auch im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel (Wasserspeichervermögen, Erosionswiderstand) die wichtigsten Aufgaben dar.

Die Gehalte an organischer Substanz in Böden werden im Wesentlichen von den standorttypischen Gegebenheiten bestimmt und lassen sich daher nicht einfach durch Zugabe von organischen Materialien erhöhen. Ein Erhalt der Humusgehalte erscheint vor dem Hintergrund des projizierten Klimawandels in bestimmten Regionen nicht oder nur mit einschneidenden und großflächig schwierig zu realisierenden Nutzungsänderungen erreichbar.

Es ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

- Prüfung und ggf. Qualifizierung der für die Humusbilanzierung landwirtschaftlich

genutzter Böden zu verwendenden Reproduktionsfaktoren.

- Bewertung der Auswirkungen von Bewirtschaftungsformen und -maßnahmen auf den Humushaushalt der Böden als Grundlage für die Weiterentwicklung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Prüfung, inwieweit bundeseinheitliche Standards entwickelt und festgelegt werden können.
- Weitergehende Klärung, ob sich Kohlenstoff aus Prozessen der pyrolytischen oder hydrothermalen Carbonisierung (Biochar, HTC-Biokohle) dauerhaft bzw. langfristig in Böden binden lässt (sowohl hinsichtlich der Wirkungen auf Bodenfunktionen als auch im Hinblick auf mögliche Schadstoffeinträge).

Hydromorphe Böden

Insbesondere hydromorphe Böden (Hoch-/Niedermoore und semiterrestrische Böden) sind durch eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Landnutzungsänderungen und Klimawandel gekennzeichnet und bedürfen deshalb gegenüber den übrigen mineralischen Böden ergänzend spezieller Strategien für künftige Nutzungen.

Der beste Schutz für die Kohlenstoffvorräte in hydromorphen Böden ist der Erhalt bzw. die Wiederherstellung eines natürlichen Wasserhaushalts. Daher kommt dem Erhalt und der Regeneration von Mooren eine besondere Bedeutung zu.

Es ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

- Programme zur Bestandssicherung und Regeneration von Mooren mit dem Ziel, die natürlichen Wasserstände zu erhalten bzw. wieder herzustellen.
- Nutzung und Weiterentwicklung bodenbezogener Klimaschutzmaßnahmen, insbesondere der Moorschutzprogramme, im Rahmen der zukünftigen EU – Agrarförderung ab 2014.
- Entwicklung von Verfahren, die alternativ zur derzeitigen auf Entwässerung angewiesenen (landwirtschaftlichen) Nutzung der Moorböden, eine dauerhafte Entwässerung vermeiden, um so zumindest den gespeicherten Kohlenstoff zu konservieren. Angebaut werden könnten moortypische Pflanzen wie Weiden, Erlen, Schilf oder Torfmoose als nachwachsender Rohstoff für die Energie- und Rohstoffwirtschaft.

3.2 Erosion und Verdichtung

Der mit dem Klimawandel regional und standortspezifisch verbundene Anstieg des Risikos von Bodenerosion und Bodenschadverdichtung erfordert grundsätzlich keine neue Art von Schutzmaßnahmen, jedoch ist eine verstärkte Umsetzung bisher empfohlener Maßnahmen erforderlich.

Für die Erarbeitung standort- und nutzungsspezifischer, klimawandelinduzierter Maßnahmen wird darüber hinaus empfohlen:

- Umsetzung eines geeigneten Bewertungs- und Beratungskonzeptes zur bodenschonenden Bewirtschaftung,
- Bewertung und Nutzung praxisnaher Erosionsprognosemodelle zur Beurteilung des potenziellen Erosionsrisikos und der Effektivität von Maßnahmen gegen Erosion mit Blick auf den Klimawandel,
- Aufbau und Etablierung eines gezielten Erosionsmonitorings.

Mittelgebirge und Alpen

Häufigere Frost-/Tau-Wechsel und Starkniederschläge können die Bildung von Murgängen, Hangrutschungen, Felsstürzen und Steinschlägen begünstigen. Das Auftauen von Permafrost reduziert zudem die Hangstabilität. Der auf der X. Konferenz der Alpenkonvention beschlossene Aktionsplan liefert wichtige Hinweise zur Anpassung an den Klimawandel in den Alpen. Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren wie Steinschlag oder Muren stellen beispielsweise dar:

- Förderung der Aufrechterhaltung, Pflege und Bewirtschaftung der Schutzwälder in den durch Naturgefahren bedrohten Gebieten,
- Ausweisung von Gefährdungsbereichen und vorsorgende Raumplanung,
- Entwicklung von Frühwarnsystemen und Überwachung von Hangbewegungen in kritischen Bereichen.

