

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 200 71 243
UBA-FB 000296



Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz

**- Konkretisierung der international
vorgeschlagenen Indikator-Konzepte
mit national verfügbaren Parametern -**

von

Dipl.-Ing. agr. Jörg Schramek

unter Mitarbeit von

Dipl.-Ing. agr. Marion Immel

Dipl.-Biol. Monika J. Peukert

Dipl.-Geogr. Gabriele Thielmann

Institut für Ländliche Strukturforchung
an der Johann Wolfgang Goethe-Universität,
Frankfurt/M

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

1 Zusammenfassung

Aufgaben und Zielsetzung des F+E-Vorhabens

Umweltindikatoren dienen der Darstellung der Umweltsituation, ihrer Gefährdung und möglicher Trends. Auf nationaler und internationaler Ebene wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Indikatoren-Konzepte entwickelt. Das vorliegende F+E-Vorhaben konzentriert sich auf den Bodenschutz, dazu vorliegende Indikatorenvorschläge und die Frage der Operationalisierung.

Im Mittelpunkt stehen die Vorschläge der Europäischen Umweltagentur (EUA), d.h. des ehemaligen *European Topic Center of Soil* (ETC/S), heute *European Topic Center Terrestrial Environment* (ETC/TE) als nachgeordnete Institution der EUA, und die Problembereiche *Bodenerosion*, *Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr*¹ und *stoffliche Bodenbelastungen* (vgl. Gentile, 1998; Huber et al., 2001). Diese drei Bereiche werden von der EUA (neben Altlasten) als Hauptprobleme für den Verlust von Boden und die Beeinträchtigung der Bodenfunktionen gesehen.

In der Untersuchung wird v.a. den folgenden drei Fragen nachgegangen:

1. Wo lassen sich Gemeinsamkeiten zwischen dem EUA-Konzept und anderen internationalen und nationalen Indikatoren-Konzepten feststellen und wie lassen sich die EUA-Indikatoren ggf. noch verbessern bzw. konkretisieren?
2. Welche bodenschutzrelevanten Daten sind zur Realisierung/Ableitung der verschiedenen Indikatoren erforderlich und wie sieht die Datenverfügbarkeit in Deutschland dazu aus?
3. Mit welchen der bearbeiteten Indikatoren aus dem internationalen Kontext ist aufgrund der Datenlage auch eine Zuarbeit zu nationaler Berichterstattung, wie den *Daten zur Umwelt* möglich?

Einschlägige internationale und nationale Indikatorenkonzepte orientieren sich bei der Strukturierung der Umweltinformationen v.a. an dem *DPSIR-Konzept*, bei dem nach Antriebs- (*Driving Forces*), Belastungs- (*Pressure*),

¹ Die Indikatorenvorschläge der EUA (Huber et al., 2001) konzentrieren sich auf die Bodenversiegelung, die jedoch nur ein Teilproblem der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr darstellt. In dieser Untersuchung werden die Probleme der Flächeninanspruchnahme in ihrer Gesamtheit behandelt.

Zustands- (*State*), Wirkungs- (*Impact*) und Handlungsindikatoren (*Response*) unterschieden wird. Dieser Struktur folgend werden in diesem F+E-Vorhaben die Möglichkeiten der Operationalisierung relevanter Indikatoren diskutiert. Es beinhaltet das Aufzeigen verfügbarer Datenquellen, der Erhebungsfrequenz sowie des räumlichen Bezugs (beispielsweise standort- bzw. punktbezogen oder für verschiedene administrative Gebietseinheiten).

Das DPSIR-Konzept hat jedoch auch seine methodischen Grenzen, worauf nach der Vorstellung der einschlägigen Indikatorenkonzepte ebenfalls eingegangen wird.

Einschlägige internationale Indikatorenkonzepte

Auf internationaler Ebene wurden von der OECD, den Vereinten Nationen, von EUROSTAT, der EUA und von der Europäischen Kommission verschiedene Indikatorenkonzepte entwickelt. Bodenschutzrelevante Fragestellungen und daher auch Indikatoren hatten dabei häufig nur eine untergeordnete Bedeutung und mussten in diesem F+E-Vorhaben zunächst identifiziert werden.

Von der **OECD** werden seit Anfang der 90er Jahre umfassende Arbeiten in Anlehnung an das DPSIR-Konzept² zu Umweltindikatoren durchgeführt. Landwirtschaft stellt einen eigenen Themenkomplex neben Themen wie Klimawandel, Ozonschicht, Luftqualität, Abfall, Fisch-, Wasser- und Waldressourcen sowie Artenvielfalt dar. Die für den Bereich Landwirtschaft entwickelten Umweltindikatoren sind allein für den Bodenschutz relevant (vgl. OECD, 2001). Von Bedeutung sind die Indikatorenvorschläge der OECD für die Bereiche Bodenerosion und stoffliche Bodenbelastungen (vgl. Übersicht 13).

Die **Commission on Sustainable Development (CSD) der Vereinten Nationen** hat im Jahre 1996 einen Katalog von ursprünglich 134 Nachhaltigkeitsindikatoren entworfen, der nach verschiedenen Diskussionen und Testphasen³ sich inzwischen auf 57 Indikatoren reduziert hat. Während im ersten Entwurf die Indikatorenvorschläge nach dem DPSIR-Konzept kategorisiert waren, sind die Indikatoren im jüngsten Entwurf nur noch nach verschiedenen Politikbereichen und Themen strukturiert (United Nations, 2001). *Boden* stellt einen eigenen Themenbereich des CSD-Konzepts dar. Dazu wurden zunächst zwei *Headline-Indikatoren* (*Änderung des Landzustandes* und *Veränderung der Landnutzung*) vorgeschlagen, die in der

² Zunächst nur nach dem PSR-Konzept.

³ Für Deutschland wurden diese Indikatoren vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) erprobt und es liegt hierzu ein Bericht der Bundesregierung vor (BMU, 2000)

Testphase vom BMU v.a. in Hinblick auf die Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr spezifiziert und ergänzt wurden. Landwirtschaft stellte im ersten CSD-Entwurf noch einen eigenen Themenbereich dar, wurde aber im Zuge der Überarbeitung als Unterkategorie in den Themenbereich Boden integriert. Aus dem Bereich Landwirtschaft ließen sich v.a. relevante Indikatoren in Hinblick auf stoffliche Bodenbelastungen identifizieren (vgl. Übersicht 13).

Von **EUROSTAT** wurde in Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission (GD XI) ein europaweites Projekt zu Umweltindikatoren durchgeführt und 1999 abgeschlossen (EUROSTAT, 1999). Das Projekt konzentrierte sich allein auf *Pressure*-Indikatoren. Für insgesamt zehn Politikfelder wurden Indikatoren entwickelt. Als relevant für die Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz erwiesen sich v.a. Indikatoren aus folgenden drei Politikfeldern:

1. Verbrauch von Ressourcen mit der Unterkategorie Nährstoffbilanzen des Bodens,
2. Verbreitung toxischer Substanzen mit der Unterkategorie Pestizidverbrauch in der Landwirtschaft sowie
3. Städtische Umweltprobleme mit der Unterkategorie Landnutzung.

