

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 -**

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 Strukturforschung an der Johann Wolfgang Goethe-Universität,
Frankfurt/M

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 Verkehr¹ 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*), 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

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.

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 die einzigen, die für den Bodenschutz relevant sind (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 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

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)

Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz erwiesen sich v.a. Indikatoren aus folgenden drei Politikfeldern:

4. Verbrauch von Ressourcen mit der Unterkategorie Nährstoffbilanzen des Bodens,
5. Verbreitung toxischer Substanzen mit der Unterkategorie Pestizidverbrauch in der Landwirtschaft sowie
6. 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 Problem-bereiche des Bodenschutzes (Bodenerosion, Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr, Stoffliche Bodenbelastungen) keine aussagekräfti-

gen bzw. ausreichend wissenschaftlich fundierten *Impact*-Indikatoren finden lassen, die dieser Komplexität ausreichend Rechnung tragen.

1.1.1 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 Aggregationsebene (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*, *Flächeninanspruchnahme 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.

1.1.1 Bodenerosion⁴

Driving Forces-Indikatoren für Bodenerosion

Von verschiedenen Antriebs- und Belastungsfaktoren, welche Bodenerosion beeinflussen, lässt sich 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 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

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*.

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

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 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 Landbewirtschaftung (Driving Forces / Pressure)		Bodenerosion (On-Site) (State)		Externe Wirkungen der Wasser- erosion (Off-Site) (Impact)		Erosionsschutzmaßnahmen (Response)	
Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren	Thema	Indikatoren
- Bodenbe- deckung und -bearbeitung landwirtschaftli- cher Kulturpflanzen	- Bodenbe- deckungs u. -bearbeitungs- index (Bodennutzung * C-Faktor) ^{b), c)}	- Wassererosion	- Rechnerische Vorhersage des Bodenabtrags (t/ha*a) – "Tat- sächliche Erosionsgefährdu- ng" ^{a), b)}	- Sedimentaustrag in Kompartimente außerhalb der erodierten Flächen	- Gemessene Sedimente in Gewässern (t) ^{b)} - Gemessene Sedi- mentfrachten in Flüssen (t/m ³ *a) ^{a)} - Modellkalkulation des Sedimentaustrag es von Ackerflächen (t) ^{f)} - Kosten zur Beseitigung der Sedi-mentablage- rungen (DM) ^{a), b), f)}	- Bodenbedeckung und -bearbeitung landwirtschaftli- cher Kultur- pflanzen	- Mulchsaatverfahren n (% an LF) - Untersaaten (% an LF) - Begrünungsmaß- nahmen bei Dauerkulturen (% an LF) - Winterzwischenfru- chtanbau (% an LF)
- Grosse Ackerschläge			- Rechnerische Vorhersage des Bodenabtrags im Verhältnis zur höchsten Toleranzgrenze für Bodenabtrag (%)			- Größe der Ackerschläge	- Konturstreifen (Anzahl der Maßnahmen) - Terrassierung (Anzahl der Maßnahmen)
		- Winderosion *	- Gewässereutrophie rung *				
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 Raumbesetzungen 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 zulässigen 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 (Siedlungsfläche entw. Umland/Kernstadt) ^{g)}	- Suburbanisierung / Verbesserte Mobilität	- Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche (ha/ha) - Zunahme Siedlungs- und Verkehrsfläche (ha pro Tag) ^{a) b) c) h)} - Neuversiegelung innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen (ha/Tag) ^{b) h)} - Bebaute Flächen (%) ^{h)} - 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) ^{h)}	- Verdichtung in städtischen Innenräumen anstelle von Neuerschließungen	- Brachflächenrecycling (z.B. Industrie- und Militärflächen) (%) an Siedlungs- und Verkehrsfläche) ^{h)} - Zielerreichungsgrad der Zuwachsrate für Siedlungs- und Verkehrsfläche (Soll-Ist) ^{a) e)}
- Baulandpreisgefälle	- Baulandpreisgefälle zwischen Agglomerationstraum 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 (Rademacher 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) Art & 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 Klärschlämme enthalten neben den gewünschten Nährstoffen auch Schadstoffe, v.a. Schwermetalle. *Schwermetalleinträge (u.a. Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr mg/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 Schadstoffeinträge einzubeziehen.

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.

Klärschlämme und Bioabfälle werden in der Landwirtschaft bislang im Rahmen der Regelungen der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) und Bioabfallverordnung (BioabfVO) auf Böden aufgebracht. Im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes sind die Schadstoffeinträge bei der Ausbringung von Materialien auf den Boden so festzulegen, dass es zu keinen Anreicherungen dieser Stoffe im Boden kommt. Die Praxis der Düngung sollte nach Auffassung von BMU und UBA daher geändert werden und es sollten keine oder allenfalls noch sehr schadstoffarme Düngemittel 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.

Neben den Frachten sind jedoch auch die Gehalte der Materialien wichtig, da es darauf ankommt, wie sich der Bodengehalt entwickelt. Solange der langfristig im Boden verbleibende Anteil von aufgebracht Stoffen (z.B. auch Bodenmaterialien) dem des Aufbringungsstandortes entspricht, kommt es zu keiner Standortsverschlechterung.

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 Schermetallfrachten regional differenziert quantifizieren. Bisher werden die Angaben zur Produktion und Ausbringung von Klärschlamm sowie zu den mittleren Schwermetallkonzentrationen für die Bundesländer

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.

aggregiert in Form von Jahresberichten an das BMU und das UBA weitergeleitet. Für eine Weitergabe an europäische 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.

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, dass 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 Schwermetallgehalte 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 mg NO₃ + NH₄ 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

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.