3.3 Verbesserung der CO₂-Bilanz und des Stadtklimas durch Reduzierung des Flächenverbrauchs / Entsiegelung

Durch Flächenneuanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke werden bislang zum überwiegenden Teil vormals unversiegelte Freiflächen (vor allem mit landwirtschaftlicher Nutzung) in (teil)versiegelte Flächen umgewandelt. Im Rahmen von Flächenrecycling, d. h. Wiedernutzung von versiegelten Brachflächen, kann ein Teil dieser Flächen insbesondere in Großstädten entsiegelt und rekultiviert werden, um damit neue Kohlenstoffspeicher zu schaffen und zur Verbesserung des Stadtklimas, insbesondere zur Verminderung von klimawandelbedingt zunehmenden Hitzestaus, beizutragen. Der Erhalt und die Wiederherstellung natürlicher Bodenfunktionen tragen auch dazu bei, Auswirkungen klimawandelbedingter Veränderungen des Niederschlagsregimes auszugleichen.

Es ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

- Lenkung der Siedlungsentwicklung vorrangig auf die Innenentwicklung und Nutzung bereits vorhandener innerörtlicher Potenziale.
- Schutz von Böden, insbesondere solchen mit sehr hohem C-Speichervermögen bzw. hohem C-Vorrat vor Überbauung im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren.
- Förderung von Bodenentsiegelungskonzepten, um das lokale Stadtklima zu verbessern (Städte und Gemeinden).
- Erstellung von Sanierungskonzepten mit Prüfung von Entsiegelungs- und Rekultivierungsmöglichkeiten unter frühzeitiger Einbeziehung von geplanten Nutzungen unter Berücksichtigung von Klimaauswirkungen im verdichteten Innenstadtbereich (Abstimmung zwischen Umwelt- und Planungsbereich).
- Prüfung des Nutzungspotentials von Brachflächen (z. B. Konversionsflächen) für die Erzeugung von erneuerbaren Energien, wie z.B. Photovoltaikanlagen).
- Unterstützung des Flächenrecyclings mit dem Ziel der verstärkten Wiedernutzung von ehemaligen Industrie- und Gewerbeflächen (Brachflächenrecycling und Recycling kontaminierter Flächen) sowie Nutzung von Baulücken und mindergenutzten Flächen.
- Erhalt von Frischluftschneisen bei der Ausweisung von Baugebieten in städtischen Randgebieten, um einen ausreichenden Luftaustausch mit den innerstädtischen Bereichen baulicher Verdichtung zu gewährleisten.

- Erhalt unversiegelter Flächen (insbesondere in den Einzugsgebieten kleinerer Fluss- und Bachläufe) in ihrer Puffer- und Filterfunktion als Retentionsraum und zur Abflussregulierung.

4. Informationsgrundlagen/Bodenmonitoring

Anpassungsstrategien/-maßnahmen an Klimaänderungen setzen die Kenntnis der zu erwartenden Einflüsse auf Bodenfunktionen und deren Gefährdungen voraus. Derartige Vorhersagen basieren auf

- Bodeninformationen,
- Landnutzungsinformationen sowie
- Informationen zu (regionalen) Klimaeinflüssen und -änderungen.

Geeignete Anpassungsmaßnahmen müssen sowohl auf regionaler als auch lokaler Ebene getroffen werden. Globale Klimamodelle sagen aufgrund ihrer geringen Auflösung wenig über die Klimaänderungen auf regionaler Ebene aus. Daher sind aus Sicht des Bodenschutzes zusätzlich regionale Klimaprojektionen unerlässlich. Der hierfür bestehende Bedarf an Bodeninformationen (Art und Qualität) ist zu identifizieren und zu konkretisieren. Boden(Flächen-)Informationen stehen deutschlandweit in unterschiedlichen Maßstäben bei den Staatlichen Geologischen Diensten, den Land-, Forst- und Umweltbehörden sowie den Finanzverwaltungen grundsätzlich zur Verfügung.

Inwieweit mit diesen bereits vorhandenen Boden(Flächen-)daten und -informationen der bestehende Bedarf gedeckt werden kann, ist zu prüfen. Hindernisse (fehlende Zugänglichkeit, unterschiedliche Datenformate) hinsichtlich der Nutzung und Nutzbarkeit der als erforderlich identifizierten Boden(Flächen-)informationen sind zu beseitigen, um eine fach- und behördenübergreifende Nutzung zu gewährleisten.