Indikatorenvorschläge der ersten beiden Politikfelder waren für den Bereich *stoffliche Bodenbelastungen* und aus dem Politikfeld *Städtische Umweltprobleme* für den Bereich *Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr* relevant (vgl. Übersicht 13).

Von der **EUA** wird seit 1999 ein regelmäßiger Indikatorenbericht (*Environmental Signals*) mit 13 Themenbereichen herausgegeben (EUA, 1999b, 2000). *Landwirtschaft* ist davon bislang der einzige Themenbereich mit relevanten Indikatoren für dieses F+E-Vorhaben, konkret für den Bereich *stoffliche Bodenbelastungen* (vgl. Übersicht 13).

Über die *Environmental Signals* hinaus werden derzeit von der EUA, d.h. vom ETC/TE Vorschläge für ein indikatorengestütztes Bodenmonitoring und -bewertungssystem entwickelt (Gentile, 1998; Huber et al., 2001). Die hier entwickelten Indikatorenvorschläge sind auch der Ausgangspunkt für dieses F+E-Vorhaben (s.o.).

Im Rahmen der Indikatorenarbeiten der **Europäischen Kommission, Generaldirektion Landwirtschaft** wurden keine neuen Indikatoren entwickelt. Es handelt sich dabei vielmehr um eine Überprüfung der Indikatorenkonzepte von OECD, EUROSTAT und EUA auf ihre Nutzbarkeit für die Integration von Umweltbelangen in die gemeinsame Agrarpolitik. Es wurden Indikatoren selektiert, die das Verhältnis zwischen Landwirtschaft

und Umwelt besonders gut wiedergeben und sich mit Daten realisieren lassen (vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2000). Indikatorenvorschläge mit Relevanz für den Bodenschutz betreffen die Bereiche *Bodenerosion* sowie *stoffliche Bodenbelastungen* (vgl. Übersicht 13).

Einschlägige nationale Indikatorenkonzepte

Für Deutschland wurden die OECD-Indikatorenvorschläge und die CSD-Indikatoren bereits getestet und konkretisiert (Walz et al., 1997; BMU, 2000). Darüber hinaus wurden aber auch eigenständige bodenschutzrelevante Indikatorenkonzepte für Deutschland entwickelt. Hier sind die Arbeiten des Statistischen Bundesamtes, des BMU und des Instituts für Europäische Integrationsforschung e.V. zu nennen:

Vom **Statistischen Bundesamt** wurde ein Indikatorensystem für den Zustand der Umwelt in Deutschland entwickelt (Radermacher et al., 1998). Ein Element dieses Indikatorensystems ist das *Statistische Informationssystem zur Bodennutzung* (STABIS). STABIS war ursprünglich eingebettet in das europaweite Vorhaben CORINE Land Cover (CoORDination of INFORMATION on the Environment), bei dem mit Hilfe von Satellitendaten, Luftbildern und topographischen Karten die Bodenbedeckung in Deutschland bestimmt wurde. Nach dem Abschluss des CORINE-Programms wird STABIS nun in Verbindung mit dem EUA-Vorhaben EIONET (Environmental Information and Observation Network) fortgesetzt. Bodenschutzrelevante Daten lassen sich hieraus für die Bereiche *Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr* sowie *stoffliche Bodenbelastungen* verwenden (vgl. Übersicht 13).

Boden ist einer von sechs Umweltbereichen des *Umwelt-Barometers* des **BMU**. Als Schlüsselindikator für den Bereich Boden wird im *Umwelt-Barometer* der *Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Tag* quantifiziert, wobei das Ziel verfolgt wird, den Zuwachs von derzeit 129 ha pro Tag bis zum Jahre 2020 auf 30 ha pro Tag zu reduzieren.

Die nationale **Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung** nimmt ebenfalls Bezug auf den *Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Tag* als Indikator für den Flächenverbrauch.

Vom **Institut für Europäische Integrationsforschung e.V.** wurde ein Indikatorensystem zur Bewertung der ökologischen Leistungen und Lasten der Landwirtschaft entwickelt (Geier et al., 1999). Bodenschutzrelevante Indikatorenvorschläge betreffen die Bereiche *Bodenerosion* und *stoffliche Bodenbelastungen* (vgl. Übersicht 13).

Übersicht 13 gibt einen zusammenfassenden Überblick zur Relevanz bestehender Indikatorenkonzepte für die Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz. Daraus wird deutlich, dass sich fast

alle Arbeiten direkt oder indirekt mit dem Problembereich *stofflicher Bodenbelastungen* befassen. Die Problembereiche *Bodenerosion* und *Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr* werden hingegen nur in drei bzw. vier der insgesamt acht einschlägigen Konzepte berührt. Die bodenschutzrelevanten Indikatorenvorschläge konzentrieren sich v.a. auf die Bereiche *Driving Forces*, *Pressure* und *State*.

Übersicht 13: Relevanz internationaler und nationaler Indikatorenkonzepte für die Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz

	Einschlägige Indikatorenkonzepte	Bodenerosion	Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr	Stoffliche Bodenbelastungen
Internationale Konzepte	OECD			
	CSD			
	EUROSTAT			
	EUA (Environmental Signals)			
	Europäische Kommission			
Nationale Konzepte	Statistisches Bundesamt			
	Nachhaltigkeitsstrategie			
	BMU (Umwelt-Barometer)			
	Institut für Europäische Integrationsforschung e.V.			
Quelle: Eigene Zusammenstellung				

Methodische Grenzen des DPSIR-Konzepts

Als problematisch hat sich in der Praxis, d.h. bei der Entwicklung von Indikatoren, eine eindeutige Klassifizierung nach den fünf DPSIR-Kategorien erwiesen. So war beispielsweise in vielen Fällen keine eindeutige Unterscheidung nach *Driving Forces* und *Pressure* möglich. Hinter Umweltbelastungen, die mit *Pressure*-Indikatoren beschrieben werden stehen in der Regel menschliche Aktivitäten, die durch *Driving Forces*-Indikatoren beschrieben werden. Eine klare Unterscheidung ist oftmals aber nicht möglich, da Umweltbelastungen (*Pressure*) fast immer anthropogenen Ursprungs (*Driving Forces*) sind.

Auch die Unterscheidung nach *State*- und *Impact*-Indikatoren gestaltet sich in der Praxis als schwierig. So ergibt sich die Kategorisierung immer aus dem Blickwinkel, aus dem der Umweltwirkungsprozess beurteilt wird. Bodenerosion in t pro Hektar und Jahr kann beispielsweise sowohl als ein Zustandsindikator (*State*) für den Verlust von wertvollem Bodenmaterial

gesehen werden, andererseits aber auch als Belastungsindikator, d.h. *Impact*-Indikator, für die Beeinträchtigung von Gewässern, in die erodiertes Material eingeschwemmt wird.

