

TEXTE

15/2018

Land Degradation Neutrality

Handlungsempfehlungen zur Implementierung des
SDG-Ziels 15.3 und Entwicklung eines bodenbezogenen
Indikators

TEXTE 15/2018

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3715 71 202 0
UBA-FB 002587

Land Degradation Neutrality

Handlungsempfehlungen zur Implementierung des SDG-Ziels 15.3 und
Entwicklung eines bodenbezogenen Indikators

von

Stephanie Wunder, Timo Kaphengst, Dr. Ana Frelih-Larsen, Keighley McFarland,
Stefanie Albrecht
Ecologic Institut, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Ecologic Institut gemeinnützige GmbH
Pfalzburger Straße 43/44
10717 Berlin

Abschlussdatum:

September 2017

Redaktion:

Fachgebiet II 2.9 Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und internationaler
Bodenschutz
Sue Martina Starke

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Februar 2018

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3715 71 202 0 finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Dieser Projektbericht setzt sich mit der Umsetzung des durch die UN Nachhaltigkeitsziele 2015 eingeführten Zieles der „Land Degradation Neutrality“ (LDN) auseinander (SDG 15.3). Hierzu werden die Kernideen, Definitionen und Umsetzungsansätze des LDN Konzeptes auf der internationalen Ebene vorgestellt sowie eine siebenstufige Vorgehensweise zur Umsetzung des LDN Zieles auf nationaler Ebene entwickelt. Dazu wurde untersucht, welche Bodengefahren und Bodenfunktionen in Deutschland eine herausragende Rolle spielen, welche Indikatoren zur Erfassung von LDN geeignet sind und welche bodenrelevanten Monitoringsysteme bereits existieren. Zur Erfassung von Landdegradationsneutralität in Deutschland wurde ein Konzept für einen Indikator entwickelt, der Landnutzungen aufbauend auf dem Hemerobiekonzept (als Maß der Naturnähe) und unter Berücksichtigung von Bodengefährdungen ökologische Bodenwertigkeiten zuordnet. Über Landnutzungsänderungen können darüber Rückschlüsse auf Veränderungen der Bodenqualität gezogen und daraus abgeleitet werden, ob und inwieweit, Deutschland das Ziel der Landdegradationsneutralität erreicht hat. Ein solcher Indikator kann auch als potenzieller Indikator für die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) von Interesse sein, da aus ihm auch Informationen zur Änderung der Bodenqualität abgeleitet werden können, aber auch ob und inwieweit Deutschland das Ziel der Landdegradationsneutralität erreicht hat. Neben dem hier vorliegenden deutschen Bericht existiert auch eine englische Version, die sich stärker mit der europäischen Diskussion zur Anwendung und Umsetzung des LDN Konzeptes auseinandersetzt. Die Projektergebnisse basieren auf einer Literaturanalyse sowie auf über 50 durchgeführten Experteninterviews und zwei nationalen und einem internationalen Expertenworkshop.

Abstract

In September 2015, the UN General Assembly adopted the Sustainable Development Goals (SDGs), including target 15.3 which contains the objective to strive towards Land Degradation Neutrality (LDN) by 2030. This has opened a “window of opportunity” for many countries to strengthen policies for sustainable use of land and soils. This report has been made with the intention to support the implementation of LDN in Germany. It was developed as part of the research project “Implementing the Sustainable Development Goals on Soils”¹, carried out by Ecologic Institute on behalf of the German Environment Agency. More specifically, the report (i) gives an overview of the definitions and concepts behind LDN, (ii) provides a suggestion of necessary steps and guiding questions towards the implementation of LDN at the national level, (iii) provides an overview of the most relevant soil threats, drivers of land degradation and existing monitoring schemes in Germany and reflects on the assessment of soil functions and, finally, (iv) it gives an overview of potential indicators that can help monitor LDN in Germany. Due to the limitations of existing indicators, a new approach for an indicator was developed that can serve as a proxy for LDN. This indicator conceptually builds on the hemeroby (naturalness) concept and assigns soil related values while also considering likely negative impacts due to soil threats. Another aspect of the project was to contribute to the EU process of initiating LDN implementation. For this reason, a separate English report has been published (“Implementing SDG target 15.3 on “Land Degradation Neutrality”: Development of an indicator based on land use changes and soil values”). This second report provides an overview about land degradation in Europe and existing monitoring schemes and policy processes that are relevant for the implementation of LDN. It is therefore not an English translation of this German report but instead focuses on the EU-wide implementation of LDN and only briefly describes the German implementation process and development of an indicator approach, which are explained in more detail in this main German report.