Lachgasemissionen in die Luft sind nicht nur vom Nährstoffüberangebot, sondern von verschiedenen 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 mg NO₃/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 Bereich *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 In-Output) ^{(b)(c)(d)(e)} ⇒ Hoforbilanz ⇒ Flächenbilanz	- Bodeneutrophierung	N_{min} -Gehalt im Boden (mg NO ₃ + NH ₄ pro 100g Boden)	- Nitratbelastungen des Grundwassers - Lachgasemissionen	- Hypothetische Nitratkonz. (in mg NO ₃ /l) im neugebildetem Grundwasser ^(k)	- Verringerung des Mineraldüngers - Verringerung des PSM-Einsatzes - Verringerung des Klärschlamm Einsatzes	- Geförderte Ökolandbaufläche (% der LF) ^{(j)(e)}
- Düngemittel/ Luftgetragene Schadstoffe	- Schwermetallfrachten (mg/ha) ^{(h)(i)} ⇒ aus Klärschlamm ⇒ Wirtschaftsdünger ⇒ Luft ⇒ Mineraldünger	Anorganische Schadstoffe (Schwermetalle)	- Schwermetallgeh. (mg/kg Trockensubstanz Boden) ^{(g)(i)} - Mobilisierbare SM-Anteile (% der SM-geh.) - Rel. Abweichung gemessener Schwermetallgeh. vom Hintergrundwert	- Toxische Wirkungen für ⇒ Pflanzen ⇒ Tiere ⇒ Menschen	Vergleich der vorhergesagten mit der real am Standort vorkommenden Biozönose ^(l)	- Verringerung des Wirtschaftsdüngereinsatzes	- Geförderter Rinder- und Schafbestandes (GVE)
- Pflanzenschutzmittel	- PSM-Einsatz (kg/ha*a) ^{(a)(e)} - Kulturintensiv. (Anzahl / Betrieb und Jahr) ⁽ⁱ⁾ - Risikoindex von PSM ^{(b)(c)(d)}	- Organische Schadstoffe	Organische Schadstoffgehalte (in µg bzw. mg/kg Trocken-substanz 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 (Rademacher et al., 1998); h) Geier et al., 1999; i) Walz et al., 1997.; j) Schramek et al., 2000; k) Weingarten, 1996; l) Römke & 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.

1 Summary

Development of national Indicators for soil protection – use of international indicator frameworks on national level and related data needs

1.1 Tasks and objectives of the R & D project

Environmental indicators serve the description of the environmental situation, its risks and possible trends. In past years different indicator concepts have been developed at a national and international level. This R & D project concentrates on soil protection, appropriate indicator proposals and the question of operationalization.

Attention is focused on the proposals of the European Environmental Agency (EEA) – that is, the former *European Topic Centre Soil* (ETC/S), now the *European Topic Centre Terrestrial Environment* (ETC/TE), an institution subordinate to the EEA – and the problems of *soil erosion*, *land consumption for settlement and traffic*¹ (*soil sealing*) as well as *diffused soil contamination* (cf. Gentile, 1998; Huber et al., 2001) These three areas are regarded by the EEA, in addition to contaminated sites, as major problems contributing to the loss of soil and the degradation of soil functions.

In the investigation, the following three main questions are addressed:

1. Where can areas of common interest be found between the EEA concept and other national and international indicator concepts, and how might EEA indicators be improved or put into concrete terms?
2. Which data, relevant to soil protection, are required for the realisation/derivation of various indicators, and what is the situation regarding data availability in Germany?
3. Which internationally-used indicators allow, on account of the state of data, a preliminary contribution to national reporting such as *Daten zur Umwelt* [State of the environment]?

Relevant international and national indicator concepts are orientated in the structuring of environmental information primarily towards the *DPSIR concept*, which distinguishes between *Driving force*, *Pressure*, *State*, *Impact* and *Response* indicators. In this R & D project, the operationalization possibilities are discussed on the basis of this structure. It includes the highlighting of available data sources, survey frequency as well as spatial aspects (for instance, site-based or point-related, or for different administrative territories). The DPSIR concept does, however, have its methodical limitations, which are also dealt with following presentation of the relevant indicator concepts.

1.2 Relevant international indicator concepts

At an international level, different indicator concepts have been developed by the OECD, the United Nations, EUROSTAT, the EEA and the European Commission. Questions relevant to soil protection, and thus also indicators, have often been only of secondary importance and had first of all to be identified in this R & D project.

¹ EEA indicator proposals (Huber et al., 2001) concentrate on soil sealing, which represents, however, only part of the problem of land consumption for housing development and traffic. In this investigation, problems of land consumption are dealt with in their entirety.

Since the beginning of the 1990s, extensive work on environmental indicators, based on the DPSIR concept², has been carried out by the **OECD**. Agriculture presents a separate group of themes, besides issues such as climate change, ozone layer, air quality, waste, fish, water and forest resources as well as biodiversity. The environmental indicators developed for the agricultural sector are the only relevant for soil protection (cf. OECD, 2001). The indicator proposals of the OECD are important for the areas of soil erosion and diffused soil contamination (cf. Table 13).

The **Commission on Sustainable Development (CSD) of the United Nations** drew up in 1996 a catalogue of initially 134 sustainability indicators that, following various discussions and test phases³, has been reduced to 57 indicators. Whereas in the first draft, the indicator proposals were categorized according to the DPSIR concept, in the latest draft the indicators are structured merely according to policy areas and themes (United Nations, 2001). *Soil* represents a separate subject area of the CSD concept.

In addition, two *headline indicators (change in the state of land and modification of land consumption)* were initially proposed, which, with particular regard to land consumption for settlement and traffic, were specified and completed in the test phase by the German Environmental Ministry. Agriculture represented a separate subject area in the first CSD draft, but in the course of revision it was included as a sub-category in the subject area of soil. Relevant indicators regarding diffused soil contamination, in particular, can be identified from the area of agriculture (cf. Table 13).