Der Verlust von Boden und die Beeinträchtigung der Bodenfunktionen beruht oftmals auf komplexen Wirkungszusammenhängen, die sich nicht auf einfache Ursache-Wirkungs-Schemen reduzieren lassen. Die Untersuchung ergab beispielsweise, dass sich für alle drei untersuchten Problembereiche des Bodenschutzes (Bodenerosion, Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr, Stoffliche Bodenbelastungen) keine aussagekräftigen bzw. ausreichend wissenschaftlich fundierten *Impact*-Indikatoren finden lassen, die dieser Komplexität ausreichend Rechnung tragen.

Das Fehlen normativer Indikatoren

Das DPSIR-Konzept dient v.a. der Beschreibung kausaler Wirkungszusammenhänge in der Umwelt, um daraus geeignete politische Maßnahmen abzuleiten. Dabei überwiegen *deskriptive* Indikatoren. Für die Bewertung bzw. Erfolgskontrolle einer nachhaltigen Entwicklung sind jedoch *normative* Indikatoren notwendig. Dies sind Indikatoren, die neben der deskriptiven Darstellung einer Umweltsituation auch eine entsprechende Zielgröße, ein sogenanntes *Umweltqualitätsziel*, enthalten.

Normative Indikatoren für den Bodenschutz lassen sich schwer realisieren, da sich aufgrund der Multifunktionalität von Böden kein eindeutiges Qualitätsziel definieren lässt. Je nach Bodenfunktion werden unterschiedliche Anforderungen an die biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens und somit die Bodenqualität gestellt.

Die Anzahl der Bodenqualitätsziele nimmt mit wachsender Aggregatsebene (z.B. für Bundesländer, Deutschland oder die EU) zu. Dies ist sicherlich auch ein Grund für das Fehlen normativer Indikatoren in einschlägigen nationalen und internationalen Indikatorenkonzepten. Auf europäischer Ebene kommt erschwerend hinzu, dass es bisher noch keine europäische Rahmengesetzgebung im Bereich Boden gibt und damit auch einheitliche Grenzwerte fehlen.

Als einen der wenigen deutschlandweiten normativen Indikatoren für den Bodenschutz ist das Ziel des BMU zu nennen, den Zuwachs an Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland von derzeit 129 ha pro Tag bis zum Jahre 2020 auf 30 ha pro Tag zu reduzieren (Umwelt-Barometer).

Relevante Indikatoren

Nach Prüfung verschiedener Indikatorenvorschläge zur Beschreibung der Wirkungszusammenhänge für die Problembereiche *Bodenerosion*, *Flä-*

cheninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr und *Stoffliche Bodenbelastungen* konnte eine beschränkte Anzahl relevanter Indikatoren identifiziert werden, die sich in einigen Fällen auch deutschlandweit mit Daten unterlegen lassen und somit die Zuarbeit für eine nationale Berichterstattung ermöglichen. Relevante Indikatoren, die sich kurz- bzw. mittelfristig realisieren lassen, sind in den Übersichten 14 bis 16 dunkel markiert.

In den Übersichten 14 bis 16 aufgeführt, aber nicht dunkel markiert sind darüber hinaus

- Indikatoren, die zwar relevant, sich jedoch (noch) nicht für ein deutschlandweites Indikatorensystem mit Daten quantifizieren lassen.
- Indikatoren, die sich erst mittel- bis langfristig als relevant erweisen könnten, deren Aussagekraft aber erst noch mit Forschungsergebnissen belegt und die möglicherweise auch noch modifiziert werden müssen.

Bodenerosion⁴

Driving Forces-Indikatoren für Bodenerosion

Von verschiedenen Antriebs- und Belastungsfaktoren, welche Bodenerosion beeinflussen, lässt sich allein der Einfluss der Bodenbedeckung mithilfe des *Bodenbedeckungs- und bearbeitungsindex* beschreiben. Dieser *Driving Forces*-Indikator setzt sich aus landwirtschaftlichen Bodennutzungsdaten und Kennwerten zum Bodenbedeckungs- und bearbeitungsfaktor (C-Faktor der ABAG) zusammen.

Als Datengrundlage dient die Bodennutzungshaupterhebung des Bundes und der Länder. Auf Ebene der Gemeinden werden die Flächennutzungsdaten für Dauergrünland und Ackerland im vierjährigen Turnus veröffentlicht, wobei das Ackerland noch weiter nach angebauten Kulturarten differenziert ist.

Bodenbedeckungsdaten aus dem europäischen CORINE Land Cover Projekt eignen sich weniger für diesen Indikator, da das Ackerland hier nicht weiter nach Kulturarten aufgegliedert ist. Gegen einen solchen Indikator spricht außerdem, dass die Bodenbedeckungsdaten erst einmal, im

⁴ Bodenerosionsprozesse (On-Site) und mögliche Indikatoren zu ihrer Beschreibung werden derzeit in einem parallel laufenden F+E-Vorhaben des UBA - *Indikatoren für ein nationales Monitoring der Umwelteffekte landwirtschaftlicher Produktion - Testphase* (FKZ 200 12 118)- behandelt. Das vorliegende Vorhaben konzentrierte sich daher v.a. auf Wassererosion und die Bereiche *Driving Forces*, *Impact* und *Response*.

Jahre 1992, erhoben wurden und daher derzeit noch keine zeitlichen Entwicklungstrends zulassen.

Von großer Bedeutung für eine Verbesserung der Aussagekraft des *Bodenbedeckungs- und bearbeitungsindex* sind die zu erwartenden Ergebnisse eines zur Zeit parallel laufenden F+E-Vorhaben des UBA.⁵ In diesem F+E-Vorhaben sollen regional typische Fruchtfolgen auf Ebene der Landkreise für Deutschland dargestellt werden.

State-Indikatoren für Bodenerosion

Die *Tatsächliche Bodenerosionsgefährdung (t/ha*a)* ist die rechnerische Vorhersage von Bodenerosion durch Wasser mithilfe der ABAG (Überarbeitung der USLE durch Schwertmann et al 1990 für mitteleuropäische Böden). Deutschlandweit lässt sich dieser *State*-Indikator erst kurz- bis mittelfristig realisieren.

Zur flächendifferenzierten Identifikation der Erosionsdisposition in Deutschland, wurde von der BGR eine Karte im Maßstabe 1:1 Mio. entwickelt. Sie beruht auf den gegebenen standörtlichen Einflussfaktoren (Niederschlag, Bodenbeschaffenheit, Topographie, Hauptnutzungstypen) und die Erosionsdisposition wird sich im Zeitverlauf nur wenig verändern. Die Karte dient daher der Beschreibung einer Referenzsituation. Für die Beschreibung der *tatsächlichen Bodenerosionsgefährdung* sind die anthropogenen Einflussfaktoren (Bodenbedeckung und -bearbeitung sowie Erosionsschutzmaßnahmen) zu integrieren.

