

## Indikatoren und Berichterstattung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)

### Politische Abstimmung der Indikatoren zum Handlungsfeld „Boden“ – Hintergrundpapier

unter Mitwirkung von: Bosch & Partner GmbH, Konstanze Schönthaler im Auftrag des Umweltbundesamtes / KomPass, FKZ 3711 41 106 (2011-15)

Stand: 02.08.2019

- mit geringfügigen Änderungen am 27.11.2014 zum Abschluss des DAS-Indikatorenprojekts
- mit weiteren Änderungen am 08.01.2016 im Rahmen des UBA FuE-Vorhabens „Beitrag der Satellitenfernerkundung zur Ermittlung von DAS-Indikatoren“ (FKZ 3714 48 103 0)
- Aktualisierungen nach der Fortschreibung des DAS-Monitorings 2019 (Koordinierungsstelle UBA I 1.6, Petra van Rüth)

## 1 Indikatoren

Die DAS-Monitoring-Indikatoren wurden im Frühjahr 2014 in einer Ressortabstimmung festgelegt. Für das Handlungsfeld „Boden“ (BO) werden im DAS-Monitoring Indikatoren System folgende Indikatoren geführt. Vorgeschlagene Änderungen für die Fortschreibung sind in blauer Schrift hervorgehoben.

- **2 Impact-Indikatoren (Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden):**
  - BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden
  - BO-I-2: Regenerosivität (Fallstudie)
- **3 Response-Indikatoren (ergriffene Anpassungsmaßnahmen bzw. Maßnahmen oder Entwicklungen, die den Anpassungsprozess unterstützen):**
  - BO-R-1: Humusgehalte von Ackerböden (Fallstudie)
  - BO-R-2: Dauergrünlandfläche
  - ~~BO-R-3: Fläche organischer Böden (Proxy) (Streichung)~~

Über die genannten Indikatoren hinaus, sind mehrere weitere Indikatoren, die sich direkt oder indirekt mit der Rolle der Böden im Anpassungsprozess beschäftigen, in die Indikatorensets zu anderen DAS-Handlungsfeldern aufgenommen worden (im weiteren Textverlauf werden diese Schnittstellen im Einzelnen benannt). Im DAS-Indikatorenbericht wird auf diese Schnittstellen entsprechend verwiesen.

## **2 Beteiligungen**

Da die DAS-Indikatoren primär auf vorhandenen Datenquellen und bereits existierenden bzw. in Diskussion befindlichen Indikatoren aufbauen sollen, war bzw. ist der Austausch mit Fachexperten eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Entwicklung fachlich akzeptierter Indikatorensets zu den DAS-Handlungsfeldern. Im Verlauf der Indikatorenentwicklung erfolgte die Einbindung einer großen Zahl behördlicher und nicht-behördlicher Experten im Rahmen von bilateralen Gesprächen, von auf die DAS-Handlungsfelder fokussierten Kleingruppen, von Workshops und der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe. Die Bearbeitung des Handlungsfelds Boden wurde im ersten FuE-Vorhaben zum Aufbau des DAS-Indikatorensystems (im Auftrag des UBA, Laufzeit 12/2008 bis 5/2010) von der HNE Eberswalde, Institut für Landschaftsnutzung und Naturschutz im Unterauftrag der Bosch & Partner GmbH bearbeitet. Dabei flossen auch die damaligen Zwischenergebnisse aus dem von der HNE Eberswalde im Auftrag des Landesamts für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg bearbeiteten Forschungsvorhabens „Brandenburg spezifische Boden-Indikatoren für ein Klimamonitoring im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS)“ ein. Im Rahmen des Vorhabens wurden 22 Experten aus verschiedenen Bereichen der Wissenschaft, der Fachbehörden und der Praxisdienstleister zum Ursache-Wirkungskomplex „Klimawandel – Bodeneigenschaften“ befragt. Diese Ergebnisse wurden für die Priorisierung der Themenfelder (s.

Tab. 2) herangezogen.

Im weiteren Prozess wurden die Indikatoren auf bilateraler Ebene zusammen mit Experten konkretisiert. Die nachstehende Tabelle gibt Auskunft über Personen und Institutionen, die auf unterschiedliche Weise und in unterschiedlicher Intensität am Diskussionsprozess um mögliche Indikatoren zum DAS-Handlungsfeld „Boden“ beteiligt waren. Die im Rahmen des o. g. Vorhabens der HNE Eberswalde beteiligten Experten sind in dieser Aufstellung nicht enthalten.

**Tab. 1: Beteiligte an der Diskussion von Indikatoren im Handlungsfeld „Boden“**

<b>Name</b>	<b>Institution</b>
Baritz Dr., Rainer	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Fachbereich 2.2 Informationsgrundlagen Grundwasser und Boden
Beck Dr., Robert	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (IAB), Arbeitsgruppe IAB 1 d, Humushaushalt, Umwelt-Mikrobiologie
Böttcher, Falk	Deutscher Wetterdienst (DWD), Agrarmeteorologische Forschungsstelle
Drösler Prof. Dr., Matthias	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Landschaftsarchitektur, Professur für Vegetationsökologie
Gensior Dr., Andreas	Thünen-Institute (TI), Institut für Agrarrelevante Klimaforschung
Hädicke, Andrea Dr.	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Fachbereich 3.2 Bodenschutz, Altlasten, Ökotoxikologie
Löpmeier, Franz-Josef	Deutscher Wetterdienst (DWD), Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF)
Marahrens, Stephan	Umweltbundesamt (UBA), Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring
Mathews, Jeanette	Umweltbundesamt (UBA), Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring
Neukirchen, Melanie	Bundesamt für Naturschutz (BfN), FG II 1.3 Monitoring
Schultz-Sternberg Prof. Dr., Rüdiger	Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNE), Institut für Landschaftsnutzung und Naturschutz
Suttner Dr., Thomas	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Referat Bodenschutz und Geologie

Der ständige Ausschuss Vorsorgender Bodenschutz (BOVA) der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz befasste sich in seiner Sitzung am 29.1.2013 unter der Leitung der Senatsverwaltung Berlin mit den Indikatorvorschlägen. Aus den Ländern Baden-Württemberg (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft), Bayern (Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit), Brandenburg (Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz), Hessen (Hessisches Landesamt Für Umwelt und Geologie), Sachsen (Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie), Niedersachsen (Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie), Nordrhein-Westfalen (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz), Thüringen (Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz) und Schleswig-Holstein (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume) sind direkte Stellungnahmen zu den einzelnen Indikatoren eingegangen. Diese wurden in der weiteren Bearbeitung berücksichtigt. Außerdem waren die Stellungnahmen Anlass,

einen zusätzlichen Indikator zur Regenerosivität in Form einer Fallstudie für Nordrhein-Westfalen in das Indikatorenset einzugliedern.