In co-operation with the European Commission (DG ENV), a Europe-wide project on environmental indicators was completed by **EUROSTAT** (EUROSTAT, 1999). The project concentrated solely on *pressure* indicators. Indicators were developed for a total of ten policy fields. The following three policy fields proved to be particularly relevant for the further development of national indicators for soil protection:

1. use of resources, with the sub-category nutrient balances of soil,
2. spread of toxic substances, with the sub-category use of pesticides in agriculture, and
3. urban environmental problems, with the sub-category land consumption.

Indicator proposals from the first two policy fields were relevant for the area of *diffused soil contamination*, and from the policy field of urban environmental problems they were relevant for the area of *land consumption for housing development and traffic* (cf. Table 13).

Since 1999 the **EEA** has regularly published an indicator report (*Environmental Signals*) with 13 subject areas (EEA, 1999b, 2000). Up to now, *agriculture* is the only subject area with indicators relevant to this R & D project, specifically, for the area of *diffused soil contamination* (cf. Table 13).

Apart from *Environmental Signals*, proposals for an indicator-based soil monitoring and assessment system had been developed by the EEA (Gentile, 1998; Huber et al., 2001). These indicator proposals provide the starting point for this R & D project (see below).

No new indicators have been developed within the scope of work on indicators by the **European Commission, Directorate-General Agriculture**. DGA is concerned, on the contrary, with examining indicator concepts from the OECD, EUROSTAT and the EEA in terms of their appropriateness for the integration of environmental issues into the Common Agricultural Policy. Indicators have been selected, which particularly well describe the relationship between agriculture and the environment, and which can be deduced from

² Initially only according to the PSR concept.

³ These indicators have been tested for Germany by the Federal Environment Ministry (BMU), and there is an appropriate report by the Federal Government (BMU, 2000)

available data (cf. Commission of the European Community, 2000). Indicator proposals relevant to soil protection concern the areas of *soil erosion* and *diffused soil contamination* (cf. Table 13).

1.3 Relevant national indicator concepts

OECD indicator proposals and CSD indicators have already been tested and put into concrete terms for Germany (Walz et al., 1997, BMU, 2000). Beyond that, independent indicator concepts relevant to soil protection have also been developed for Germany. In this respect, reference can be made to work done by the Statistisches Bundesamt [Federal Statistics Office], the Federal Environment Ministry (BMU) and the Institut für Europäische Integrationsforschung [Institute for European Integration Research].

The **Federal Statistical Office** has developed an indicator system on the state of the environment in Germany (Radermacher et al., 1998). One element of this indicator system is the *Statistical Information System on Soil Use* (STABIS). STABIS was initially embedded in the Europe-wide CORINE Land Cover project (Co-ordination of Information on the Environment). With the aid of remote sensing data from satellites, aerial photography and topographic maps, land cover in Germany was determined. On the conclusion of the CORINE programme, STABIS will be continued in conjunction with the EEA's EIONET project (Environmental Information and Observation Network). Data from this source, relevant to soil protection, can be applied in the areas of *land consumption for settlement and traffic* and *diffused soil contamination* (cf. Table 13).

Soil is one of six environmental areas of the **BMU's Umwelt-Barometer** [Environmental Barometer]. In the *Environmental Barometer*, a key indicator for the *increase in settlement and traffic area per day* is quantified, and the objective pursued is the reduction of the current increase of 129 ha per day to 30 ha per day by the year 2020.

The **Federal Government's national sustainability strategy** also refers to the *increase in the settlement and traffic area per day* as an indicator for land use.

An indicator system for the assessment of the ecological achievements and burdens of agriculture has been developed by the **Institut für Europäische Integrationsforschung** (Geier et al., 1999). Indicator proposals relevant to soil protection concern the areas of *soil erosion* and *diffused soil contamination* (cf. Table 13).

Table 13 provides a comprehensive view of the relevance of existing indicator concepts for the further development of national indicators for soil protection. It may be concluded, that almost all undertakings are concerned directly or indirectly with the problem of *diffused soil contamination*. The problems of *soil erosion* and *land consumption for settlement and traffic*, on the other hand, are touched on only in three or four of a total of eight relevant concepts. Indicator proposals relevant to soil protection are primarily concentrated on the areas of *driving forces*, *pressure* and *state*.

Table 13: Relevance of international and national indicator concepts for the further development of national indicators for soil protection

	Relevant indicator concepts	Soil erosion	Land consumption for housing development and traffic	Diffused soil contamination
Inter-national concepts	OECD			
	CSD			
	EUROSTAT			
	EEA (Environmental Signals)			
	European Commission			
National concepts	Statistisches Bundesamt			
	Sustainability strategy			
	BMU (Environmental Barometer)			
	Institut für Europäische Integrationsforschung			
Source: Author's compilation				

1.4 Methodical limitations of the DPSIR concept

In practice, in the development of indicators, a straightforward classification according to the five DPSIR categories has proven to be problematical. In many cases, for instance, a clear differentiation between *driving forces* and *pressure* was not possible. At the source of environmental pollution, described with *pressure* indicators, human activities are generally found, which are described with *driving forces* indicators. A clear differentiation is often not possible, because environmental pollution (*pressure*) is almost always of anthropogenic origin (*driving forces*).

Differentiation according to *state* and *impact* indicators also turns out to be difficult in practice. Categorization always follows from that perspective, from which the process of environmental impact is judged. Soil erosion in tonnes per hectare and year can be regarded not only as a *state* indicator for the loss of valuable soil material, but also an *impact* indicator for the impairment of water bodies, into which eroded material is washed.