Aufgrund der derzeit laufenden Arbeiten zur deutschlandweiten Bestimmung regional typischer Fruchtfolgen, sind kurz- bis mittelfristig Ergebnisse zur Bodenbedeckung und -bearbeitung (C-Faktor der ABAG) zu erwarten. Aus den Umsetzungsdaten der Agrarumweltprogramme (geförderte Fläche) der Bundesländer lassen sich weitere Informationen zum C-Faktor sowie zu Erosionsschutzmaßnahmen (P-Faktor der ABAG) gewinnen. Kurz- bis mittelfristig müsste daher die Darstellung der *tatsächlichen Bodenerosionsgefährdung* mit Karten für Deutschland ebenfalls möglich sein.

Impact-Indikatoren der Bodenerosion

Off-Site-Schäden (*Impact*) von Bodenerosion durch Wasser in Form von Sedimentfrachten in benachbarte Kompartimente und Oberflächengewässer lassen sich bisher noch nicht mit geeigneten Methoden beschreiben. So gibt es zwar methodische Ansätze, bei denen Sedimentfrachten in Flüssen

⁵ Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistiken und aktuellen Daten zur Bodennutzung (FKZ: 200 71 247).

gemessen werden. Die Messergebnisse eignen sich aber noch nicht als *Impact*-Indikatoren für Bodenerosion, da aus den gemessenen Sedimenten nicht auf ihre landwirtschaftlichen Herkunft und die Größe des Einzugsgebiets geschlossen werden kann.

Methodische Ansätze zur modellbasierten Kalkulation von Sedimentausträgen von Ackerflächen sind bisher ebenfalls noch nicht so weit ausgereift, um als *Impact*-Indikatoren verwendet werden zu können.

Response-Indikatoren für Bodenerosion

Der Anteil von *erosionsgefährdeten Flächen, auf denen Erosionsschutzmaßnahmen erfolgen (%)* wird sich kurz- bis mittelfristig als *Response*-Indikator für Bodenerosion realisieren lassen. Erosionsschutzmaßnahmen sind Bestandteil der Agrarumweltprogramme der Bundesländer und wurden im Rahmen dieser Untersuchung identifiziert. Flächendaten zur Inanspruchnahme dieser Fördermaßnahmen durch Landwirte liegen bei den Bundesländern vor und müssen auch dort nachgefragt werden. Durch die Verknüpfung der Flächendaten, auf denen Erosionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden, mit der Karte der BGR zur Erosionsdisposition in Deutschland, lässt sich dieser Indikator letztendlich quantifizieren.

Übersicht 14: Synopse relevanter Indikatoren für den Problembereich *Bodenerosion* und ihre kurz- bis mittelfristige Realisierbarkeit

Intensive Landwirtschaft (Driving Forces / Pressure)		Bodenerosion (On-Site) (State)		Externe Wirkungen der Wassererosion (Off-Site) (Impact)		Erosionsschutzmaßnahmen (Response)	
Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren
- Bodenbedeckung und -bearbeitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen	- Bodenbedeckungs u. -bearbeitungsindex (Bodennutzung * C-Faktor) ^{b); c)}	- Wassererosion	- Rechnerische Vorhersage des Bodenabtrags (t/ha*a) – "Tatsächliche Erosionsgefährdung" ^{b)}	- Sedimentaustrag in Kompartimente außerhalb der erodierten Flächen	- Gemessene Sedimente in Gewässern (t) ^{b)} - Gemessene Sedimentfrachten in Flüssen (t/m ³ *a) ^{a)} - Modellkalkulation des Sedimentaustrages von Ackerflächen (t) ^{f)} - Kosten zur Beseitigung der Sedimentablagerungen (DM) ^{a) b) f)}	- Bodenbedeckung und -bearbeitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen	- Mulchsaatverfahren (% an LF) - Untersaaten (% an LF) - Begrünungsmaßnahmen bei Dauerkulturen (% an LF) - Winterzwischenfruchtanbau (% an LF)
- Grosse Acker-schläge			- Rechnerische Vorhersage des Bodenabtrags im Verhältnis zur höchsten Toleranzgrenze für Bodenabtrag (%)			- Größe der Acker-schläge	- Konturstreifen (Anzahl der Maßnahmen) - Terrassierung (Anzahl der Maßnahmen)
		- Winderosion *		- Gewässer-trophierung *			

Fußnoten:
 Indikatorenvorschläge a) EUA (Huber et al., 2001); b) OECD, 2001; c) Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2000; d) Geier et al., 1999 e) Düwel & Utermann, 1999 f) Doleschel & Heißenhuber (1991).
 * Dieser Aspekt bleibt von dieser Untersuchung ausgeklammert
Dunkle Schattierung kennzeichnet relevante Indikatoren, die sich kurz- bis mittelfristig mit deutschlandweiten Daten quantifizieren lassen.

Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr

Driving Forces-Indikatoren für Flächeninanspruchnahme

Die Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr ist v.a. durch wachsende individuelle Raumnutzungsansprüche der Bevölkerung geprägt. Sie schreitet durch die Siedlungsflächenentwicklung in suburbanen Räumen voran (*Suburbanisierung*). Der sich ändernde Druck auf die Freiflächeninanspruchnahme lässt sich daher, neben verschiedenen anderen *Driving Forces*-Indikatoren, am besten durch den *Suburbanisierungsgrad* (*Siedlungsflächenentwicklung im suburbanen Raum im Verhältnis zur Kernstadt*) beschreiben (vgl. Übersicht 15).

Da die Suburbanisierung insbesondere durch das *Baulandpreisgefälle* zwischen Agglomerationsraum und Einzugsgebiet vorangetrieben wird, kann der *Suburbanisierungsgrad* auch als ein indirekter Indikator hierfür gesehen werden. Das *Baulandpreisgefälle* lässt sich nicht mit einem eigenen Indikator quantifizieren, weil Daten zu Baulandpreisen nur für die Landkreise in Deutschland veröffentlicht werden und damit für diesen Indikator nicht ausreichend regional differenziert sind.

Suburbane Räume und Kernstädte zur Bestimmung des *Suburbanisierungsgrades* lassen sich aus den allgemeinen Raumbesichtigungen der BBR identifizieren. Die Siedlungsflächenentwicklung wird außerdem jährlich von Bund und Ländern im Rahmen der Flächenstatistik erhoben. Sie kann für Gemeinden und Ortsteile von den Liegenschaftsämtern zur Verfügung gestellt und so die Entwicklungen für Kernstadt und suburbane Räume getrennt analysiert werden.