Im Rahmen des vom BMU koordinierten Netzwerks Vulnerabilität befassten sich Bundesbehörden mit einer flächenhaften Vulnerabilitätsanalyse (2011-15). In einem Screeningverfahren wurden deutschlandweit die Regionen und Themen identifiziert, die zukünftig besonders durch den Klimawandel gefährdet, d. h. vulnerabel, sind. Aus der Analyse der Vulnerabilität, inkl. der Anpassungskapazität, wurde abgeleitet, welcher Anpassungsbedarf besteht und wie der Bund unterstützen könnte. Für das Handlungsfeld Boden bestand bereits frühzeitig ein enger Kontakt mit den in das Vulnerabilitätsnetzwerk eingebundenen Experten insbesondere der BGR und des DWD. Auf der einen Seite bauten die Arbeiten im Rahmen des Vulnerabilitätsnetzwerks auf den DAS-Themenfelder und -Indikatoren auf. Auf der anderen Seite kann das DAS-Indikatorensystem bei seiner Fortschreibung von den methodischen Weiterentwicklungen im Vulnerabilitätsnetzwerk profitieren.

### **3 Thematische Einordnung der Indikatoren, diskutierte Indikationsmöglichkeiten**

#### **3.1 Themenfelder**

Im Vorfeld der Diskussion konkreter Indikatoren wurden die thematischen Felder, die bei der Indikatorenentwicklung berücksichtigt werden sollten, beschrieben. Sie wurden aus Literaturrecherchen und Experteninterviews abgeleitet. Tab. 2 gibt einen Überblick über die Themenfelder und die Zuordnung der vorgeschlagenen Indikatoren zu den Themenfeldern bzw. thematischen Teilaspekten. Die im Priorisierungsprozess für die weitere Bearbeitung ausgewählten Themenfelder auf der Impact-Ebene sind grau hinterlegt. Bei der Abgrenzung der Themenfelder und ihrer Priorisierung wurden auch die im Positionspapier der BOVA-Redaktionsgruppe „Boden und Klimawandel“ (LABO 2010<sup>1</sup>) genannten Aussagen zur Betroffenheit der Böden bzw. des Bodenschutzes und zu den Handlungsempfehlungen zur Klimaanpassung berücksichtigt.

---

<sup>1</sup> LABO (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz) 2010: LABO-Positionspapier - Klimawandel - Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes. Stand 09.06.2010, 22 S.  
[http://www.labo-deutschland.de/documents/LABO\\_Positionspapier\\_Boden\\_und\\_Klimawandel\\_090610\\_aa8\\_bf5.pdf](http://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Positionspapier_Boden_und_Klimawandel_090610_aa8_bf5.pdf)

**Tab. 2: Themenfelder zum Handlungsfeld „Boden“**

Themenfeld	Thematischer Teilaspekt	Indikatoren
<b>Impacts (Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden)</b>		
Bodenwasserhaushalt	Änderung des Bodenwasservorrats	<b>BO-I-1:</b> Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden
	Abnahme der Infiltrationskapazität	
	Funktionseinschränkung hydromorpher Böden	
Bodenwärmehaushalt	Änderung der Bodentemperatur	
	Änderung der Boden-Strahlungsbilanz	
Bodenstoffhaushalt	Veränderung der Nährstoffrückführung	
	Verminderung der Nährstoffverfügbarkeit	
	Änderung des Säure-/Basenhaushaltes	
	Zunahme leicht löslicher Stoffe im Bodenwasser	
	Erhöhte Schadstoffmobilisierung	
	Änderung der Kohlenstoffdynamik	
Bodenstruktur	Anstieg der Bodenerosion	<b>BO-I-2:</b> Regenerosivität (Fallstudie)
	Zunahme der Bodenverdichtung	
	Veränderung von Bodengefüge und Humusstruktur	
Bodenbiologie	Veränderung der Funktionalität der Zersetzerkette	
	Veränderung der mikrobiologische Aktivität	
	Änderung der Zusammensetzung von Bodenorganismen	
<b>Responses (Ergriffene Anpassungsmaßnahmen bzw. Maßnahmen oder Entwicklungen, die den Anpassungsprozess unterstützen)</b>		
Aufklärung über Risiken und Gefährdungen	Aufklärung der Öffentlichkeit	
	Entwicklung bzw. Ausbau des Risikomanagements	
	Aufklärung der Bodennutzer	
	Entwicklung bzw. Ausbau von Frühwarnsystemen und Informationsdiensten	
Anpassung der Raum- und Nutzungsstruktur	Optimierung der Infrastruktur zur Sicherung der Lebensraumfunktion	Schnittstelle zum DAS-Querschnittsthema „Raum-, Regional- und Bauleitplanung“: RO-R-7 (Siedlungs- und Verkehrsfläche)
	Optimierung der Infrastruktur zum Erosionsschutz	