The loss of soil and the impairment of soil functions often involve complex interdependencies, which cannot be reduced to simple systems of cause and effect. The investigation showed, for example, that for all three problematical areas of soil protection investigated (soil erosion, land consumption for housing development and traffic, diffused soil contamination) no sound or scientifically-substantiated *impact* indicators could be discovered, which take sufficient account of this complexity.

1.1.1 The lack of normative indicators

The DPSIR concept primarily serves the description of causal interdependencies in the environment, in order to derive appropriate political measures. Here *descriptive* indicators predominate. For the assessment or monitoring of sustainable development, however, *normative* indicators are essential. These are indicators that, apart from the descriptive presentation of an environmental situation, also contain an appropriate objective, a so-called *environmental quality objective (EQO)*.

Normative indicators for soil protection are difficult to realise because, on account of the multi-functionality of soils, an unequivocal quality objective cannot be defined. According to

the respective soil function, different demands are made on the biological, chemical and physical characteristics of soil, and thus on soil quality.

The higher the level of aggregation (for example, *Länder* [Federal States], Germany or the EU), the more complex is the derivation of soil quality objectives. This is probably also a reason for the lack of normative indicators in relevant national and international indicator concepts. At a European level, the further difficulty arises, that there is no framework legislation in the area of soil, and thus a lack of uniform limit values.

The German Environment Ministry's objective of reducing growth in settlement and traffic areas from the current level of 129 ha per day to 30 ha per day by the year 2020 (Environmental-Barometer) can be mentioned as one of the few German normative indicators.

1.5 Relevant indicators

Following examination of different indicator proposals for the description of impact patterns for the problematical areas of *soil erosion*, *land consumption for settlement and traffic* and *diffused soil contamination*, a limited number of relevant indicators could be identified, which in some cases can be supported with data throughout Germany, thus allowing a preliminary contribution to national reporting. Relevant indicators, which can be realised in the short or medium term, are shaded in Tables 14 to 16.

Also listed in Tables 14 to 16, but not shaded, are

- indicators, which although relevant, cannot be quantified with data for a German (national) system of indicators.
- indicators, which could prove to be relevant in the medium to long term, but whose validity has first to be verified through research findings, and which also have to be modified.

1.1.1 Soil erosion⁴

1.5.1.1 Driving force indicators for soil erosion

From the different factors of driving force and contamination, which influence soil erosion, the influence of land cover can be described with the aid of the *Land Cover and Cultivation Index*. This *driving force* indicator comprises agricultural land use data and parameters for the land cover and cultivation factor (C-factor [crop and management] of ABAG: *Allgemeine Boden-Abtrags-Gleichung* = Universal Soil Loss Equation USLE)

The main survey of land use compiled by the Federal Government and the *Länder* serves as data base. At a municipal level, land use data on permanent grassland and arable land is published every four years, whereby arable land is further differentiated according to crop plant type.

Land cover data from the European CORINE Land Cover project is less suitable for this indicator, because here arable land is not classified according to crop plant type. Another

⁴ Site-based soil erosion processes and possible indicators for their description are currently being dealt with in a parallel R & D project of the Federal Environmental Agency (UBA): *Indicators for the national monitoring of the environmental effects of agricultural production – test phase* (FKZ 200 12 118). The project, which is the subject of this Summary, therefore concentrates primarily on water erosion and the areas of *driving forces*, *impact* and *response*.

argument against such an indicator, is that land cover data was first compiled in 1992, and as a result it does not at present allow chronological development trends.

Of great significance for the improvement of the validity of the *Land Cover and Cultivation Index* are the findings expected from a parallel R & D project of the Federal Environmental Agency (UBA)⁵, in which regionally-typical crop rotations are to be described for Germany at a administrative district level.

1.5.1.2 State indicators for soil erosion

The *actual soil erosion risk* ($t/ha*a$) is the mathematical prediction of soil erosion through water with the aid of ABAG (reworking of USLE, universal soil loss equation, by Schwertmann et al, 1990, for Central European soils). This *state* indicator can be realised in the short to medium term throughout Germany.

A map for the identification of the disposition to erosion in Germany, on a scale of 1:1 million and differentiated according to area, was developed by the BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – Federal Institute for Geosciences and Natural Resources). It is based on existing local factors of influence (precipitation, land quality, topography, main types of use), and the disposition to erosion will change little in the course of time. The map therefore serves the description of a situation of reference. For the description of the *actual soil erosion risk*, anthropogenic factors of influence (land cover and cultivation, erosion protection measures) have to be incorporated.

On account of current work on the determination of regionally-typical crop rotations throughout Germany, short- to medium-term findings on land cover and cultivation (C factor of ABAG) are to be expected. Further information on the C factor as well as on erosion protection measures (P factor [protection] of ABAG) can be obtained from the conversion data of the agri-environment programme (subsidised land) of the *Länder*. In the short to medium term, the presentation of the *actual soil erosion risk* must therefore also be possible with maps for Germany.

1.5.1.3 Impact indicators for soil erosion

Off-site damage (*impact*) from soil erosion through water, in the form of sediment loads in neighbouring compartments and surface water bodies, could not previously be described with appropriate methods. Methodical approaches to measuring sediment loads in rivers and streams do in fact exist, but monitoring results are unsuitable as *impact* indicators for soil erosion, because the monitored sediment provides no indication of its agricultural origin or the size of the catchment area.

Methodical approaches to the model-based calculation of sedimentation from arable land, are not yet sufficiently advanced to permit their use as *impact* indicators.

1.5.1.4 Response indicators for soil erosion

The *share of land under erosion risk, on which erosion protection measures are carried out (%)* can be realised in the short to medium term as a *response* indicator for soil erosion. Erosion protection measures are a part of the agri-environment programme of the German *Länder*, and they have been identified in the course of this investigation. Land data on the consumption of these incentive measures by farmers are available at the *Länder*, where inquiries have also to be directed. This indicator can ultimately be quantified by combining land data concerning the conduct of erosion protection measures and the BGR map on erosion disposition in Germany.