Zur Validierung von Vorhersagen werden die bestehenden Monitoringprogramme der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) der Länder sowie weitere Inventuren (z.B. BZE) und Dauerfeldversuche für nützlich und weiterhin erforderlich gehalten:

Mit Hilfe der Bodendauerbeobachtung kann grundsätzlich ein sektoraler Beitrag zu dem bereits in der DAS geforderten Klimafolgenmonitoring geleistet werden, da in diesen Programmen u. a. die erforderlichen detaillierten Bewirtschaftungsdaten erhoben werden, die unerlässlich sind, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Derzeit laufen länderseitig Bestrebungen, die BDF-Programme, insbesondere zu der als prioritär identifizierten Frage nach Veränderungen der Humusgehalte, bundesweit abgestimmt zu optimieren. Dies ist ein wichtiger Schritt, um im Rahmen eines umfassenderen Klimafolgenmonitorings fachlich fundierte Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf das Schutzgut Boden treffen zu können.

Darüber hinaus sind für das Monitoring bodenphysikalischer Aspekte, wie Bodenerosion und Verdichtung, bodenkundliche Flächeninformationen unverzichtbar.

Weitere bodenbezogene Inventuren (z.B. BZE-Landwirtschaft, BZE-Wald, landesspezifische Humusmonitoringprogramme) sowie Dauerfeldversuche liefern wichtige Grundlagen und Daten für ein Klimafolgenmonitoring. In einer künftig zu verstärkenden fachübergreifenden Zusammenarbeit und besseren Vernetzung der einzelnen Programme werden Chancen zur Erschließung von Synergien gesehen.

Es ergibt sich daraus folgender Handlungsbedarf:

- Weiterentwicklung und Verfeinerung regionaler Klimamodelle zur differenzierten Abgrenzung der vom Klimawandel betroffener Gebiete.
- Identifizierung und Konkretisierung des im Rahmen der Weiterentwicklung, Verbesserung und Verfeinerung der regionalen Modelle ggf. bestehenden Bedarfs an erforderlichen Boden(Flächen-)Daten und -informationen (Art und Qualität).
- Weiterentwicklung und länderübergreifende Abstimmung der Dauerbeobachtungsprogramme im Hinblick auf die Erfordernisse eines auf den Klimawandel bezogenen Bodenmonitorings.
- Stärkere Vernetzung, Optimierung des Datenaustausches bodenbezogener Informationen und Abstimmung methodischer Fragen zwischen weiteren bodenbezogenen Untersuchungsprogrammen.

5. Forschungsbedarf

Vor dem Hintergrund der Komplexität des Systems Boden mit seinen vielen internen Regelkreisen und Rückkopplungsmechanismen gibt es zu einigen fachlichen Fragestellungen noch Forschungsbedarf (Anlage 1).

6. Fachliche Schnittstellen zu anderen Aktionsfeldern

Klimabedingte Einflüsse auf den Boden haben über den Landschaftswasserhaushalt auch Auswirkungen auf andere Nutzungen. Zwischen Bodenschutz und anderen Aktionsfeldern der DAS bestehen daher zahlreiche Schnittstellen (Anlage 2). Ein besonderer Fokus wird in Zukunft auf integrierende Vorgehensweisen insbesondere beim Datenmanagement, der Forschung und im Monitoring liegen. So wird z. B. in einigen Bundesländern die Erosionsgefährdung durch Wasser infolge zunehmender Starkregenereignisse in Kooperationsvorhaben (Bodenschutz-Wasserwirtschaft) auf der Grundlage regionaler Klimamodelle betrachtet.

Aber auch bei der Entwicklung konkreter Anpassungsmaßnahmen müssen in Zukunft stärker als bisher sektorübergreifende Synergieeffekte, aber auch Zielkonflikte herausgearbeitet werden. Beispielsweise kann eine Abnahme der organischen Substanz der Böden insbesondere infolge einer geringeren Wasserspeicherfähigkeit der Böden gravierende Auswirkungen auf die land- und forstwirtschaftliche Nutzung haben (abnehmende Ertragsicherheit). Die Vermeidung des Flächenverbrauchs bei der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung sowie die Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten und anschließende Wiedernutzung von Brachflächen leisten wichtige Beiträge, Boden für die Versickerung von Regenwasser freizuhalten und das Hochwasserrisiko in Überschwemmungsgebieten zu minimieren.