Themenfeld	Thematischer Teilaspekt	Indikatoren
	Erhaltung und Schaffung von Retentionsräumen, (Gebiets-)wasserrückhalt	Schnittstelle zum DAS-Querschnittsthema „Raum-, Regional- und Bauleitplanung“: RO-R-1 (Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen) RO-R-4 (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Trinkwasservorsorge / Wasservorratsgebiete) RO-R-5 (Vorranggebiete vorbeugender Hochwasserschutz)
	Ausweisung von Schutz- und Vorranggebieten	Schnittstelle zum DAS-Querschnittsthema „Raum-, Regional- und Bauleitplanung“: RO-R-3 (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft) RO-R-4 (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Trinkwasservorsorge / Wasservorratsgebiete) RO-R-5 (Vorranggebiete vorbeugender Hochwasserschutz)
Anpassung der Landnutzung, des Flächenmanagements	Anpassung der Bewirtschaftungsplanung an die Änderung der Standortigenschaften	<b>BO-R-2:</b> Dauergrünlandfläche <b>BO-R-3:</b> Fläche organischer Böden (Proxy) Schnittstelle zum DAS-Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“: FW-R-1 (Mischbestände), FW-R-2 (Förderung des Waldumbaus) FW-R-3 (Umbau gefährdeter Fichtenbestände)
	Anpassung des Bewirtschaftungsmanagements an die Änderung der Standortigenschaften	Schnittstelle zum DAS-Handlungsfeld „Landwirtschaft“: LW-R-8 (Landwirtschaftliche Beregnung)
	Managementmaßnahmen zur Verminderung der Vulnerabilität	<b>BO-R-1:</b> Humusgehalte von Ackerböden (Fallstudie) <b>BO-R-3:</b> Fläche organischer Böden (Proxy) Schnittstelle zum Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“: FW-R-5 (Humusversorgung und Wasserrückhaltung forstwirtschaftlicher Böden)
Anpassung / Erweiterung des Bodenmonitorings	Programme zur Bodenerfassung / -kartierung	
	Bodenmessprogramme	
Erweiterung der bodenbezogenen Forschung	Weiterentwicklung von Haushalts- und Bilanzmodellen	
	Weiterentwicklung von Planungs- und Vorsorgeinstrumenten	

### **3.2 Erläuterungen zu Indikationsideen und Indikatoren zum Handlungsfeld „Boden“**

Im Handlungsfeld „Boden“ erscheint das Spektrum der vorgeschlagenen Indikatoren – im Verhältnis zur Relevanz des Handlungsfelds – noch klein. Eine umfassende Abbildung der thematischen Teilaspekte im Kontext Boden und Klimaveränderung ist aus derzeitiger Sicht nicht möglich. Einen wesentlichen Anteil daran haben Datenprobleme (s auch KAUFMANN-BOLL et al. 2011<sup>2</sup>). Die Erhebungen auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) werden auch von Experten als die zentrale Datenquelle für bodenbezogene Indikatoren für das DAS-Indikatorensystem gesehen, da für dieses Programm Wiederholungserhebungen als annähernd gesichert gelten und außerdem mit einer vergleichsweise hohen Dichte an Messstellen gearbeitet wird. Schwierigkeiten mit der länderübergreifenden Auswertung resultieren daraus, dass es trotz der bundesweiten Harmonisierungsbemühungen noch mehr oder weniger große Unterschiede in der Umsetzung (insbesondere in den Methoden der Probenahme und Analytik) durch die Länder gibt. Bemühungen zur bundesweiten Auswertung der BDF-Daten gibt es seitens des UBA zwar seit mehreren Jahren (u. a. SPATZ 2001, HUSCHECK et al. 2004, SCHILLI et al. 2011<sup>3</sup>), aufgrund der unterschiedlichen Startzeitpunkte und des hohen Aufwands für die Analytik, Qualitätssicherung sowie die Datenbereitstellung stehen bisher aber länderübergreifend nicht mehr als zwei Messreihen zur Verfügung. Mindestens vier Messreihen wären aber Bedingung für signifikante Trendbewertungen auf bundesweiter Skala. Hinzu kommt, dass die Erhebungen auf den BDF in erster Linie auf die stoffliche Belastung abzielen, erst im Laufe der Jahre gewannen Aspekte des Klimawandels an Bedeutung.

Als zusätzliche Datenquellen kommen außerdem die Erhebungen im Rahmen der Bodenzustandserhebung (BZE) und des agrarmeteorologischen Messnetzes in Betracht, ferner bodenkundliche Daten in den Fachinformationssystemen des Bundes und der Länder. Für die BZE im Wald liegen inzwischen die Ergebnisse der bundesweiten Wiederholungserhebung vor. Für das DAS-Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“ wurde basierend auf diesen Daten ein DAS-Indikator zum organischen Kohlenstoff entwickelt (s. FW-R-5: Humusversorgung und Wasserrückhaltung forstwirtschaftlicher Böden). Die BZE Landwirtschaft ist noch im Aufbau.

---

<sup>2</sup> Kaufmann-Boll C., Kappler W., Lazar S., Meiners G., Tischler B., Baritz R., Düwel O., Hoffmann R., Utermann J., Makeschin F., Abiy M., Rinklebe J., Prüß A., Schilli C., Beylich A., Graefe U. 2011: Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung. F+E-Vorhaben des UBA 3708 71 205 01. Entwurf zum Abschlussbericht vom 14.2.2011.

<sup>3</sup> Spatz P. 2001: Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Bodendauerbeobachtung - ausgehend von der Zusammenstellung der Metadaten aus den Ländern. UBA-Texte 22/01, 5 S.  
Huscheck G., Krengel D., Kayser M., Bauriegel A., Burger H. 2004: Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtung der Länder. UBA-Texte 50/04, Berlin, 104 S.  
[www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2824.pdf](http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2824.pdf)  
Schilli C., Rinklebe J., Lischeid G., Kaufmann-Boll C., Lazar S. 2011: Auswertung der Veränderungen des Bodenzustands für Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze - Teil B: Datenauswertung und Weiterentwicklung des Monitorings. UBA-Texte 90/2011, 131 S.

Das agrarmeteorologische Messnetz liefert Daten zum Bodenwasser- und Bodentemperaturhaushalt, zu denen bisher allerdings noch keine spezifischen Auswertungen mit Blick auf die Zusammenhänge von Bodenveränderungen und Klimawandel vorgenommen wurden.

In den bodenkundlichen Fachinformationssystemen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Bundesländer werden Profil- und Messdaten vorgehalten, die Standard-konform erfasste Datensätze enthalten und daher in hohem Maß harmonisiert vorliegen (Profilbeschreibungen gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung, DIN-Analyseverfahren). Diese Daten sind die Voraussetzung, um Flächenbezüge für bodenrelevante Daten herzustellen. Für die Übertragung von Daten in die Fläche haben BGR und SGD einen Katalog von Auswertungsmethoden entwickelt und national abgestimmt (Pedotransferfunktionen, zum Beispiel zum Wasserhaushalt, s. Ad Hoc-AG Boden 2000<sup>4</sup>). Qualitätsgesicherte Flächendaten auf Bundesebene wie auch Methoden stehen kostenfrei zur Verfügung.