⁵ National examination of the connection between agricultural statistics and topical data on land use (FKZ: 200 71 247).

Table 17: Synopsis of relevant indicators for the problem of *soil erosion* and their realisability in the short to medium term

Intensive farming (Driving Forces / Pressure)		Soil erosion (on-site) (State)		External effects of water erosion (off-site) (Impact)		Erosion protection measures (Response)	
Issue	Indicators	Issue	Indicators	Issue	Indicators	Issue	Indicators
- Land cover and cultivation with agricultural crop plants	- Land cover and cultivation index (land use * C Factor) ^{b), c)}	- water erosion	- Mathematical prediction of soil erosion (t/ha*a) – "actual erosion risk" ^{a), b)}	- Off-site damage by sediment output in compartments next to the eroded area	- Monitored sediment in water bodies (t ^{b)} - Monitored sediment loads in rivers (t/m ³ *a) ^{a)} - Model based calculations of sedimentation from arable land (t) ^{f)}	- Land cover and cultivation of agri cultural crops	- Mulching process (% of land) - Under sown crops (% of land) - Green planting with permanent crops (% of land) - Winter crop cultivation (% of land)
- Large arable fields		- Wind Erosion *	- Mathematical prediction of soil erosion in relation to maximum tolerance limits for soil erosion (%)	- Water body eutrophication *	- Costs of sedimentary material (DM) ^{a), b), f)}	- Size of arable fields	- Countour strips (number of measures) - Terracing (number of measures)

Footnotes:

Indicator proposals a) EUA (Huber et al., 2001); b) OECD, 2001; c) Commission of the European Community, 2000; d) Geier et al., 1999 e) Düvel & Utermann, 1999 f) Doleschel & Heißenhuber (1991).

* This aspect is ignored in this examination

Shading highlights relevant indicators, which can be quantified with national data in the short to medium term.

1.5.2 Land consumption for housing development and traffic

1.5.2.1 Driving force indicators for land consumption

Land consumption for housing development and traffic is primarily influenced by growing individual demands on land use on the part of the population. It proceeds through housing development in suburban areas (*suburbanization*). The changing pressure on the consumption of open space can be best described, amongst various other *driving force* indicators, by the *degree of suburbanization* (*housing development in suburban areas compared with nucleated towns*) (cf. Table 15)

Because suburbanization has been speeded up in particular by the *building site price differential* between agglomeration and catchment area, the *degree of suburbanization* can also be regarded in this context as an indirect indicator. The *building site price differential* cannot be quantified with its own indicator, because data on building site prices is only published in Germany for administrative districts, and its regional differentiation is therefore insufficient for such an indicator.

Suburban areas and nucleated towns can be identified for the purpose of determining the *degree of suburbanization* by means of general observations by the BBR [*Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung* – Federal Office for Civil Engineering and Regional Planning]. In addition, housing development is also surveyed annually by Federal and *Länder* authorities within the framework of land statistics, which can be made available to municipalities by public real estate offices, thereby enabling town and suburban developments to be analysed separately.

1.5.2.2 State indicators for land consumption

Indicator proposals for the description of land consumption (*state*) (cf. Table 15) are largely distinguished by their statistical bases. Thus the indicator *settlement and traffic area (in hectare)* is based on Federal and *Länder* *land use statistics* and comprises *built-up areas and open spaces, industrial areas, traffic areas and recreational areas*. The identified trend is provided by the indicator *growth in settlement and traffic area (in hectare per day)*.

The indicator *built-up areas (% of total area)* is based on data from CORINE Land Cover and comprises a separate category of the CORINE nomenclature. *Built-up areas*, according to CORINE Land Cover, are mainly suitable as a *state* indicator for EU-wide observations, because CORINE data is only compiled every ten years and is currently only available for the year 1992.

Land sealing is the most extreme form of land consumption for housing development and traffic. Apart from the loss of soil for other uses, natural soil functions are also impaired. The degree of sealing can not however be determined from available data sources, such as Federal and *Länder* land use statistics, land cover data from CORINE Land Cover, or ATKIS data from ordnance survey authorities, because adjacent open spaces are always included. Further research is therefore required on the combination of information on land use statistics with information from satellite reconnaissance, before *land sealing within settlement and traffic areas (%)* can be realised as a further *state* indicator.

1.5.2.3 Impact indicators of land consumption

The environment effects of land consumption for housing development and traffic are manifold (cf. Table 15). Up to now, these varied environmental effects could not be described with appropriate *impact* indicators. Indicator proposals that are directed at the damage side (for example, hydrological effects), such as the *number of major floods and landslides*, are

not sufficiently sound, because they do not allow the establishing of unequivocal causal interdependencies regarding soil sealing or land consumption.

Another approach, by which the ecological effects of differing types of land cover of settlement and traffic areas can be described with an eco-value as a relative index, involves considerable data research on the type of land cover, and is therefore not presently appropriate for a national system of indicators.

1.5.2.4 Response indicators for land consumption

An important *response* indicator, which has already been realised in Germany within the scope of the Environmental Barometer (a national system of environmental headline indicators), is the *degree to which maximum permissible growth rates for settlement and traffic (nominal/actual comparison) are fulfilled*.

In specialist publications, the *reuse of abandoned settlement and traffic areas (waste land recycling – e.g. industrial and military areas)* is frequently mentioned as a relevant *response* indicator. This indicator not could up to now, however, be used for a national system of indicators, because the required data has to be gathered from infrastructure and land use plans in complex procedures. Case studies for several towns and cities would be possible in a medium term.