In der DAS sollten daher in Abstimmung mit den Fachressorts sowie zwischen Bund und Ländern gemeinsame Lösungen gesucht und insbesondere die Synergieeffekte einer integrierten Klimaschutzstrategie genutzt werden.

Anlage 1 Forschungsbedarf

Allgemein

- Verfeinerung regionaler Klimamodelle und Verbesserung ihrer Aussagesicherheit durch Integration flächendeckender und hochauflösender Bodendaten in die Modellierung.
- Weiterentwicklung prozessorientierter Bodenmodelle im Hinblick auf die Bewertung des Bodens als Quelle und/oder Senke für Kohlenstoff und klimarelevante Gase
- Weiterentwicklung von nachhaltigen / klimaschonenden Landnutzungssystemen und Bewirtschaftungsformen, insbesondere auch bei der Produktion von nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo).
- Kühlfunktion von Böden in städtischen Räumen.

Humus sowie humusbildende Prozesse / Quellen- und Senkenfunktion von Böden für Treibhausgase

- Entwicklung von nachhaltigen, insbesondere auch wirtschaftlich tragfähigen Produktionsverfahren zur Nutzung nasser und wiedervernässter Moore
- Untersuchungen zu den Möglichkeiten und Grenzen einer Sequestrierung von C aus Prozessen der pyrolytischen oder hydrothermalen Carbonisierung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf Bodeneigenschaften und –funktionen
- Weiterentwicklung der Fernerkundung; Verfahren zur großflächig präzisen Erfassung der Humusgehalte, Übertragung von Punktdaten auf die Fläche
- Entwicklung von Verfahren zur Vorhersage der Humusentwicklung in Böden unter sich wandelnden Klimabedingungen

Erosion/Verdichtung

- Weiterentwicklung von Erosionsmodellen (z.B. im Hinblick auf die Abbildung der Effekte von Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen)
- Fortentwicklung und Verbesserung von Verfahren und Modellen zur Ermittlung und Bewertung der Verdichtungsgefährdung (z.B. mögliche Nutzung von Bodenwasserhaushaltsmodellen zur Abschätzung der regionalen Entwicklung der Bodenfeuchte / Verdichtungsempfindlichkeit und deren Veränderung im Jahresverlauf)

Stoffhaushalt

- Untersuchungen zur N- und P-Dynamik sowie zum Mobilitätsverhalten und zur Verlagerung von PSM und Schadstoffen im Boden unter dem Blickwinkel der zu erwartenden Klimaänderungen

Bodenwasserhaushalt

- Untersuchungen zum Einfluss sich ändernder Niederschlagsverteilungen auf den gesamten Wasserhaushalt von Böden und die verschiedenen Komponenten des Bodenwasserhaushalts (Oberflächenabfluss, Speicherung, tiefe Infiltration)

Altlasten

- Abschätzung der Auswirkungen von klimawandelbedingten Veränderungen im Grundwasser und im Boden (Temperatur, Bodenwasser, Bodenbiologie) auf in-situ-Sanierungsverfahren und Natural Attenuation
- Abschätzung der Auswirkungen von Austrocknung (Trockenrisse) bei durch Oberflächenabdeckung/-dichtung gesicherten Altlasten
- Erarbeitung von Empfehlungen für die Bewertung der Umweltbeeinträchtigung durch CO₂-Ausstoß bei der Anwendung unterschiedlicher Altlast-Sanierungsverfahren

Bodenbiodiversität

- Analyse der Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf Vorkommen und Aktivität von Schlüsselorganismen (z.B. Regenwürmer) im Boden
- Ausprägung extremer klimatischer Parameter (Temperatur, Feuchte) auf die von Bodenorganismen unterstützten Bodenfunktionen (Humusbildung, Schadstoffabbau, Bodenstrukturentwicklung und Wasserrückhaltefähigkeit)
- Untersuchungen zur möglichen Einwanderung von Fremdarten und deren Einflüsse auf das Ökosystem Boden in Folge der Klimaänderungen
- Analyse des Gefahrenpotenzials erhöhter Stoffumsätze und Stoffmobilisierungsmuster in Böden durch die in Folge der Klimaänderungen zu erwartenden verschobenen Aktivitätsprofile der Bodenorganismen
- Untersuchungen zur Interaktionen zwischen Landnutzung und mikrobiellen Aktivitäten im Zusammenhang mit dem Klimawandel
- Ableitung eines minimalen Standardparametersatz für die Mikrobiologie im Sinne der Vergleichbarkeit und Harmonisierung der Monitoringdaten zur Bodengeologie / Biodiversität