Aussagen, auf wie vielen Flächen innerhalb Deutschlands klimabedingte Bodengefährdungen vorliegen, und Antworten auf die Frage, inwieweit Änderungen des Nutzungsregimes zu einer Verbesserung oder Verschlechterung der Situation beitragen, sind auf eine flächenscharfe Verschneidung von Bodendaten mit Nutzungsdaten angewiesen. Letztendlich entscheidet die spezifische Kombination von Nutzungsform und -ausprägung und lokalen Bodeneigenschaften darüber, ob eine Nutzung nachhaltig ist oder zu Bodenbelastungen führt. Eine solche Verschneidung setzt jedoch ausreichend hoch aufgelöste und kontinuierlich aktualisierte Flächeninformationen voraus. Während hochauflösende Bodenkartierdaten seitens BGR und SGD bereitgestellt werden, ist die Situation mit Blick auf die Verfügbarkeit räumlich hochaufgelöster Nutzungsdaten problematischer.

Im BOKLIM-Vorhaben (Anwendung von Bodendaten in der Klimaforschung, F+E-Vorhaben 3708 71 205 01 des UBA, KAUFMANN-BOLL et al. 2011<sup>5</sup>) wurde die Eignung von Bodendaten aus den wichtigsten bundesweit und dauerhaft betriebenen Programmen des Bodenmonitorings und der Bodenzustandserhebung für die Klimaforschung erstmals messnetzübergreifend bewertet. Dabei wurde auch Anpassungsbedarf der Programme an die spezifischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Klimafolgenbetrachtung herausgearbeitet. Das BOKLIM-Vorhaben diente nicht dazu, die in Bund, Ländern und Forschungseinrichtungen vorhandenen Messdaten von den erhebenden Institutionen zu beschaffen und zusammenzuführen, sondern nur die besagte Verfügbarkeits- und Eignungsbewertung durchzuführen. Unmittelbare Zulieferungen von Indikatoren aus dem BOKLIM-Vorhaben in das DAS-Indikatorenprojekt haben daher nicht stattgefunden. Allerdings haben die BOKLIM-Ergebnisse insofern das Indikatoren-Projekt befruchtet, als sie die inhaltliche Fokussierung unterstützt und

---

<sup>4</sup> Ad Hoc-AG Boden 2000: Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Sonderhefte Reihe G - Geol. Jahrb., Heft 1. 2. Auflage. 232 S., 26 Abb., 112 Tab.

<sup>5</sup> ebd.

Hinweise auf grundsätzlich mögliche Datenquellen gegeben haben. Im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität wird derzeit aufgezeigt, wie einzelne im Rahmen des BOKLIM-Projekts definierte Parameter für die DAS genutzt werden können.

Nach Veröffentlichung des ersten indikatorengestützten „Monitoringberichts 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ wurden im Rahmen des UBA FuE-Vorhabens „Beitrag der Satellitenfernerkundung zur Ermittlung von DAS-Indikatoren“ (FKZ 3714 48 103 0) die Möglichkeiten einer Nutzung von Fernerkundungsdaten, speziell von Satellitendaten zur Weiterentwicklung bestehender DAS-Indikatoren und zur Entwicklung zusätzlicher Indikatoren geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in die folgenden Darstellungen eingeflossen.

### **3.2.1 Impact-Indikatoren**

Der Priorisierung in

Tab. 2 folgend lag der Fokus der Indikatorenentwicklung für die Impact-Ebene auf den beiden Größen Bodentemperatur und Bodenfeuchte. Aus deren Veränderungen sind zuallererst Spiegel der direkten Auswirkungen veränderter Klimaverhältnisse. Der Bodenwärme- und Wasserhaushalt der Böden steht vor allem aber auch in unmittelbarem Zusammenhang mit einer Vielzahl von Bodenfunktionen und ist damit Dreh- und Angelpunkt für alle weiteren klimawandelbezogenen Wirkungen. Rückschlüsse sind unter anderem möglich auf die Freisetzung von Nähr- und Schadstoffen, die Freisetzung von Klimagasen und Veränderungen der Bodenlebensgemeinschaften sowie auf die Gefährdungen der Böden durch Bodenerosion und Verdichtung möglich (KAUFMANN-BOLL et al. 2011). Von Indikatoren zur unmittelbaren Darstellung von Veränderungen des Stoffaushalts im Boden wurde zunächst abgesehen, da es hier noch zu viele Unsicherheiten bezüglich der Zusammenhänge mit Klimafolgen gibt (dies gilt sowohl für die Nährstoffe als auch mit Blick auf das veränderte Mobilisierungsverhalten von Schadstoffen).

Daten zum Bodenwasserhaushalt (Bodenwassergehalt bzw. Bodenfeuchte, s. Indikator BO-I-1) werden derzeit in mehreren Programmen erhoben. Zu erwähnen sind insbesondere die Intensiv-BDF, die Level II-Flächen im Wald, die Landwirtschaftlichen Dauerfeldversuche und die Feldlysimeter-Dauerversuche, die vergleichsweise hochfrequente Erhebungen durchführen. Die Messstellen sind aber in unterschiedlicher Dichte über Deutschland verteilt und repräsentieren die Bodenverhältnisse unterschiedlich gut (KAUFMANN-BOLL et al. 2011<sup>6</sup>). Relevant sind außerdem die vom DWD bundesweit in seinem agrarmeteorologischen Messnetz erhobenen Daten. Trotz der vergleichsweise hohen Datendichte in Deutschland ist die Situation allerdings für die konkrete Berechnung von Indikatoren problematisch, da anwendungsreife repräsentative Auswertungen bzw. Auswertungsmethoden für Flächendaten nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Eine Kopplung dieser flächenbezogenen Verfahren mit Daten aus Messnetzen ist derzeit aufgrund fehlender Datenschnittstellen und Datenverfügbarkeit noch nicht möglich. Eine Vernetzung der verschiedenen Messprogramme würde eine Vereinheitlichung der heterogenen Datenpools erfordern, würde allerdings durch Synergieeffekte wissenschaftliche und wirtschaftliche Vorteile bringen (KAUFMANN-BOLL et al. 2011: 135). Für den Indikator Bodenwasserhaushalt wurde hier die Nutzung der Daten des agrarmeteorologischen Messnetzes des DWD vorgeschlagen, da dort routinemäßige Erhebungen und hochfrequente Auswertungen bzw. Berechnungen des Bodenwassergehalts für die Aktualisierung des Deutschen Klimaatlas erfolgen. Die für die Auswertungen genutzten Modelle sind qualitätsgesichert und die Aussagen sind bundesweit repräsentativ.