Table 18: Synopsis of relevant indicators for the problem of *land consumption for settlement and traffic* and their realisability in the short to medium term

growing demands on land use (Driving Forces / Pressure)		Land consumption for housing development and traffic (State)		Environmental effects of land consumption (Impact)		Reduction of land consumption (Response)	
Issue	Indicators	Issue	Indicators	Issue	Indicators	Issue	Indicators
<ul style="list-style-type: none"> - Grown material prosperity and individual demands on land use 	<ul style="list-style-type: none"> - Population density (inhab./km²)^{a)} - Housing density (Inhab./km² housing area)^{c)} - Change in living space requirements (m² living space./inhab.)^{g)} - Degree of Suburbanization (settlement dev., suburb/city)^{g)} 	<ul style="list-style-type: none"> - Suburbanization / improved mobility 	<ul style="list-style-type: none"> - Share of settlement and traffic area (ha/ha) - Growth in settlement and traffic area (ha per day)^{a) b) e) f) h)} - New land sealing within settlement and traffic areas (ha/day)^{a) h)} - Built-up areas (%)^{h)} - Prop. Of sealed areas to top-quality soils (%)^{b)} 	<ul style="list-style-type: none"> - Loss of land for other uses - Restriction of living space functions - Restriction of groundwater recharge - Acceleration of precipitation runoff - Influence on microclimate - Adverse effect on the aesthetic appreciation of the landscape - Deterioration in the quality of urban life 	<ul style="list-style-type: none"> - Eco-value measured by degree of sealing in connection with settlement and traffic area (eco-value for cities multiplied by m² settlement and traffic area)^{h)} 	<ul style="list-style-type: none"> - Wasteland recycling (e.g. industrial and military areas) (%) of settlement dev. and traffic areas)^{f)} - Degree of fulfilment of target growth rates for housing dev. and traffic area (nominal./ actual)^{a) e)} 	
<ul style="list-style-type: none"> - Building site price differential between agglomeration and catchment area (DM/ m²) 							

Footnotes:

Indicator proposals a) EUA (Huber et al., 2001); b) CSD (BMU, 2000; United Nations, 2001); c) EUROSTAT, 1999; d) Statistisches Bundesamt (Rademacher 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) Artt & Lehmann, 1999

* This aspect is ignored in this examination

Shading highlights relevant indicators, which can be quantified with national data in the short to medium term.

1.5.3 Diffused soil contamination

1.5.3.1 Driving force indicators for diffused soil contamination

The causes of diffused soil contamination are manifold, and generally occur over a long period through a chain of activities⁶, whose overall consideration would go beyond the scope of this investigation. The investigation concentrates, therefore, on direct effects on soils, that is, on diffused inputs from farming and the atmosphere.

Input sources in farming are primarily plant protection agents (PPA), fertilizers (farmyard manure, mineral fertilizers) and the spreading of sewage sludge and compost. The soil contamination that derives from fertilizers is, on the one hand, the excessive supply of soil with nitrogen, as a result of which the buffering and substance conversion capacities of soils are restricted, and the risk of nitrate leaching to groundwater arises, as well as that of nitrous oxide emissions into the atmosphere⁷. Fertilizers and, especially, sewage sludge, also carry the risk of contaminating soil with heavy metals and organic pollutions.

The *driving force* indicator most frequently applied in relevant indicator concepts for the description of soil contamination through PPA is the *use of plant protection agents in kg per hectare and year*. The informative value of this indicator is restricted, however, because the only data available is that on sales of PPA, which is equated with their use. Moreover, this indicator is generally based on the total amount of agricultural land or individual crop plants as area of reference. The value of this indicator is also restricted because, with the introduction of new plant protection agents other active substances are often used and recommended application quantities have diminished in recent years. An across-the-board quantitative reduction of this indicator cannot therefore automatically be interpreted as a decrease in risk to the environment. Against this background, indicators are also presently being developed, with which, with the help of a *risk index*, the changing endangerment posed by PPA to the ecological balance is described.

At an international level, methods for the description of the risk from PPA are still being developed. So far as Germany is concerned, work is more advanced. The *risk index* is defined for the whole of Germany in a relatively complex process, based on quantities of different PPA active substances sold. By comparing the actual figures for different years, it can be ascertained whether the risk from PPA use has increased or declined.

Average commercial *crop plant diversity in an economic region or Federal State (number of cultivated crop plants per farm and year)* represents a further relevant *driving force* indicator for soil contamination from PPAs. The indicator describes high- or low-sequence crop rotations, which again influence the pressure from weeds and pests. A high level of *crop plant diversity* is typical for high-frequency crop rotations, as is a negligible use of PPAs. Conversely, low *crop plant diversity* is characteristic for low-frequency crop rotation and a relatively heavy use of PPAs.

The average *crop plant diversity* of a particular region must be aggregated from individual farm data. Aggregated data from land use surveys at a municipal level are therefore

⁶ For instance, pollution emissions from industry and traffic into the atmosphere, which in this way enter soils.

⁷ Ammonia emissions occur in animal rearing, as well as in the application of farmyard manure, but they are not a consequence of soil eutrophication, and are therefore not considered at this point.

inappropriate. Alternatively, INVEKOS data⁸ can be drawn on, which, however, is not official, and has to be requested directly from the *Länder*.

Nutrient surpluses from fertilizers, which damage soil, can be described by *nutrient balances* (kg N per ha/year). *Farm gate balances* and *field balances* are common procedures in this respect. With the help of the RAUMIS agricultural sector model, these *driving force* indicators have already been realised throughout Germany on the basis of the *field balance concept*. N-balance figures are calculated at a administrative district level.