¹ <http://ecologic.eu/12876>

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
Zusammenfassung	11
Summary	16
Danksagung	19
1 Einleitung	20
1.1 Bodenschutzrelevante Unterziele in den Sustainable Development Goals (SDGs)	21
1.2 LDN und Bodenschutz in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie	22
2 Ziel und Herangehensweise	24
3 Begriffsklärung „Land Degradation“ und „Land Degradation Neutrality“	25
3.1 Vorüberlegungen zur Begriffswahl und sprachlicher Verwendung	25
3.2 Was ist „Land Degradation“?	26
3.3 Was ist „Land Degradation <i>Neutrality</i> “?	28
4 Wesentliche Schritte zur Operationalisierung von LDN	29
4.1 Nationale Definition und Anpassung von LDN an den nationalen Kontext	30
4.2 Festsetzung nationaler Indikatoren	31
4.3 Festlegung von inhaltlicher und zeitlicher Ambition	31
4.4 Räumliche Konkretisierung der Zielerreichung	32
4.5 Festlegung von Ausgleichsmechanismen	32
4.6 Aufbau und Pflege eines Monitoringsystems	34
4.7 (Weiter-) Entwicklung des Instrumenten- und Maßnahmenspektrums	35
5 Bestandsaufnahme Bodenfunktionen und Bodengefährdungen	36
5.1 Funktionen des Bodens	36
5.1.1 Räumliche Differenzierung von Bodenfunktionen	38
5.1.2 Bewertung von Bodenfunktionen in Deutschland	38
5.2 Gefährdungsprozesse	41
5.2.1 Übersicht der Bodengefährdungen in Deutschland	41
5.2.2 Versiegelung	42
5.2.3 Erosion	44
5.2.4 Verdichtung	44
5.2.5 Humusverlust	45
5.2.6 Schadstoffeinträge	46
5.2.7 Nährstoffüberschüsse/Überdüngung	46