Der nun im DAS-Indikatorenset geführte Indikator BO-I-1 basiert auf modellierten Daten des DWD zu landwirtschaftlichen Flächen, die im Deutschen Klimaatlas präsentiert werden. Eine weitere Qualifizierung dieses Indikators ist gewünscht, da es sich um modellierte Daten handelt und der Indikator selbst nicht ganz einfach zu verstehen ist. Im Rahmen des FuE-Vorhabens „Beitrag der Satellitenfernerkundung zur Ermittlung von DAS-Indikatoren“ wurde geprüft, inwieweit eine Weiterentwicklung des Indikators mithilfe von Fernerkundungsdaten möglich

---

<sup>6</sup> ebd.

ist. Als mögliche Datenquellen wurde insbesondere der Soil Water Index der globalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung identifiziert. Die Radar-gestützten Erfassungen beziehen sich allerdings nur auf die oberen 5 cm des Bodens und liegen auch nur in einer relativ groben räumlicher Auflösung vor. Aussagen zu tieferen Bodenschichten im Soil Water Index basieren auf Modellierungen. Für Hinweise auf (z. B. jahreszeitliche) Anomalien wären diese Daten aber geeignet. Der Soil Water Index wäre grundsätzlich auch mit Blick auf Funktionseinschränkungen hydromorpher Böden von Interesse. Insbesondere hierfür bedürfte es allerdings Daten mit einer höheren räumlichen Auflösung.

Im Zusammenhang mit der Thematik Bodenwasserhaushalt sei auch auf die Schnittstelle zum DAS-Handlungsfeld „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz“ (WW) verwiesen, für das u. a. der Indikator „Grundwasserstand“ (WW-I-1) ausgearbeitet wurde. Sinkende Grundwasserspiegel haben insbesondere für Böden mit Grundwasserkontakt direkte Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt. Sinkt das Grundwasser ab, kann dies zu fehlendem Wasserinput über den offenen und geschlossenen Kapillarsaum führen. Steigende Grundwasserstände hingegen können Bereichen des Bodens über den kapillaren Aufstieg Wasser zuführen, die derzeit nur durch Niederschlag und / oder lateralen Zufluss Einträge von Wasser erhalten. Mit diesen Veränderungen sind i. d. R. auch stoffliche Veränderungen im Boden verbunden (KAUFMANN-BOLL et al. 2011: 117).

Die ebenfalls im agrarmeteorologischen Messnetz erhobenen Daten zu Bodentemperaturen wurden bisher noch nicht systematisch ausgewertet. Darstellungen von Zeitreihen beschränken sich derzeit noch auf Datenauswertungen von Einzelstationen. Methodische Vorschläge zur räumlichen und zeitlichen Aggregation der Daten der ca. 500 DWD-Messstellen liegen noch nicht vor. Zur Entwicklung einer geeigneten Auswertemethodik sind noch grundlegende Indikationsfragen offen (z. B. mit Blick auf welche Indikationsfrage sind welche Mittelwertbildungen sinnvoll oder sollte besser mit der Über- oder Unterschreitung von Schwellenwerten gearbeitet werden). Bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wurde die Nutzung national repräsentativer bodenkundlicher Daten für bodenhydrologische und bodenthermische Kennwerte bereits vertiefend untersucht (Ad Hoc-AG Boden 2000<sup>7</sup>, HENNINGS 2008<sup>8</sup>). Im Rahmen des nationalen Bodenatlas, der aktuell bei der BGR entwickelt wird, werden für eine Vielzahl von Indikatoren einschließlich Bodenwasser- und Bodenwärmehaushalt Abschätzung für das gesamte Bundesgebiet vorgenommen – je nach Methode speziell für landwirtschaftliche Böden. In Zusammenarbeit mit dem DWD können auf Basis dieser Karten klimaabhängige Veränderungen abgeschätzt und regionalisiert werden. Die Zusammenführung von Datenbasis und Methodik beider Institutionen, die im Rahmen des Netzwerks Vulnerabilität durchgeführt wurden, lassen deutliche Verbesserungen für die Berechnung der Indikatoren zum Bodenwasserhaushalt und Bodentemperaturhaushalt erwarten.

---

<sup>7</sup> ebd.

<sup>8</sup> Hennings V. 2008: Bereitstellung bodenhydrologischer und bodenthermischer Kennwerte für die Anwendung des Vegetationsmodells LPJ. Archivnummer 127694 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Hannover, unveröffentlichter Bericht.

Die mögliche Nutzung von Satellitendaten zur Erfassung der Bodentemperatur wurde auch im FuE-Vorhaben „Beitrag der Satellitenfernerkundung zur Ermittlung von DAS-Indikatoren“ geprüft. Dabei wurde insbesondere die Land Surface Temperature als Produkt der globalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung in den Blick genommen. Diese bildet allerdings die Oberflächentemperatur des Gesamtsystems Vegetation und Boden ab. Eine spezifische Betrachtung der Bodentemperaturentwicklung wäre höchstens in den vegetationsärmeren Jahreszeiten des Frühlings und Herbstes möglich. Alternativ besteht die Möglichkeit, auf die laufenden Arbeiten im Rahmen von EUMETSAT CM SAF (The EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring) zuzugreifen. Seit Ende 2016 soll ein Datensatz zur Landoberflächentemperatur CDR verfügbar sein. Grundsätzlich bietet CM SAF alle Daten zur Bestimmung der Boden-Strahlungsbilanz.

Diskutiert wurde ebenfalls die mögliche Indikation klimabedingter Veränderungen der bodenmikrobiellen Aktivität. Hier scheinen aber die Datenengpässe noch größer zu sein. Außerdem besteht noch viel Unklarheit, was die Zusammenhänge mit Klimaveränderungen anbelangt (s. KAUFMANN-BOLL et al. 2011: Tab. 3.5). Von einer Indikatorenentwicklung wurde daher abgesehen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch SCHILS et al. (2008)<sup>9</sup> auf europäischer Ebene.