Apart from essential nutrients, fertilizers (mineral fertilizers, farmyard manure) and sewage sludge also contain contaminants, particularly heavy metals. *Heavy metal inputs* (e.g. Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr mg/ha) therefore represent a further important *driving force* indicator for diffused soil contamination. For a comprehensive description of diffused loads, airborne pollution loads have also to be included, in addition to fertilizers.

In agriculture, sewage sludge and Biowastes have up to now been applied to soils within the framework of regulations laid down in the Sewage Sludge Ordinance (*Klärschlammverordnung - AbfKlärV*) and the Ordinance on Biowastes (*Bioabfallverordnung - BioAbfV*). In spreading materials on soils, for the purpose of precautionary soil protection, pollution inputs have to have to be defined in a way, that no accumulation of substances in soil occurs. In the view of the Federal Environment Ministry and the UBA, the practice of fertilizing should therefore be changed, and no, or only low-pollutant fertilizing substances should be permitted (Federal Environmental Agency – UBA, 2001). These efforts at minimization, together with high qualitative demands, must be taken account of in providing a rational basis for possible international indicator concepts.

A regionally-differentiated indicator would be required, in order to identify places with an accumulation of heavy metals from different input sources. The data situation in Germany has previously only allowed a regionally differentiated presentation of *heavy metal inputs* from farmyard manure, sewage sludge and the atmosphere. *Heavy metal loads* from mineral fertilizers can only be ascertained for Germany as a whole.

An important question is the development of pollution contents in soils. Because of this, next to the pollution loads, the pollution contents in materials which are applied to soils are relevant. As long as the part of substances remaining in soil in a long term correspond to the pollution content at the place of application, no site degradation occurs.

Heavy metal loads from farmyard manure are calculated on the basis of the livestock population⁹, the average quantity of farmyard manure¹⁰ applied per year and animal (cattle, pigs, poultry), and the average heavy metal content of farmyard manure¹¹. Animal stocks are surveyed every two years by the Statistics Offices of the *Länder*, and information published at a rural district level.

According to the Sewage Sludge Ordinance, information on the spreading of sewage sludge has to be documented for each field. Together with information on medium concentrations of heavy metals in sludge used in agriculture, heavy metal loads can also be regionally differentiated. Up to now, information on the production and spreading of sewage sludge, as

⁸ The INVEKOS system (*Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem* – [integrated administrative and monitoring system]) was introduced following the EU agricultural reform of 1992, according to which all farmers, who receive subsidies, are obliged to provide differentiated information on land consumption and livestock.

⁹ In livestock units (per hectare of agricultural land (LU/ha of land))

¹⁰ For this purpose there are guideline figures

¹¹ Information is available on the average heavy metal content of cattle and pig liquid manure as well as of dung.

well as on medium concentrations of heavy metals, is aggregated at a *Länder* level, and forwarded in the form of annual reports to the Federal Environment Ministry and the UBA. In accordance with international reporting obligations (Sewage Sludge Directive), this aggregation alone is available to European authorities. For a regionally differentiated description of *heavy metal loads*, additional regional data would have to be obtained from the *Länder*; a process involving a considerable expenditure of time as well as legal problems of data protection. Airborne heavy metal depositions are registered in Germany by UBA air pollution monitoring stations and those of the Federal *Länder*.

Heavy metal loads from mineral fertilizers cannot be presented on a regionally differentiated basis. Although information is available on the average heavy metal content of different mineral fertilizers, it is not available on the quantity of mineral fertilizers spread annually. As an approximation, the sale of mineral fertilizers is equated with their use, whereby sales data relate, however, to the whole of Germany as area of reference.

1.5.3.2 State indicators for diffused soil contamination

Diffused soil contamination can be described for *state* purposes in terms of contamination with inorganic pollutants, organic pollutants as well as soil acidification. Because critical loads regarding soil acidification, together with surplus sulphur and nitrogen inputs have been adequately documented in maps of Germany in the framework of the contribution to UN ECE convention on long range transboundary air pollution (UN ECE LRTRAP), acidification has not been further considered in this R & D project.

Soil contamination by heavy metals can be quantified by the measured *heavy metal content of soil (mg/kg dry soil material)* (*state* indicator). The heavy metal content is measured on the approximately 800 permanent soil monitoring sites [PMS] of the 16 Federal *Länder*, and currently offers the only data base from a uniform monitoring system, which is operated with the objective of registering trends, and is therefore suitable for a national system of indicators.

The risk derived from heavy metals could be better described by the *share of heavy metal that is mobilized and accessible to plants (% of heavy metal content)*. A national comparison is not yet possible for this indicator, however, because the parameter is not adopted obligatorily and measured uniformly at all locations.

A further relevant *state* indicator is the *exceeding of background values for heavy metals at PMSs (% of PMSs)*. The measured heavy metal content of a PMS site is compared with the *background value*¹² as reference value, from which PMS locations with deviations can be identified as possibly contaminated. *Background values* are available throughout Germany.

Because changes in the contamination situation in soils – with regard to diffused contamination and persistent substances – occur over relative long periods of time, the *relative deviation of measured heavy metal content from Background value* is a more adequate *state* indicator to demonstrate possible changes over shorter periods.

Up to now, a *state* indicator for *organic pollutant contents of soils (in µg or mg/kg dry soil material)* has not been realised for a national system of indicators, because the Federal *Länder* apply varying methods of analysis at different PMSs. On the question of dioxins in soil, the joint Federal/*Länder* Working Group on Dioxin (2002) has presented more recent investigations, which are comparable to those carried out at PMS locations. It is important to establish that *state* indicators on diffused soil contamination, based on PMS data, cannot yet be depicted over a period of time. In most *Länder*, first sampling only has taken place, with no repetitions as yet. Apart from inorganic and organic pollutants, soil eutrophication also

¹² *Background values* are deduced representative ratio factors for the generally distributed heavy metal content of soil. The heavy metal content comprises basic geogenic content and ubiquitous substance distribution.

represents soil contamination. The buffering and soil conversion characteristics of soils are impaired, which can result in increased N-emissions to groundwater and the atmosphere.