5.2.8	Rückgang der Bodenbiodiversität	47
5.3	Treiber der wichtigsten Gefährdungsprozesse.....	47
6	Bestehende Monitoringsysteme zu Bodenzustand und -veränderungen.....	49
6.1	Art der Datenerhebung in Monitoringsystemen	49
6.2	Übersicht bestehender Monitoringsysteme.....	50
6.2.1	Wesentliche deutsche Monitoringsysteme	50
6.2.2	Wesentliche europäische Monitoringsysteme	52
6.2.3	Wesentliche internationale Monitoringsysteme	53
6.3	Zusammenfassende Betrachtung der Hindernisse beim Monitoring von LDN	53
7	Screening möglicher geeigneter Indikatoren	54
7.1	Internationaler Prozess zur Definition von Indikatoren	54
7.2	Anforderungen an Indikatoren	56
7.3	Mögliche Indikatoren für die Umsetzung von LDN in Deutschland	57
7.3.1	Landnutzung/ Landnutzungsänderung	59
7.3.2	Flächenproduktivität/ „Land productivity“	59
7.3.3	Humusgehalt	60
7.3.4	Erosion/Erosionsgefahr	61
7.3.5	Versiegelung/Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr	62
7.3.6	Schadstoffe.....	63
7.3.7	Verdichtung	64
7.3.8	Extraterritoriale Flächennutzung	64
7.3.9	Weitere Indikatoren	65
8	Indikatorentwicklung basierend auf Landnutzungsänderungen.....	66
8.1	Kategorien der Landnutzung und Landnutzungsänderung	67
8.2	Bewertung von Effekten der Landnutzung und Landnutzungsänderungen auf die natürlichen Bodenfunktionen.....	70
8.3	Beispielrechnung zur Bilanzierung von Landnutzungsänderungen.....	74
8.3.1	Referenzzustand.....	75
8.3.2	BAU (Business-as-usual)-Szenario	77
8.3.3	30 ha-Szenario.....	78
8.3.4	30 ha-Ziel plus Extensivierung-Szenario.....	79
8.4	Grenzen des vorgestellten Konzeptes und Weiterentwicklungsbedarf	80
9	Ausblick: Internationale Impulse der deutschen LDN Umsetzung	83
10	Referenzen.....	84
11	Annex I Interviewte Personen	93
12	Annex II Übersicht der relevanten Boden-Monitoringsysteme für Deutschland.....	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wesentliche Schritte zur Operationalisierung von LDN auf nationaler Ebene	30
Abbildung 2:	Laut ExpertInnenmeinung relevanteste Bodengefährdungen in Deutschland	42
Abbildung 3:	Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche (in ha/Tag)	43
Abbildung 4	Laut ExpertInnenmeinung geeignete Indikatoren zum Monitoring des LDN Zieles in Deutschland	58
Abbildung 5:	Konzept der Erfassung von Landdegradationsneutralität durch die qualitative Bewertung von Landnutzungsänderungen	67
Abbildung 6:	Vorgehensweise zur Bilanzierung von LDN	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ökosystemleistungen des Bodens und die dahinter liegenden Bodenfunktionen	37
Tabelle 2:	Bodenfunktionen nach dem Bodenschutzgesetz und des Entwurfs einer Bodenrahmenrichtlinie, geordnet nach Ähnlichkeit zum BBodSchG.....	38
Tabelle 3:	Bewertungsrelevante Boden(teil)funktionen in Hessen	41
Tabelle 4:	Wesentliche Treiber der wichtigsten Bodengefährdungsprozesse.....	47
Tabelle 5:	Vergleich und Einordnung unterschiedlicher Landnutzungskategorisierungen	69
Tabelle 6:	Klassifizierung der Hemerobiestufen bei Flächennutzungen	71
Tabelle 7:	Bodenwertigkeiten auf Basis von Hemerobiestufen und unter Einbezug der Bodengefährdungen für verschiedene Landnutzungskategorien	73
Tabelle 8:	Ausgangsbasis der Flächenberechnung für Deutschland (vereinfachte Darstellung)	76
Tabelle 9:	Landnutzungskategorien und Bodenwerte des Referenzszenarios in 2015 (vereinfachte Darstellung)	77
Tabelle 10:	LDN Bilanzierung 2025 für das „Business as usual“-Szenario (Flächenneuinanspruchnahme 65ha/d, Intensivierung)	78
Tabelle 11:	LDN Bilanzierung 2025 bei Erreichen des 30ha-Zieles (andere Trends konstant).....	79
Tabelle 12:	30ha-Ziel plus Extensivierung-Szenario 2025 (Extensivierung Wald, 20 % mehr Ökolandbau)	80

Abkürzungsverzeichnis

BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BZE (BZE LW I / BZE W I / BZE W II)	Bodenzustandserhebung (in der Landwirtschaft / im Wald I / im Wald II)
CBD	UN Convention on Biological Diversity
CLC	CORINE Land Cover
COP	Conference of the Parties
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EEA	Europäische Umweltagentur (European Environment Agency)
ESDAC	European Soil Data Centre
EU	European Union
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
FISBo	FachInformationssystem Bodenkunde
GEF	Global Environment Facility
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GLASOD	Global Assessment of Human-induced Soil Degradation
GLÖZ	guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand
GSP	Global Soil Partnership
GTAP-MRIO	Multi-regionale Input Output Modelle
ha	Hektar
IAEG-SDGs	Inter-Agency and Expert Group on Sustainable Development Goal Indicators
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies
IPBES	Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
ISRIC	World Soil Information
ITPS	Intergovernmental Technical Panel on Soils
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
IWG	Intergovernmental Working Group
JRC	Joint Research Centre
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LDN	Landdegradationsneutralität (Land Degradation Neutrality)
LDTs	Land Degradation Target Setting
LUCAS	Land Use/Cover Area frame Statistical Survey

LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
MAES	Mapping and Assessment of Ecosystem Services
MDGs	Millenniumentwicklungsziele (Millennium Development Goals)
MSA	Mean Species Abundance
NGO	Non-Governmental Organisation
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OWG	Open Working Group
SDGs	Globale Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals)
SDSN	Sustainable Development Solutions Network
SLM	Sustainable Land Management
SOC	Soil Organic Carbon
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
STAP	Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environment Facility
t/ha	Tonnen pro Hektar
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
TEV	Total Economic Value
TU München	Technische Universität München
UBA	Umweltbundesamt
UN	Vereinte Nationen (United Nations)
UNCCD	Wüstenkonvention der Vereinten Nationen (United Nations Convention to Combat Desertification)
UNCCD SPI	United Nations Convention to Combat Desertification Science-Policy Interface
UNDESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
WOCAT	World Overview of Conservation Approaches and Technologies
ZNLD	Zero Net Land Degradation

Zusammenfassung

Die Bekämpfung der Bodendegradation ist schon lange Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sowie politischer Maßnahmen und Programme - in Deutschland und weltweit. Das Konzept und Ziel der „Land Degradation Neutrality“ bzw. „Landdegradationsneutralität“ (LDN) hingegen, das mit den 17 UN Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals, kurz: SDGs) und 169 Unterzielen im September 2015 von der UN Generalversammlung beschlossen wurde, ist noch neu. Im Kern besagt das Konzept, dass weitere Landdegradation zu verhindern ist und nicht vermeidbare Verschlechterungen von Land und Boden durch die Wiederherstellung von Ökosystem(-dienstleistungen) des Bodens an anderer Stelle kompensiert werden müssen.

Die Erreichung des SDG 15.3 „Land Degradation Neutrality“ stellt damit eine wichtige Schnittstelle und Grundvoraussetzung für die Erreichung anderer SDGs dar (z.B. Ernährungssicherheit, Zugang zu moderner Energie, Gesundheit, nachhaltige Städte, nachhaltiger Konsum/Produktion, Wassermanagement und Bekämpfung des Klimawandels).

Die deutsche Bundesregierung hat sich grundsätzlich zu einer ambitionierten Umsetzung der SDGs verpflichtet, so auch in Bezug auf das SDG 15.3. Dies spiegelt sich in der 2016 aktualisierten Fassung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) wieder. Diese bildet den wesentlichen strategischen Rahmen zur Umsetzung der SDGs in Deutschland. Im Kapitel 15 der DNS wird die Absicht beschrieben, einen Indikator zu entwickeln, der die Veränderung der Flächennutzung mit der Veränderung der Bodenqualität verbindet und damit einen Beitrag zur Umsetzung des SDG 15.3. leistet. Konkret heißt es dort:

„Auch national ist die Erhaltung und die nachhaltige Nutzung der Ressource Boden ein wichtiges Ziel. Im Sinne des aktuellen Umweltberichtes 2015 der Bundesregierung, soll die Berücksichtigung bodenrelevanter Themen weiter gestärkt werden, z.B. durch Berücksichtigung der bodenrelevanten Vorgaben der Agenda 2030 in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Zur Beobachtung von möglichen Veränderungen der Bodenqualität wird ein neuer Indikator erarbeitet. Dieser soll sich auf einer Aufnahme der Flächennutzung in Deutschland stützen und eine Beurteilung der Veränderungen in den einzelnen Jahren ermöglichen. Damit sollen sich die Folgen von Bodenverlusten aus dem Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsflächen u.a. als Einbußen an der Produktion von Biomasse, der Fähigkeit der Aufnahme von Niederschlagswasser oder der Bindung von Treibhausgasen erfassen und bewerten lassen. Mit dieser Indikatorentwicklung soll zudem der deutsche Beitrag zur Umsetzung des SDG-Unterziels 15.3 ‚Land Degradation Neutrality‘ unterstützt werden. Durch die verstärkte Betrachtung des Bodenzustands soll dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung auch im Bereich Boden stärker Rechnung getragen werden – im Sinne einer Sektoralstrategie.“ (Bundesregierung 2017, S.197-198)