State-Indikatoren für Flächeninanspruchnahme

Die Indikatorenvorschläge zur Beschreibung der Flächeninanspruchnahme (*State*) (vgl. Übersicht 15), unterscheiden sich im wesentlichen durch ihre statistischen Grundlagen. So beruht der Indikator *Siedlungs- und Verkehrsfläche (in Hektar)* auf der Flächenstatistik des Bundes und der Länder und setzt sich aus *Gebäude- und Freiflächen*, *Betriebsflächen*, *Verkehrsflächen* und *Erholungsflächen* zusammen. Die Trendaussage wird durch den Indikator *Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche (in Hektar/Tag)* gegeben.

Der Indikator *Bebaute Flächen (% der Gesamtfläche)* basiert auf Daten von CORINE Land Cover und stellt eine eigene Kategorie der CORINE-Nomenklaturen dar. *Bebaute Flächen* nach CORINE Land Cover eignen sich aber hauptsächlich als *State*-Indikator für EU-weite Betrachtungen,

weil die CORINE-Daten nur im 10-jährigen Turnus erhoben werden und bisher nur für das Jahr 1992 vorliegen.

Bodenversiegelung ist die extremste Form der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr. Neben dem Verlust von Boden für andere Nutzungen werden die natürlichen Bodenfunktionen beeinträchtigt. Aus verfügbaren Datenquellen, wie der Flächenstatistik des Bundes und der Länder, den Bodenbedeckungsdaten von CORINE Land Cover oder den ATKIS-Daten der Landesvermessungsverwaltungen lässt sich der Versiegelungsgrad jedoch nicht bestimmen, weil auch stets die zugehörigen Freiflächen mit erfasst werden. Es besteht daher noch weiterer Forschungsbedarf, Informationen der Flächenstatistik mit Informationen der Fernerkundung durch Satelliten zu kombinieren, bevor die *Bodenversiegelung innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen (%)* als weiterer *State-Indikator* realisiert werden kann.

Impact-Indikatoren der Flächeninanspruchnahme

Die Umweltwirkungen der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr sind vielfältig (vgl. Übersicht 15). Bisher lassen sich diese vielfältigen Umweltwirkungen jedoch nicht mit geeigneten *Impact-Indikatoren* beschreiben. Indikatorenvorschläge, die an der Schadensseite, z.B. den hydrologischen Folgen, ansetzen, wie beispielsweise der *Anzahl von bedeutenden Überschwemmungen und Erdbeben* sind nicht genügend aussagekräftig, weil sich mit ihnen keine eindeutigen kausalen Wirkungszusammenhänge zur Bodenversiegelung bzw. Flächeninanspruchnahme herstellen lassen.

Ein anderer Ansatz, bei dem die ökologischen Auswirkungen verschiedener Bodenbedeckungsarten von Siedlungs- und Verkehrsflächen mit einem ÖKO-Wert als relativem Index beschrieben werden, ist mit erheblichen Datenrecherchen zur Art der Bodenbedeckung verbunden und daher für ein deutschlandweites Indikatorensystem derzeit noch nicht geeignet.

Response-Indikatoren für Flächeninanspruchnahme

Ein wichtiger *Response-Indikator*, der in Deutschland bereits im Rahmen des Umwelt-Barometers realisiert wird, ist der *Zielerreichungsgrad von höchstzulässigen Zuwachsraten für Siedlung und Verkehr (Soll-Ist-Vergleich)*.

Als relevanter *Response-Indikator* wird in der Literatur auch häufig die *Wiedernutzung von aufgegebenen Siedlungs- und Verkehrsflächen (Brachflächenrecycling; z.B. Industrie- und Militärflächen)* genannt. Dieser Indikator lässt sich aber bisher noch nicht für ein deutschlandweites Indikatorensystem verwenden, da die hierfür erforderlichen Daten in aufwendigen

Verfahren aus Infrastruktur- und Landnutzungsplänen entnommen werden müssen.

Übersicht 15: Synopse relevanter Indikatoren für den Problembereich *Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr* und ihre kurz- bis mittelfristige Realisierbarkeit

Wachsende Raumnutzungsansprüche (Driving Forces / Pressure)		Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr (State)		Umweltwirkungen der Flächeninanspruchnahme (Impact)		Reduzierung der Flächeninanspruchnahme (Response)	
Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren
- Wachsender materieller Wohlstand und individuelle Raumnutzungsansprüche	- Bevölkerungsdichte (Einw./km ²) ^{a) e)} - Siedlungsdichte (Einw./km ² Siedfl.) ^{c)} - Veränderung des Wohnflächenbedarfs (m ² Wohnfl./Einw.) ^{g)} - Suburbanisierungsgrad (Siedlungsflächenentw. Umland/Kernstdt) ^{g)}	- Suburbanisierung/ Verbesserte Mobilität	- Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche (ha/ha) - Zunahme Siedlungs- und Verkehrsfläche (ha pro Tag) ^{a) b) c) f) h)} - Neuversiegelung innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen (ha/Tag) ^{b) h)} - Bebaute Flächen (%) ⁱ⁾ - Anteil versiegelter Flächen an qualitativ hochwertigen Böden (%) ^{b)}	- Verlust von Boden für andere Nutzungen - Einschränkung Lebensraumfunktionen - Einschränkung Grundwasserneubildung - Beschleunigter Niederschlagsabfluss - Beeinflussung des Kleinklimas - Beeinträchtigung des ästhetischen Landschaftsempfindens - Verschlechterung der Städtebauhygiene	- ÖKO-Wert gemessen an Versiegelungsgrad in Verbindung mit Siedlungs- und Verkehrsfläche (ÖKO-Wert für Städte multipliziert mit m ² Siedlungs- und Verkehrsfläche) ^{j)}	- Verdichtung in städtischen Innenräumen anstelle von Neuer-schließungen	- Brachflächenrecycling (z.B. Industrie- und Militärfächen) (% an Siedlungs- und Verkehrsfläche) ^{l)} - Zielerreichungsgrad der Zuwachsrates für Siedlung- und Verkehrsfläche (Soll-Ist) ^{a) e)}
- Baulandpreisgefälle	- Baulandpreisgefälle zwischen Agglomerationsraum und Einzugsgebiet (DM/m ²)						

Fußnoten:
 Indikatorenvorschläge a) EUA (Huber et al., 2001); b) CSD (BMU, 2000; United Nations, 2001); c) EUROSTAT, 1999; d) Statistisches Bundesamt (Radermacher et al., 1998); e) Umwelt-Barometer des BMU; f) Dosch, 2000; g) Blach & Irmen, 1999; h) Walz et al., 1997 i) Düwel & Utermann, 1999; j) Artl & Lehmann, 1999
 * Dieser Aspekt bleibt von dieser Untersuchung ausgeklammert
 Dunkle Schattierung kennzeichnet relevante Indikatoren, die sich kurz- bis mittelfristig mit deutschlandweiten Daten quantifizieren lassen.