Auch die Bodenerosion gehört zu den intensiv im Zusammenhang mit Klimaveränderungen diskutierten Wirkungsbereichen. Als Ursachen verstärkter Wassererosion werden u. a. vermehrte erosive Starkregenereignisse und eine Zunahme der Winterniederschläge betrachtet. Für die Winderosionsgefährdung gilt Ähnliches; hier wird bei Zunahme von Windgeschwindigkeiten und Trockenperioden ebenfalls von einem verstärkten Erosionsgeschehen ausgegangen (LABO 2010). Ein flächendeckendes repräsentatives Erosions-Monitoring gibt es in Deutschland bislang nicht. Aussagen über die Flächenrepräsentativität (einzelner) plotbezogener Erosionsmessungen sind aktuell ohne Modellierung nicht vorstellbar (KAUFMANN-BOLL et al. 2011; zu den Regionalisierungsansätzen für flächenhafte Gefährdungsabschätzungen s. Ad hoc-AG Boden 2000<sup>10</sup> sowie Netzwerk Vulnerabilität). Auch bezüglich der methodischen Herangehensweise an ein punktuelles Erosions-Monitoring gehen die fachlichen Meinungen noch auseinander (ebd.: 107 ff.). Ein großes und noch ungelöstes Problem ist vor allem die regelmäßige Aktualisierung der Aussagen. Im Aktionsplan Anpassung (APA I) wird aus diesem Grunde explizit auf die Notwendigkeit hingewiesen, ein systematisches, vergleichbares und deutschlandweites Erosions-Monitoringsystem im Zusammenhang mit einer webbasierten Informationsplattform für Bodendaten aufzubauen und zu etablieren (s. auch MOSIMANN et al.

---

<sup>9</sup> Schils R., Kuikman P., Liski J., Van Oijen M., Smith P., Webb J., Alm J., Somogyi Z., Van den Akker J., Billett M., Emmett B., Evans C., Lindner M., Palosuo T., Bellamy P., Jandl R., Hiederer R., 2008. Review of existing information on the interrelations between soil and climate change. (CLIMSOIL). Final report. Brussels, European Commission, 208 pp. [http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/climsoil\\_report\\_dec\\_2008.pdf](http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/climsoil_report_dec_2008.pdf).

<sup>10</sup> ebd.

2009<sup>11</sup> für Niedersachsen). Ggf. könnten Satellitendaten einen Beitrag zu einem solchen Erosions-Monitoring liefern (z. B. über eine „change detection“ veränderter Strukturen). Unmittelbare praktikable Ansätze gibt es hierzu allerdings bisher nicht.

Eine Annäherung an die Beschreibung des Erosionsrisikos lässt sich über die Erfassung hoch aufgelöster Klimadaten erreichen (z. B. über Veränderungen des R-Faktors = Regen- und Oberflächenabflussfaktor). Es gibt zwar aus Einzeluntersuchungen entstandene bundesweit flächendeckende Karten zur Abbildung des aktuellen und zur Abschätzung des künftigen Erosionsrisikos (s. u. a. WURBS & STEININGER 2011<sup>12</sup>). Zeitreihen zur historischen Entwicklung von Risikofaktoren wie beispielsweise dem R-Faktor stehen aber bislang nicht zur Verfügung, auch wenn die zur Berechnung erforderlichen Daten (zeitlich hoch aufgelöste Niederschlagsdaten) grundsätzlich zur Verfügung stünden. Für das Bundesland Nordrhein-Westfalen wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens (NEUHAUS et al 2010<sup>13</sup>) eine Zeitreihe aufgebaut und eine Methodik etabliert, die eine künftige Fortschreibung ermöglicht. Basierend auf diesen Daten wurde ein Indikator im Klimafolgenmonitoring von Nordrhein-Westfalen etabliert (s. Indikator BO-I-2: Regenerosivität). Dieser Indikator wird als Fallstudie in das DAS-Indikatoren-system übernommen, da grundsätzlich die Perspektive besteht, dass eine der Nordrhein-Westfälischen Darstellung vergleichbare Berechnung des R-Faktors auf Bundesebene stattfinden kann. Deutschlandweite Daten zur Erodierbarkeit des Bodens liegen bei der BGR vor. In Verbindungen mit Daten des DWD könnte die potenzielle (natürliche) Erosionsgefährdung regelmäßig abgeschätzt werden und modell- und monitoringgestützt kalibriert und beobachtet werden. Ein praktikables Konzept hierfür wurde aber nicht erarbeitet.

Im DAS Monitoringbericht 2019 wird die Fallstudie erneut berichtet. Eine Aktualisierung ist nicht möglich, derzeit arbeiten Bund und mehrere Länder an dem Thema, sodass die Perspektive besteht, dass im nächsten Monitoringbericht ein methodisch deutlich verbesserter Indikator berichtet werden kann.

Generell besteht die Anforderung, die weiteren Indikatorenentwicklungen, insbesondere im Impact-Bereich, auf die laufenden Arbeiten im Zusammenhang mit dem Vulnerabilitätsnetzwerk abzustimmen. Diese widmen sich u. a. auch der Methodenentwicklung zur Abschätzung der Vulnerabilität der Böden. Es ist zu erwarten, dass aus diesen Bemühungen Verfahren hervorgehen und Daten nutzbar gemacht werden können, die in Zukunft eine weitere Verbesserung auch der DAS-Indikatoren ermöglichen.

---

<sup>11</sup> Mosimann T., Bug J. Sanders S., Beisiegel F. 2009: Bodenerosionsdauerbeobachtung in Niedersachsen 2000 – 2008. Geosynthesis H. 14, Veröffentlichungen des Inst. F. Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibnitz Universität Hannover.

<sup>12</sup> Wurbs D. & Steininger M. 2011: Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden – Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. UBA-Texte 16/2011, Dessau

<sup>13</sup> Neuhaus P., Fiener P., Botschek J. 2010: Einfluss des globalen Klimawandels auf die räumliche und zeitliche Variabilität der Niederschlagserosivität in NRW. Abschlussbericht, 2. August 2010, i.A. des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 89 S.