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamt (UBA) befasste sich zwischen November 2015 und Juli 2017 mit der Frage, wie das Konzept der „Landdegradationsneutralität“ in Deutschland umgesetzt werden kann und welcher Indikator für die Erfassung der nationalen Entwicklungen hierfür geeignet ist. Damit leistet es einen direkten Beitrag zur Weiterentwicklung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie.

Bei der Erarbeitung eines Ansatzes zur Konzeption und Umsetzung von LDN kann dabei auf zahlreiche aktuelle Vorarbeiten auf internationaler Ebene zurückgegriffen werden, die innerhalb der Projektlaufzeit zunehmend veröffentlicht wurden. Insbesondere das Sekretariat der UN Wüstenkonvention (UNCCD), das Science Policy Interface der UNCCD sowie der Global Mechanism der UNCCD haben sich intensiv mit Fragen der Umsetzung, Ausgestaltung und Messung von LDN auseinandergesetzt. Diese Arbeiten sind auch in die Festsetzungen der UN Statistischen Kommission (UNSTAT) zur Messung eines LDN Indikators eingeflossen und mittlerweile weitestgehend abgeschlossen. Darüber hinaus wurden in mittlerweile über 100 Ländern über das sogenannte „Target Setting Program“ des UNCCD Global Mechanism Prozesse zur nationalen LDN Zielsetzung angestoßen.

Trotz dieser Vorarbeiten gibt es zur Umsetzung des Konzeptes einen breiten Interpretationsspielraum und noch kaum Erfahrung in der Umsetzung. Grundsätzlich haben die einzelnen Staaten bei der Umsetzung der SDGs Spielräume für die nationale Implementierung der SDGs und sollen dabei nationale Besonderheiten berücksichtigen. Schließlich ist die Entscheidung für ein Konzept und einen Indikator innerhalb der zur Verfügung stehenden Optionen ein politischer Prozess, der einen Abstimmungsprozess der relevanten Stakeholder voraussetzt.

Im Rahmen des Projektes wurde daher zunächst ein Vorschlag für eine Vorgehensweise erstellt, wie sich der Operationalisierung des LDN Konzeptes in Deutschland genähert werden kann und welche wichtigen Fragestellungen es auf diesem Weg zu beantworten gilt. Die im Bericht näher vorgestellten Schritte umfassen:

1. Nationale Definition und Anpassung von LDN an den nationalen Kontext
2. Festsetzung nationaler Indikatoren
3. Festlegung von inhaltlicher und zeitlicher Ambition
4. Räumliche Konkretisierung der Zielerreichung
5. Festlegung von Ausgleichsmechanismen
6. Aufbau und Pflege eines Monitoringsystems
7. (Weiter-) Entwicklung des Instrumenten- und Maßnahmenspektrums

Aus diesen Operationalisierungsschritten ergeben sich eine Reihe von Fragen wie zum Beispiel: Welche konkreten Probleme der Land- und Bodendegradation sollen (vorrangig) adressiert werden? Wie ambitioniert soll die Umsetzung erfolgen? Auf welcher räumlichen Ebene (bundesweit, Länder- oder Landkreisebene) soll das Konzept ansetzen? Welche zeitlichen Aspekte (Referenzjahr/ Dauer der Degradation und Restaurierung etc.) gilt es zu konkretisieren? Welche Bemessungsgrundlage soll gewählt werden? Können Annahmen zu Schwellenwerten/ Schwere der Degradation festgelegt werden? Wie können degradierte und restaurierte Flächen gegeneinander aufgerechnet/ aggregiert werden?