The N_{min} content of soils (in mg $NO_3 + NH_4$ per 100g soil) is a relevant *state* indicator. According to the DVO [Düngemittelverordnung – Fertilizer Ordinance], farmers in Germany are obliged to determine N_{min} content for each field. However, these results cannot be used for a national system of indicators, because there is no legal framework for the systematic recording and regional aggregation of data. Sites of permanent soil monitoring can also provide further information in this respect.

1.5.3.3 Impact indicators of diffused soil contamination

The excessive nutrient supply of soils with nitrogen results above all in nitrate contamination of groundwater, as well as in emissions of nitrous oxide (*impact*). The leaching of nitrate to groundwater and emissions of nitrous oxide into the atmosphere not only depend on an excessive supply of nutrients, but also on a range of further contributory factors, such as the physical, chemical and biological characteristics of soils. Climate factors, such as precipitation and temperature, also play a role. An abundance of detailed information is therefore required for the description of this *impact* with appropriate indicators,.

In the short to medium term only *hypothetical nitrate concentrations (in mg NO_3 /l) in recharged groundwater* can be realised for a national system of indicators. With the help of the RAUMIS agricultural sector model, this indicator was quantified for the year 1991, and forecast for 2005, on the basis of region-specific nitrogen surpluses and the assumption of 50% denitrification.

Toxic effects on soil organisms due to inorganic and organic pollutants, cannot at present be described with indicators for the whole of Germany. Initially, further research findings within the scope of *soil-related biological site mapping* will have to be awaited, in order to obtain an indicator for harmful effects on soil quality through *comparison of predicted biocenosis with that actually monitored*.

1.5.3.4 Response indicators for diffused soil contamination

Two indicators, which can be mentioned as relevant *response* indicators for diffused soil contamination and be realised in the short term, are *subsidised ecological farming land (% of total land)* and *subsidised reduction in cattle and sheep stocks (GVE [Großvieheinheiten - livestock units])*. The growth in ecological farming land is an indicator for the reduction in the use of chemico-synthetic mineral fertilizers and PPA, as well of sewage sludge, which is prohibited for this method of cultivation. The reduction in cattle and sheep stocks is an indicator for the reduction in the amount and application of farmyard manure.

The *Länder* prepare annual reports on the state of conduct of agri-environmental measures, in which the number of subsidised projects, expenditure, subsidised land and cattle stocks are documented. The data, differentiated according to a range of 13 measures, is forwarded by the *Länder* to the BMVEL [Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft – Federal Ministry for Consumer Protection, Food and Agriculture] and published annually in the Federal Government's Agricultural Report. *Ecological cultivation methods* and the *reduction in stocks of cattle and sheep* each represent one of the total of 13 measures. Support data (subsidised land and livestock units) can therefore be directly adopted for the quantification of the above-mentioned *response* indicators.

Officially-published data provides, however, only aggregated information for the *Länder*. For regionally-differentiated quantification, requests for data have to be made to the *Länder*.

Table 19: Synopsis of relevant indicators for the area of *diffused soil contamination* and their reliability in the short to medium term

Diffused inputs (Driving Forces / Pressure)		Soil contamination * (State)		Emissions / Toxic effects (Impact)		Reduction of diffused inputs (Response)	
Issue	Indicators	Issue	Indicators	Issue	Indicators	Issue	Indicators
- Fertilizer - Farmyard manure - Mineral fertilizer - Sewage sludge	- N-nutrient-balance (kg N/ha Input – Output) ^{(b) (c) (d) (e) (f)} - Farmgate balance ^{(g) (i)} - Land balance	- Soil eutrophication	N_{min} -content in soils (mg NO ₃ + NH ₄ per 100g soil)	- Nitrate contamination of ground-water - Nitrous oxide emissions	- Hypothetical nitrate conc. (in mg NO ₃ /l) in recharged groundwater ^(k)	- Reduction of mineral fertilizer - Reduction in the use of PPA - Reduction in the use of sewage sludge	- Subsidized eco-farming land (% of land) ^{(c) (e)}
- Fertilizer / airborne contaminants	- Heavy metal inputs (mg/ha) ^{(h) (i)} - sewage sludge from farmyard manure - air mineral fertilizer	- inorganic contaminants (heavy metals)	- Heavy metal content (mg/kg dry soil material) ^{(g) (i)} - Actuable heavy metals prop. (% of heavy metal content) - Relative deviation of measured heavy metal content from Background value ^(g)	- Toxic effects for plants animals people	- Comparison of predicted with actually monitored on-site biocenose ^(j)	- Reduction in the use of farmyard fertilizer	- Subsidized reduction in the stock of cattle and sheep (GVE)
- Plant protection agent	- PPA use (kg/ha*a) ^{(g) (e)} - Crop plant diversity (number / farm and year) ⁽ⁱ⁾ - Risk index of PPA ^{(b) (c) (d)}	- Organic contaminants	Organic pollutions content (in µg or mg/ kg dry soil material) ^(g)				

Footnotes:

Indicators proposed from a) EUA (Huber et al., 2001; b) OECD; 2001; c) CSD (BMU, 2000; United Nations, 2001); d) EUROSTAT, 1999 e) EUA, 1999b, 2000; f) Commission of the European Community, 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) Römbke & Dreher, 2000
 * Soil acidification as a further form of diffused soil contamination has not been considered in this investigation, because on this point indicators already exist within the framework of Critical Loads.
 Shading highlights relevant indicators, which can be quantified throughout Germany in the short to medium term.