### **3.2.2 Response-Indikatoren**

Auf der Response-Ebene wurden Indikationsmöglichkeiten zu allen Themenfeldern geprüft. Für das Themenfeld „Anpassung der Raum- und Nutzungsstruktur“, mit dem großräumigere Nutzungsstrukturen angesprochen sind, gibt es mehrere Schnittstellen mit dem DAS-Querschnittsthema „Raum-, Regional- und Bauleitplanung“ (RO), in dem der Steuerung der Flächennutzung zur Anpassung an Klimafolgen eine zentrale Bedeutung zukommt. Indikatoren wie RO-R-7 (Siedlungs- und Verkehrsfläche), RO-R-1 (Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen), RO-R-3 (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft), RO-R-4 (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Trinkwasservorsorge / Wasservorratsgebiete) und RO-R-5 (Vorranggebiete vorbeugender Hochwasserschutz) fokussieren letztendlich auch stark auf die Böden, denn überall, wo gewachsener Boden überbaut wird, gehen auch die damit verbundenen Bodenfunktionen (u. a. Wasseraufnahme- und -speicherkapazität) verloren. Vom DAS-Handlungsfeld „Boden“ wäre im Indikatorenbericht entsprechend auf diese Indikatoren zu verweisen. Ein eigener Indikator speziell für das Handlungsfeld Boden wird nicht vorgeschlagen.

Im Themenfeld „Anpassung der Landnutzung, des Flächenmanagements“ geht es zum einen um eine Anpassung der Bewirtschaftungsplanung und hier insbesondere um die land- und forstwirtschaftliche Nutzung. Mit Blick auf die Landwirtschaft wird ein Indikator zur Dauergrünlandfläche (BO-R-2) vorgeschlagen. Grünland stellt eine landwirtschaftliche Nutzungsform dar, die aufgrund der permanenten Bodenbedeckung, der Humusanreicherung und der Artenvielfalt eine geringere Vulnerabilität gegenüber den verschiedenen Wirkungen von Klimaänderungen aufweist als Ackerflächen. Der Rückgang des Grünlands ist u. a. vor diesem Hintergrund kritisch zu bewerten. An einer weiteren Differenzierung des Grünland-Indikators wurde im Rahmen des FuE-Vorhabens „Beitrag der Satellitenfernerkundung zur Ermittlung von DAS-Indikatoren“ gearbeitet. Mit der Nutzung von Fernerkundungsdaten kann sich zukünftig die Möglichkeit ergeben, die Gebiete mit besonders umfangreichem Grünlandumbruch zu verorten und eine Differenzierung innerhalb des umgebrochenen Grünlands vorzunehmen. Als mögliche Datenquellen wurden der High Resolution Layer „Permanent Grassland“ der pan-europäischen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung und das Digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2012) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie identifiziert.

Ebenfalls entwickelt wurde ein Indikator zu den organischen Böden entwickelt. Organische Böden spielen sowohl in der Klimafolgenanpassung als auch im Klimaschutz eine Schlüsselrolle. Der Indikator BO-R-3 (Fläche organischer Böden) soll die Fläche naturnaher, von relevanter Nutzung freier organischer (hydromorpher) Böden abbilden. Die Daten wurden für den Nationalen Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar (NIR) generiert. Die Überprüfung der fachlichen Grundlagen des Indikators im Zuge der Fortschreibung ergab, dass Indikator Teil A, der ein Maß für die Fläche organischer Böden mit naturnahem hydrologischem Regime darstellen sollte, auf Grundlage der verwendeten Daten nicht aktualisiert werden kann. Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt "Organische Böden" des Thünen Instituts für Agrarklimaschutz haben gezeigt, dass sich in der Landnutzungskategorie (LUC) "Terrestrische Feuchtgebiete" nicht nur organische Böden mit naturnahem hydrologischen Regime finden,

sondern auch trockene Standorte. Mit Sicherheit kann über die Böden dieser LUC nur die Aussage getroffen werden, dass diese nicht mehr land- und forstwirtschaftlich sowie für Siedlungszwecke genutzt werden. Aufgrund dieser Erkenntnis kann Indikator A auf Basis der Ergebnisse der THG-Berichterstattung nicht weitergeführt bzw. fortgeschrieben werden.

Ein zusätzlicher Indikator zum „Erhaltungszustand geschützter Moorböden“ wurde diskutiert und basierend auf den Daten der FFH-Berichterstattung auch berechnet. Dabei wurde die gleiche Methodik zugrunde gelegt, die auch zur Bewertung des Erhaltungszustands der FFH-Lebensräume und -Arten für das Indikatorensystem der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt zum Einsatz gelangt. Der Indikator fokussierte auf den Erhaltungszustand der FFH-Lebensraumtypen mit einer Vegetation, von der erwartet werden kann, dass sie zumindest auf einem großen Teil ihrer Fläche auf organischen Böden, d. h. torfigen und anmoorigen Substraten stockt. Aufgrund der geringen Flächenabdeckung wurde seine Aussagekraft im Zusammenhang mit dem Themenfeld Anpassung aber vom BfN als nur gering bewertet. Der Indikator wurde daher nicht in das DAS-Indikatorenset übernommen. Für Böden unter Wald sind im DAS-Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“ (FW) mehrere Indikatoren enthalten, die eine Anpassung der Waldbewirtschaftung thematisieren (FW-R-1: Mischbestände, FW-R-2: Förderung des Waldumbaus, FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände).