Diese Fragen müssen vor der Erfassung (und Verifizierung) der bestehenden Landdegradation in Deutschland geklärt werden. Die Klärung ist ebenso eine Grundvoraussetzung für die Ableitung politischer Maßnahmen und die Weiterentwicklung bestehender Instrumente zur Verringerung der Bodendegradation in Deutschland.

Im Projekt bildete die Definition der Begriffe „Land Degradation“ und „Land Degradation Neutrality“ für den deutschen Kontext den Ausgangspunkt für ein Konzept der LDN Umsetzung. Dabei musste unter anderem berücksichtigt werden, dass dem englischen „Land“ im Deutschen unterschiedliche Begriffe wie „Land“, „Boden“ und „Fläche“ gegenüberstehen.

Darauf aufbauend wurde untersucht, auf welche Bodenfunktionen sich das LDN Konzept in Deutschland besonders konzentrieren sollte und welchen Bodengefahren besondere Priorität eingeräumt werden muss. Daraus wurde abgeleitet, welche vorhandenen Indikatoren für das LDN Konzept relevant und für Deutschland bei der Bewertung von Boden(qualitäts-)veränderungen geeignet sind.

Hierzu wurden eine Literaturschau vorgenommen sowie über 40 ExpertInneninterviews und ein ExpertInnenworkshop mit 15 weiteren Teilnehmenden im Juli 2016 durchgeführt. Hieraus wurden die Vor- und Nachteile häufig genannter Bodenindikatoren gegenübergestellt und bestehende bodenbezogene Monitoringsysteme untersucht, um die praktische Anwendbarkeit der Indikatoren und die hierzu notwendige Datenverfügbarkeit zu überprüfen.

Die Zusammenschau zeigte, dass von den insgesamt acht Bodengefahren aus der europäischen „Thematischen Strategie für den Bodenschutz“ (KOM(2006)231) die sechs Gefahren Versiegelung, Erosion, Verlust organischer Bodensubstanz/ Humusverlust sowie Verdichtung, Schadstoffeinträge und Nährstoffüberschüsse als für Deutschland besonders relevant angesehen wurden.

Anders als bei den Bodengefahren, bestand sowohl in der Literaturschau als auch in der Auswertung der ExpertInneninterviews, Einigkeit, dass eine Hierarchisierung von Bodenfunktionen für Deutschland nicht möglich bzw. nicht zielführend ist. Auch das deutsche Bundesbodenschutzgesetz stellt die Vielzahl der Bodenfunktionen, d.h. der natürlichen Funktionen (Lebensraum, Puffer- und Speichermedium etc.), Funktionen als Archiv der Kultur- und Naturgeschichte sowie Nutzungsfunktionen (Flächen für Siedlung und Erholung, Rohstofflagerstätte, Standort für Landwirtschaft etc.) gleichwertig nebeneinander. In der Praxis stehen die Bodenfunktionen allerdings häufig miteinander im Zielkonflikt: So nimmt mit einer erhöhten Nutzungsfunktion für Siedlung in der Regel die natürliche Lebensraumfunktion ab. Ebenso geht mit der Steigerung der Lebensraumfunktion für Pflanzen und Tiere zumeist eine Verringerung der landwirtschaftlichen Produktivität einher. Aufgrund der Ausrichtung von LDN als Unterziel (SDG 15.3) des Erhaltes natürlicher Ökosysteme (SDG 15) wurde sich im Projekt deshalb verstärkt auf die Erhaltung und Verbesserung der natürlichen Bodenfunktionen fokussiert.

Bei der Auswahl möglicher LDN Indikatoren kamen in Anlehnung an die Priorisierung der Bodengefahren insbesondere Versiegelung/ Flächenneuanspruchnahme für Siedlung und Verkehr sowie Erosion, Verlust von Humusgehalt sowie Verdichtung und Kontamination in Betracht. Zwischen den einbezogenen Expertinnen und Experten herrschte jedoch Uneinigkeit mit Hinblick auf Datenverfügbarkeit und Qualität sowie zu Degradations-Schwellenwerten. Zudem gelang es nicht, sich auf einen repräsentativen Schlüsselindikator zu verständigen.