Stoffliche Bodenbelastungen

Driving Forces-Indikatoren für stoffliche Bodenbelastungen

Die Ursachen für stoffliche Bodenbelastungen sind vielfältig und erfolgen zumeist über lange Wirkungsketten⁶, deren Gesamtbetrachtung den Rahmen dieser Untersuchung gesprengt hätte.

Die Untersuchung konzentriert sich daher auf die direkten Einwirkungen auf den Boden, d.h. den stofflichen Einträgen aus Landwirtschaft und Luft.

Die Eintragsquellen aus der Landwirtschaft sind v.a. Pflanzenschutzmittel (PSM), Düngemittel (Wirtschaftsdünger, Mineraldünger) und die Aufbringung von Klärschlämmen und Komposten. Die Belastung, die von Düngemitteln ausgeht, ist einerseits die Überversorgung von Böden durch Stickstoff. Dadurch werden die Puffer-, und Stoffumwandlungseigenschaften des Bodens eingeschränkt und die Gefahr der Nitratauswaschung in das Grundwasser sowie für Lachgasemission in die Luft bestehen.⁷ Von Düngemitteln und v.a. auch Klärschlamm geht darüber hinaus auch eine Belastung von Böden durch Schwermetalle aus.

Der in einschlägigen Indikatorenkonzepten am häufigsten verwendete *Driving Forces*-Indikator zur Beschreibung von Bodenbelastungen durch PSM ist der *Pflanzenschutzmitteleinsatz in kg pro Hektar und Jahr*. Dieser Indikator ist aber in seiner Aussagekraft eingeschränkt, da nur Daten zum Verkauf von PSM existieren, die dem Verbrauch gleichgesetzt werden. Außerdem wird pauschal die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche oder einzelne Kulturarten für diesen Indikator als Referenzfläche zugrunde gelegt. Die Aussagekraft dieses Indikators ist aber auch deshalb eingeschränkt, weil mit der Einführung neuer PSM-Produkte oft andere Wirkstoffe verwendet werden und sich die empfohlene Aufwandmengen in den vergangenen Jahren reduziert haben. Eine pauschale Reduktion dieses Indikators kann daher nicht automatisch als Risikominderung für die Umwelt interpretiert werden. Vor diesem Hintergrund befinden sich derzeit auch Indikatoren in der Entwicklung, bei denen mit Hilfe eines *Risikoindex* die sich ändernde Gefährdung von PSM auf den Naturhaushalt charakterisiert wird.

⁶ Beispielsweise Schadstoffemissionen von Industrie und Verkehr in die Luft, die dann auf diesem Wege in den Boden gelangen.

⁷ Ammoniakemissionen entstehen in der Viehhaltung sowie der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, sind aber keine Folge von Bodeneutrophierung und finden daher an dieser Stelle keine Betrachtung.

Auf internationaler Ebene befinden sich Methoden zur Beschreibung des Risikos von PSM aber erst noch in der Entwicklung. Weiter fortgeschritten sind die Arbeiten für Deutschland. Der *Risikoindex* wird in einem relativ aufwändigen Verfahren ausgehend von den Verkaufsmengen verschiedener PSM-Wirkstoffe für Gesamtdeutschland bestimmt. Durch einen IST-IST-Vergleich verschiedener Jahre lässt sich feststellen, ob sich das Risiko des PSM-Einsatzes verschärft oder verringert.

Die durchschnittliche betriebliche *Kulturartendiversität in einer Wirtschaftsregion oder einem Bundesland (Anzahl der angebauten Ackerkulturen pro Betrieb und Jahr)* stellt einen weiteren relevanten *Driving Forces*-Indikator für Bodenbelastungen durch PSM dar. Der Indikator kennzeichnet vielgliedrige oder enge Fruchtfolgen, die wiederum den Unkraut- und Schädlingsdruck und somit den PSM-Einsatz beeinflussen. Eine hohe *Kulturartendiversität* ist kennzeichnend für vielgliedrige Fruchtfolgen sowie einen geringen PSM-Einsatz und umgekehrt ist eine niedrige *Kulturartendiversität* ein Kennzeichen für enge Fruchtfolgen und einen vergleichsweise hohen PSM-Einsatz.

Die durchschnittliche *Kulturartendiversität* einer Region muss aus einzelbetrieblichen Daten hochaggregiert werden. Die auf Gemeindeebene aggregierten Daten der Bodennutzungshaupterhebung sind daher nicht geeignet. Alternativ könnten INVEKOS-Daten⁸ herangezogen werden, bei denen es sich aber um keine offiziellen Statistiken handelt und die daher direkt bei den Bundesländern nachgefragt werden müssten.

Nährstoffüberschüsse aus Düngemitteln, die den Boden belasten, lassen sich über *Nährstoffbilanzen (kg N pro ha und Jahr)* beschreiben. *Hofterbilanzen* und *Flächenbilanzen* sind hierzu gängige Verfahren. Mithilfe des Agrarsektormodells *RAUMIS* wird dieser *Driving Forces*-Indikator bereits deutschlandweit nach dem *Flächenbilanzkonzept* realisiert. Die N-Bilanzsaldos werden auf Ebene der Landkreise berechnet.

Düngemittel (Mineraldünger, Wirtschaftsdünger) und Klärschlamm enthalten neben den gewünschten Nährstoffen auch Schadstoffe, v.a. Schwermetalle. *Schwermetallfrachten (mg Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr/ha)* stellen daher einen weiteren wichtigen *Driving Forces*-Indikator für stoffliche Bodenbelastungen dar. Für eine ganzheitliche Beschreibung der Stofffrachten sind neben den Düngemitteln auch die luftgetragenen Schwermetalle einzubeziehen.

Klärschlämme werden in der Landwirtschaft bislang im Rahmen der Regelungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) auf Böden aufge-

⁸ Das INVEKOS-System (*Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem*) wurde mit der EU-Agrarreform von 1992 eingeführt, wonach alle Landwirte, die Agrarförderung erhalten, verpflichtet sind, jährlich differenzierte Angaben zur Flächennutzung und Tierhaltung ihres Betriebes zu machen.

bracht. Im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes sind die Schadstofffrachten bei der Ausbringung von Materialien auf den Boden zu minimieren. Die Praxis der Klärschlammaufbringung sollte nach Auffassung von BMU und UBA daher geändert werden und es sollten keine oder allenfalls noch sehr schadstoffarme Klärschlämme für Düngezwecke zugelassen werden (Umweltbundesamt, 2001). Diese Minimierungsbestrebungen und hohen qualitativen Anforderungen müssen bei der Untersetzung möglicher internationaler Indikatorenkonzepte berücksichtigt werden.