Zum anderen wird innerhalb des Themenfelds „Anpassung der Landnutzung, des Flächenmanagements“ das konkrete Bewirtschaftungsregime auf den Flächen angesprochen. In der Indikatorarbeit wurde dabei von mehreren Experten bestätigt, dass dem Humusgehalt eine entscheidende Rolle bei der Anpassung der Böden zukommt. Böden mit hohen Gehalten bzw. Vorräten an organischem Kohlenstoff bzw. Humus haben i. d. R. ein stabileres Gefüge und können mehr Wasser und Nährstoffe (und Schadstoffe) halten als Böden mit nur niedrigen Gehalten, außerdem ist die biologische Aktivität in humusreichen Böden höher. Diese Böden sind daher u. a. gegenüber Stoffausträgen, Erosion und Schadverdichtung widerstandsfähiger. Einem Response-Indikator zu Humusgehalten von Böden liegt die Hypothese zugrunde, dass Böden mit „optimalen“ Humusgehalten aus derzeitiger Sicht besser auf die steigenden Risiken u. a. durch Starkregen und Austrocknung etc. vorbereitet sind als solche mit standortgemäß zu niedrigen (oder im Falle der landwirtschaftlich genutzten Böden auch mit zu hohen Gehalten). Vor diesem Hintergrund wurde am Aufbau eines entsprechenden Indikators gearbeitet (BO-R-1). Für das DAS-Handlungsfeld „Wald und Forstwirtschaft“ wurde ein Indikator basierend auf den BZE-Daten entwickelt (FW-R-5). Er lehnt sich eng an die Methodik an, die der nationalen Treibhausgas-Berichterstattung zum Kyoto-Protokoll (für  $C_{org}$ ) zugrunde liegt. Für landwirtschaftliche Böden wurde bereits ein UFOPLAN-Vorhaben gestartet mit dem Ziel, einen bundesweiten  $C_{org}$ -Indikator basierend auf BDF-Daten zu entwickeln. Bis zur abschließenden fachlichen Abstimmung der DAS-Indikatoren standen aber keine konkreten für das DAS-Indikatorenprojekt nutzbaren Ergebnisse zur Verfügung. Bayern hat seine BDF bereits umfänglicher ausgewertet und eine Zeitreihe zur Entwicklung der  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte vorgelegt (CAPRIEL 2010<sup>14</sup>). Um die Thematik im DAS-Indikatorenbericht verankern zu können, wird

---

<sup>14</sup> Capriel P. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) 2010: Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe 05 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, Freising, 46 S.

vorgeschlagen, die bayerischen Ergebnisse als „Fallstudie“ zu präsentieren, bis bundesweite Daten aus der BDF-Auswertung zur Verfügung stehen. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft hat sich mit der Nutzung der Daten bereits einverstanden erklärt.

Zu spezifischeren Maßnahmen des Bodenschutzes wie z. B. zur Vermeidung von Erosion und Bodenverdichtung wurde zwar diskutiert, es konnten aber keine geeigneten Datenquellen für eine indikatorenbasierte Darstellung identifiziert werden. Auch die Umstellung der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung hin zu wassersparender Flächenbewirtschaftung als Anpassungsreaktion der Landwirtschaft (z. B. durch pfluglosen Bewirtschaftung) lässt sich mit den derzeit verfügbaren Daten der Agrarstatistik nicht bundesweit abbilden. Indikationsmöglichkeiten wurden erneut im Rahmen des o.g. FuE-Vorhabens „Beitrag der Satellitenfernerkundung zur Ermittlung von DAS-Indikatoren“ diskutiert. Dabei wurde u. a. die Möglichkeit in den Blick genommen, mit einer satellitenbildgestützten Auswertung zur Kontinuität der Bodenbedeckung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen Aussagen zur Anpassung der Bewirtschaftungsplanung (insbesondere im Hinblick auf den Erosionsschutz) zu treffen. Es gibt zwar grundsätzlich nutzbare Datenquellen (wie beispielsweise den „Leaf Area Index“ oder die „Fraction of green vegetation cover“ der globalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung zur Erfassung der Bodenbedeckung und die Corine Land Cover-Daten der paneuropäischen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung zur Abgrenzung der Ackerflächen), bisher aber kein fertiges, für diese Fragestellung direkt nutzbares Copernicus-Produkt. Mehrere Detailfragen u. a. zur zeitlichen Auflösung der Daten (die für die Beurteilung der Kontinuität der Bodenbedeckung hochrelevant ist) wären auf dem Weg zu einem DAS-Indikator zu bearbeiten.

Außerdem wurde mit Blick auf das Themenfeld „Anpassung der Raum- und Nutzungsstruktur“ diskutiert, ob sich über eine satellitenbildgestützte Abbildung linearer Landschaftselemente als Windbarrieren zum Erosionsschutz Aussagen zu Anpassungsmaßnahmen zum Erosionsschutz treffen lassen. Eine entsprechende Indikatordarstellung könnte dabei auf diejenigen Räume fokussieren, die nach den Ergebnissen des Vulnerabilitätsnetzwerks als mit hohem Winderosionsrisiko eingestuft worden sind. Daten zu linearen Landschaftselementen werden derzeit im Riparian Zone Layer der lokalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung angeboten („green linear elements“), allerdings nur für die innerhalb des Layers bearbeiteten Auflächen. Technisch ist die Identifizierung von Linearstrukturen mit höchstauflösenden Daten (< 10 m) möglich, und Automatisierungsverfahren hierfür gibt es. Allerdings sind die methodischen Anforderungen nicht zu unterschätzen, und für die Generierung eines DAS-Indikators würden eventuell Datenkosten entstehen (z. B. für RapidEye Daten). Insgesamt wäre die Aufbereitung der Daten mit einem nicht zu unterschätzender personellen und zeitlichen Aufwand verbunden.

Für die Response-Themenfelder „Aufklärung über Risiken und Gefährdungen“ sowie „Monitoring“ und „Forschung“ konnten keine griffigen Indikationsideen und auch keine sinnvoll verwendbaren Datenquellen identifiziert werden.

### **3.3 Schnittstellen des Handlungsfelds „Boden“ mit anderen DAS-Handlungsfeldern**

Das Handlungsfeld Boden hat enge Verbindungen zu zahlreichen anderen DAS-Handlungsfeldern, die sich mit Bodennutzungen beschäftigen. Hierzu gehören vor allem die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft und die Raumordnung. Analog zum Indikator BO-R-3 (Humusgehalte von Ackerböden) ist auch im Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft ein Indikator FW-R-5 Humusvorrat in forstlichen Böden angelegt worden. Darüber hinaus ist der zum Querschnittsthema Raum-, Regional- und Bauleitplanung entwickelte Indikator RO-R-5 „Siedlungs- und Verkehrsfläche“, der die tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche und damit den Verlust bzw. die starke Beeinträchtigung natürlicher Bodenfunktionen thematisiert, eng mit dem Handlungsfeld Boden verbunden.