Maßnahme	Menschliche Gesundheit	Bauwesen	Wasserhaushalt, Wasserschutz	Küstenschutz	Böden	Biologische Vielfalt	Landwirtschaft	Wald- und Forstwirtschaft	Fischerei	Energiewirtschaft	Finanzwirtschaft, Versicherungswirtschaft	Industrie und Gewerbe	Verkehr, Verkehrsinfrastruktur	Raum-, Regional- und Bauleitplanung	Bevölkerungsschutz inkl. Katastrophenhilfe	Querschnittsthema: Nachhaltiges Landmanagement	Querschnittsthema: Monitoring
<ul style="list-style-type: none"> • Verstärkte Wiedernutzung von ehemaligen Industrie- und Gewerbeflächen (Brachflächenrecycling) sowie Nutzung von Baulücken und mindergenutzten Flächen. 		x			x							x	x	x			
<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung des Nutzungspotentials von Brachflächen (z.B. Konversionsflächen) für die Erzeugung von erneuerbaren Energien, wie z.B. Photovoltaikanlagen 		x			x		x	x		x				x		x	
<ul style="list-style-type: none"> • Besondere Berücksichtigung von Böden, insbesondere solchen mit sehr hohem C-Speichervermögen bzw. C-Vorrat im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren 		x			x		x							x		x	
Humus sowie humusbildende Prozesse																	
<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung und ggf. Qualifizierung der für die Humusbilanzierung landwirtschaftlich genutzter Böden zu verwendenden Reproduktionsfaktoren 					x		x										
<ul style="list-style-type: none"> • Bewertung der Auswirkungen von Bewirtschaftungsformen und -maßnahmen auf den Humushaushalt der Böden als Grundlage für die Weiterentwicklung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Prüfung, inwieweit bundeseinheitliche Standards entwickelt und festgelegt werden können 					x		x	x									
<ul style="list-style-type: none"> • Weiter gehende Forschung und Bewertung inwieweit sich Kohlenstoff aus Prozessen der pyrolytischen oder hydrothermalen Carbonisierung (Biochar, HTC-Biokohle) dauerhaft bzw. langfristig in Böden binden lässt (sowohl hinsichtlich der Wirkungen auf Bodenfunktionen als auch im 			x		x	x	x	x								x	

Maßnahme	Menschliche Gesundheit	Bauwesen	Wasserhaushalt, Wasserschutz	Küstenschutz	Boden	Biologische Vielfalt	Landwirtschaft	Wald- und Forstwirtschaft	Fischerei	Energiwirtschaft	Finanzwirtschaft, Versicherungswirtschaft	Industrie und Gewerbe	Verkehr, Verkehrsinfrastruktur	Raum-, Regional- und Bauleitplanung	Bevölkerungsschutz inkl. Katastrophenhilfe	Querschnittsthema: Nachhaltiges Landmanagement	Querschnittsthema: Monitoring
Hinblick auf mögliche Schadstoffeinträge)																	
Humus sowie humusbildende Prozesse/ hydromorphen Böden																	
• Programme zur Bestandssicherung und Regeneration von Niedermooren mit dem Ziel, die natürlichen Wasserstände zu erhalten bzw. wieder herzustellen					x	x	x	x	x							x	
• Nutzung und Weiterentwicklung bodenbezogener Klimaschutzmaßnahmen, insbesondere Moorschutzprogramme im Rahmen der zukünftigen EU – Agrarförderung ab 2014					x		x	x	x							x	
• Entwicklung von Verfahren, die alternativ zur derzeitigen auf Entwässerung angewiesenen (landwirtschaftliche) Nutzung der Moorböden, eine dauerhafte Entwässerung vermeiden, um so zumindest den gespeicherten Kohlenstoff zu konservieren. Angebaut werden könnten moortypischer Pflanzen wie Weiden, Erlen, Schilf oder Torfmoose als nachwachsender Rohstoff für die Energie- und Rohstoffwirtschaft			x		x		x	x	x					x		x	
Erosion- und Verdichtung																	
• Verstärkte Umsetzung bisher empfohlener geeigneter Maßnahmen zum Schutz vor Bodenerosion und Bodenschadverdichtung					x		x	x	x								
• Umsetzung eines geeigneten Bewertungs- und Beratungskonzeptes zur bodenschonenden Bewirtschaftung					x		x	x	x							x	