Ein regional differenzierter Indikator wäre erforderlich, um Standorte mit Akkumulation von Schwermetallen aus den verschiedenen Eintragsquellen zu identifizieren. Die Datenlage in Deutschland erlaubt bisher jedoch nur eine regional differenzierte Darstellung von *Schwermetallfrachten* aus Wirtschaftsdünger, Klärschlamm und der Luft. *Schwermetallfrachten* aus Mineraldüngern lassen sich nur für Deutschland insgesamt bestimmen.

Schwermetallfrachten aus Wirtschaftsdünger errechnen sich aus dem Viehbesatz⁹, der durchschnittlich pro Jahr und Tier (Rinder, Schweine, Geflügel) anfallenden Menge an Wirtschaftsdünger¹⁰ und den durchschnittlichen Schwermetallgehalten der Wirtschaftsdünger¹¹. Die Viehbestände werden alle zwei Jahre von den statistischen Landesämtern erhoben und auf Ebene der Landkreise veröffentlicht.

Informationen zur Ausbringung von Klärschlamm müssen gemäß der Klärschlammverordnung schlagspezifisch dokumentiert werden. Zusammen mit den Angaben zur mittleren Schwermetallkonzentrationen der in der Landwirtschaft verwendeten Schlämme ließen sich die Schwermetallfrachten regional differenziert quantifizieren. Bisher werden die Angaben zur Produktion und Ausbringung von Klärschlamm sowie zu den mittleren Schwermetallkonzentrationen für die Bundesländer aggregiert in Form von Jahresberichten an das BMU und das UBA weitergeleitet. Für eine Weitergabe an europäisch Stellen steht gemäß der intentionalen Berichtspflichten (Klärschlammrichtlinie) nur diese Aggregation zu Verfügung. Für eine regional differenzierte Beschreibung der *Schwermetallfrachten* müssten zusätzlich regionale Daten bei den Bundesländern nachgefragt werden, was mit einem erheblichen Aufwand und mit datenschutzrechtlichen Problemen verbunden ist.

Luftgetragene Schwermetalldepositionen werden in Deutschland durch das UBA-Luftmessnetz und die Luftmessnetze der Bundesländer erfasst.

⁹ In *Großvieheinheiten pro Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche (GVE/ha LF)*.

¹⁰ Hierzu existieren Faustzahlen.

¹¹ Es liegen Informationen zu durchschnittlichen Schwermetallgehalten von Rinder- und Schweinegülle sowie Festmist vor.

Schwermetallfrachten aus Mineraldüngern lassen sich nicht regional differenziert darstellen. So liegen zwar Informationen zu durchschnittlichen Schwermetallgehalten verschiedener Mineraldünger vor, jedoch nicht zur ausgebrachten Menge an Mineraldünger und Jahr. Als Annäherung wird der Verkauf von Mineraldünger dem Verbrauch gleichgesetzt, wobei sich die Verkaufsdaten jedoch auf Gesamtdeutschland als Referenzfläche beziehen.

State-Indikatoren für stoffliche Bodenbelastungen

Die stofflichen Bodenbelastungen lassen sich durch Belastungen mit anorganischen Schadstoffen, organischen Schadstoffen sowie der Bodenversauerung im Sinne von *State* beschreiben. Da Critical Loads zur Bodenversauerung bereits in Karten für Deutschland zusammen mit Überschreitungen durch Schwefel und Stickstoffeinträgen ausreichend dokumentiert werden, wurde die Bodenversauerung in dem vorliegenden F+E-Vorhaben nicht weiter berücksichtigt.

Bodenbelastungen durch Schwermetalle lassen sich durch gemessene *Schwermetallgehalte des Bodens (mg/kg Trockensubstanz Boden)* quantifizieren (*State*-Indikator). Die Schwermetallgehalte werden an den rund 800 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) der 16 Bundesländer gemessen und bieten derzeit die einzige Datengrundlage aus einem einheitlichen Monitoringsystem, das mit dem Ziel der Trenderfassung betrieben wird und daher für ein nationales Indikatorensystem geeignet ist.

Das Risiko, das von Schwermetallen ausgeht, ließe sich noch besser durch die *pflanzenverfügbaren bzw. mobilisierbaren Schwermetall-Anteile (% der Schwermetallgehalte)* beschreiben. Eine bundesländerübergreifender Vergleich ist für diesen Indikator aber noch nicht möglich, da der Parameter nicht obligatorisch und einheitlich an allen Standorten erhoben wird.

Ein weiterer relevanter *State*-Indikator ist die *Überschreitung von Hintergrundwerten für Schwermetalle an den BDF (% der BDF)*. Der gemessene Schwermetallgehalt eines BDF-Standortes wird mit dem *Hintergrundwert*¹² als Referenzgröße verglichen, woraus sich BDF-Standorte mit Abweichungen als eventuell belastet identifizieren lassen. *Hintergrundwerte* liegen für Deutschland flächendeckend vor.

Da sich Veränderungen in der Schadstoffsituation im Boden – bezüglich diffusem Eintrag und persistenten Stoffen – in relativ langen Zeiträumen abspielen, ist die *relative Abweichung der gemessenen Schwermetall-*

¹² *Hintergrundwerte* sind abgeleitete repräsentative Verhältniszahlen für allgemein verbreitete Schwermetallgehalte eines Bodens. Der Schwermetallgehalt setzt sich aus dem geogenen Grundgehalt und der ubiquitären Stoffverteilung zusammen.

gehalte vom Hintergrundwert ein noch adäquaterer *State*-Indikator für das Aufzeigen möglicher Veränderungen in kürzeren Zeitabständen.

Ein *State*-Indikator zu *organischen Schadstoffgehalten von Böden* (in μg bzw. mg/kg Trockensubstanz Boden) lässt sich für ein nationales Indikatorensystem bisher noch nicht realisieren, weil die Bundesländer an den BDF bisher verschiedene Analysemethoden verwendet haben. Zu Dioxinen im Boden liegen durch die Arbeiten der Bund/Länder-Arbeitsgruppe Dioxine (2002) neuere Untersuchungen vor, die mit denen an BDF-Standorten vergleichbar sind.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die *State*-Indikatoren zu stofflichen Bodenbelastungen, die auf Daten der BDF beruhen, sich noch nicht im Zeitverlauf abbilden lassen. In den meisten Bundesländern haben bisher nur Erstbeprobungen und noch keine Wiederholungen stattgefunden.

Neben anorganischen und organischen Schadstoffen stellt auch die Bodeneutrophierung eine Bodenbelastung dar, weil die Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften von Böden eingeschränkt werden, was erhöhte N-Emissionen ins Grundwasser und die Luft zur Folge haben kann.

Der N_{\min} -Gehalt von Böden (in $\text{mg NO}_3 + \text{NH}_4$ pro 100 g Boden) ist ein relevanter *State*-Indikator. Gemäß der DVO sind Landwirte in Deutschland jährlich zur schlagspezifischen Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes verpflichtet. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht für ein nationales Indikatorensystem nutzen, weil es keine rechtliche Grundlage zur systematischen Erfassung und regionalen Aggregation der Daten gibt. BDF-Flächen können auch hier weitere Informationen liefern.