Auch der auf internationaler Ebene vorgeschlagene Indikatorrahmen der Statistischen Kommission der UN und der UNCCD wurde als wenig geeignet eingeschätzt. Dieser Indikatorrahmen schlägt für die Erfassung von LDN („Anteil an Flächen die im Vergleich zur Gesamtfläche degradiert sind“) drei Subindikatoren vor: 1. Landbedeckung und Änderung der Landbedeckung, 2. Landproduktivität sowie 3. Kohlenstoff im und über dem Boden. Landnutzungsänderungen werden bei dieser Auswahl jedoch nicht normativ bewertet, sondern dienen nur der Erfassung erster Hinweise auf Degradation. Unter den deutschen ExpertInnen wurde die Flächenproduktivität als Indikator kritisch gesehen, da zumindest kurzfristige Produktivitätssteigerungen auch bei nicht nachhaltiger Bodennutzung (hinsichtlich Dünge- und Bewässerungspraxis, enger Fruchtfolge etc.) durchaus gegeben sind. Die Erfassung des Humusgehaltes wiederum wurde als relevant eingestuft, aber in Bezug auf die Datenverfügbarkeit und langfristige Aussagekraft kritisch diskutiert.

Zahlreiche ExpertInnen sprachen sich zudem für den Einbezug eines Indikators zur „extraterritorialen Flächennutzung“ Deutschlands aus (also zum „virtuellen Nettoimport“ Deutschlands von Land und Boden), weil die begrenzte Erfassung von LDN auf deutschen Flächen nicht abbildet, welchen Einfluss die deutsche Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln sowie Konsumprodukten auf die Flächennutzung und damit auch auf die Landdegradation in anderen Teilen der Welt hat. Gerade da die SDGs den Anspruch haben, im nationalen Kontext auch die globale Verantwortung zu reflektieren, wird dies von zahlreichen ExpertInnen als wichtiger Schritt für eine konsistente Umsetzung des LDN Zieles gesehen. Als möglicher Indikator wurde z.B. der ökologische Fußabdruck genannt.

Vor diesem Hintergrund wurde ein neuer Indikatoransatz entwickelt, in dem über Landnutzungs(änderungen) Aussagen zur Bodenqualität getroffen werden sollten. Dabei wird angenommen, dass über Landnutzung und Landnutzungsänderungen erste grundsätzliche Aussagen zu Bodengefährdungen möglich sind. So können Phänomene wie Versiegelung, Rückgang von Moorflächen, Grünlandumbruch etc. durch den Indikator gut sichtbar gemacht werden.

Ein wesentlicher Vorteil eines solchen Landnutzungsindikators besteht in seiner weitgehenden Unabhängigkeit von aufwendig zu messenden biophysikalischen Bodendaten. Datenreihen zu Landnutzungsänderungen sind bereits vorhanden, so dass – anders als bei vielen anderen Indikatoren zu Bodenqualität, in denen Daten nur lückenhaft vorliegen – der Messung und dem Monitoring eines solchen Indikators wenig im Wege steht.

Um eine Bewertung von Landnutzungsänderungen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Bodenqualität zu ermöglichen, werden in dem Ansatz zunächst Landnutzungen mit Hemerobieklassen verbunden und dadurch den verschiedenen Landnutzungen Bodenqualitätswerte zugeordnet. Hemerobie stellt die Gesamtheit aller Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt dar und kann damit als ein Maß der Naturnähe verstanden werden. Sie bezieht sich dabei hauptsächlich auf die „Natürlichkeit“ der Vegetation eines Standortes. Konkret baut das hier vorgeschlagene Bewertungssystem auf die Anwendung des Hemerobieansatzes nach Fehrenbach et al (2015) auf. Dieser ordnet auch den land- und forstwirtschaftlichen Flächennutzungen gemäß ihrer Nutzungsintensität eine numerische Wertigkeit zu.