Impact-Indikatoren der stofflichen Bodenbelastungen

Die Nährstoffübersorgung von Böden mit Stickstoff hat v.a. Nitratbelastungen von Grundwasser sowie Lachgasemissionen zur Folge (*Impact*). Die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser sowie Lachgasemissionen in die Luft sind nicht nur vom Nährstoffüberangebot, sondern von verschieden weiteren Einflussfaktoren, wie z.B. den physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens, abhängig. Hinzu kommen klimatische Faktoren, wie Niederschlag, und Temperatur. Für die Beschreibung dieses *Impact* mit geeigneten Indikatoren sind daher eine Fülle von Detailinformationen erforderlich.

Kurz- bis mittelfristig lässt sich nur die *hypothetische Nitratkonzentrationen* (in $\text{mg NO}_3/\text{l}$) im neugebildeten Grundwasser für eine nationales Indikatorensystem realisieren. Mit Hilfe des Agrarsektormodells RAUMIS wurde dieser Indikator ausgehend von den regionsspezifisch ermittelten Stickstoffüberschüssen und der Annahme einer 50 %igen Denitrifikation, für das Jahr 1991 und in Vorausschau auf das Jahr 2005 quantifiziert.

Toxische Wirkungen, die von anorganischen und organischen Schadstoffen auf Bodenorganismen ausgehen können, lassen sich bisher noch nicht deutschlandweit mit Indikatoren beschreiben. Hier sind zunächst noch weitere Forschungsergebnisse im Rahmen der *Bodenbiologischen Standortkartierung* abzuwarten, um einen *Vergleich der vorhergesagten mit der real am Standort vorkommenden Biozönose* einen Indikator für Beeinträchtigungen der Bodenqualität zu bekommen.

Response-Indikatoren für stoffliche Bodenbelastungen

Als relevante und kurzfristig zu realisierende *Response-Indikatoren* für stoffliche Bodenbelastungen lassen sich die *geförderte Ökolandbaufläche (% der LF)* sowie die *geförderte Reduzierung des Rinder- und Schafbestandes (GVE)* anführen. Der Zuwachs an Ökolandbaufläche ist ein Indikator für die Reduzierung des chemisch-synthetischen Mineraldünger- und PSM-Einsatzes sowie des Klärschlammeinsatzes, die bei diesem Anbauverfahren untersagt sind. Die Reduzierung des Rinder- und Schafbestandes ist ein Indikator für die Reduzierung des Wirtschaftsdüngeranfalles und damit auch –einsatzes.

Die Bundesländer fertigen jährlich Lageberichte zum Stand der Durchführung der Agrarumweltmaßnahmen an, in denen die Anzahl geförderter Projekte, die Ausgaben, geförderte Flächen und Viehbestände dokumentiert sind. Die Daten werden von den Bundesländern differenziert nach 13 Maßnahmenbereichen an das BMVEL weitergeleitet und jährlich im Agrarbericht der Bundesregierung veröffentlicht. *Ökologische Anbauverfahren* und die *Verringerung des Rinder- und Schafbestandes* stellen zwei eigene der insgesamt 13 Maßnahmenbereiche dar. Förderdaten (geförderte Fläche und GVE) können daher direkt zur Quantifizierung der oben angeführten *Response-Indikatoren* übernommen werden.

Die offiziell veröffentlichten Daten liefern jedoch nur aggregierte Informationen für die Bundesländer. Für eine regional differenziertere Quantifizierung müsste daher eine zusätzliche Datenanfrage bei den Bundesländern erfolgen.

Übersicht 16: Synopse relevanter Indikatoren für den Problembereich *stoffliche Bodenbelastungen* und ihre kurz- bis mittelfristige Realisierbarkeit

Stoffliche Einträge (Driving Forces / Pressure)		Bodenbelastungen * (State)		Emissionen/Toxische Wirkungen (Impact)		Reduzierung stofflicher Einträge (Response)	
Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren
- Düngemittel ⇒ Wirtschaftsdünger ⇒ Mineraldünger ⇒ Klärschlamm	- N-Nährstoffbilanz (kg N /ha Input - Output)^(b) <small>c) d) e) f) g) i)</small> ⇒ - Flächenbilanz	- Bodeneutrophierung	N_{min} -Gehalt im Boden (mg NO ₃ + NH ₄ pro 100g Boden)	- Nitratbelastungen des Grundwassers - Lachgasemissionen	- Hypothetische Nitratkonz. (in mg NO₃/l) im neugebildetem Grundwasser^(k)	- Verringerung des Mineraldüngers - Verringerung des PSM-Einsatzes - Verringerung des Klärschlammeinsatzes	- Geförderte Ökolandbaufläche (% der LF)^(c) e)
- Düngemittel/ Luftgetragene Schadstoffe	- Schwermetallfrachten (mg /ha)^(h) i) ⇒ - schlamm ⇒ - dünger ⇒ - Mineraldünger	Anorganische Schadstoffe (Schwermetalle)	- Schwermetallgeh. (mg/kg Trockensubstanz Boden)^(g) j) - Mobilisierbare Schwermetall-Anteile (% der Schwermetallgeh.) - Rel. Abweichung gemessener Schwermetallgeh. vom Hintergrundwert	- Toxische Wirkungen für ⇒ Pflanzen ⇒ Tiere ⇒ Menschen	<i>Vergleich der vorhergesagten mit der real am Standort vorkommenden Biozönose^(l)</i>	- Verringerung des Wirtschaftsdüngereinsatzes	- Geförderter Reduzierung des Rinder- und Schafbestandes (GVE)
- Pflanzenschutzmittel	- PSM-Einsatz (kg/ha*a)^(a) e) - Kulturartendiv. (Anzahl / Betrieb und Jahr)^(j) - Risikoindex von PSM^(b) c) d)	- Organische Schadstoffe	Organische Schadstoffgehalte (in µg bzw. mg/kg Trockensubstanz Boden)^(g)				

Fußnoten:
 Indikatorenvorschlag von a) EUA (Huber et al., 2001; b) OECD; 2001; c) CSD (BMU, 2000; United Nations, 2001); d) EUROSTAT, 1999 e) EUA, 1999b, 2000; f) Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2000; g) Statistisches Bundesamt (Radermacher et al., 1998); h) Geier et al., 1999; i) Walz et al., 1997.; j) Schramek et al., 2000; k) Weingarten, 1996; l) Römcke & Dreher, 2000
 * Bodenversauerung als ein weitere Form stofflicher Bodenbelastungen blieb in dieser Untersuchung unberücksichtigt, weil hierzu bereits Indikatoren im Rahmen der Critical Loads existieren.
 Dunkle Schattierung kennzeichnet relevante Indikatoren, die sich kurz- bis mittelfristig mit deutschlandweiten Daten quantifizieren lassen.