Im Bewertungsansatz wird davon ausgegangen, dass direkte Änderungen der Landnutzungsform mit Veränderungen der Bodenqualität einhergehen und dass bestimmte Landnutzungsformen aus Sicht des Bodenschutzes eher positiv zu bewerten sind und andere negativ. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass der Grad der menschlichen Beeinflussung (also die Hemerobie) stark mit der Wertigkeit eines Ökosystems für die natürlichen Bodenfunktionen zusammenhängt. Diese Annahme folgt der Einsicht, dass je weniger ein Boden (durch Bearbeitung und Überprägung) gestört wird, desto eher werden die natürlichen Bodenfunktionen erhalten oder können sich neu ausbilden. Bei der Zuordnung von Bodenwertigkeiten stehen dabei ökologische Aspekte im Vordergrund, nicht etwa Bodenwertigkeiten im Sinne der landwirtschaftlichen Bodenschätzung.

Eine exemplarische Abschätzung für drei verschiedene Szenarien der Landnutzungsentwicklung in Deutschland zeigt, dass eine reine Fokussierung auf die Erreichung des sogenannten 30 ha-Zieles der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (unter 30 ha tägliche Neuinanspruchnahme an Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2030) nicht ausreicht, um in Deutschland eine Landdegradationsneutralität zu erreichen. Vielmehr müssen dafür parallel Renaturierungs- und/oder Extensivierungsmaßnahmen greifen.

Interviews und ein Workshop mit Experten und Expertinnen im März 2017 haben ergeben, dass ein solcher Indikator vom Konzept her geeignet sein kann, Bodenqualitätsänderungen zu erfassen und auch als Diskussionsgrundlage für einen Indikator der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie dienen kann. Da im Rahmen dieses Projektes der Indikator zunächst nur konzeptionell entworfen werden konnte, müssen für die praktische Anwendung noch weitere Konkretisierungen vorgenommen werden. Insbesondere in Hinblick auf die Definition und Abgrenzung der einzelnen Landnutzungskategorien und der Zuordnung der Bodenqualitätswerte sollten weitere Abstimmungen zwischen (Boden-)Wissenschaft und Politik vorgenommen werden. Dies bezieht die Frage ein, wie die sich stetig verbessernden Fernerkundungsdaten zur Landnutzung für die Spezifizierung des Indikators einbezogen werden können.

Eine politische Umsetzung des LDN Konzeptes sollte zudem die Erfassung der extraterritorialen Flächennutzungen mit erfassen, um Deutschlands Verantwortung und Beitrag bei der Erreichung des globalen Zieles der Landnutzungsneutralität widerzuspiegeln. Auch wenn ein solcher Indikator im Rahmen des hier vorliegenden Projektes nicht weiter ausgearbeitet wurde, könnte dieser Indikator perspektivisch ebenfalls in die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie aufgenommen werden.

Die Projektarbeit zur Erstellung eines LDN Konzeptes und Indikators für Deutschland hat gezeigt, dass auf europäischer und internationaler Ebene großes Interesse an der praktischen Umsetzung von LDN besteht. Hierfür wurde im Rahmen des Projektes im Dezember 2016 ein Workshop mit VertreterInnen aus 14 EU-Mitgliedsstaaten in den Räumen der Europäischen Kommission in Brüssel durchgeführt (siehe englischsprachiger Abschlussbericht zum hier vorgestellten Konzept und Indikator sowie einer Diskussion der EU Bodenpolitik und internationalen LDN Umsetzung). Zudem wurde das Konzept und der entwickelte Landnutzungsindikator auf der Global Soil Week 2017 einem internationalen Publikum vorgestellt. Gerade da auf europäischer Ebene noch kein Prozess zur Umsetzung von LDN gestartet wurde, kann Deutschland hier, mit einer zügigen Umsetzung und einem klaren Konzept, Anstöße

auch für andere Länder geben und so als Katalysator für eine ambitionierte Umsetzung des LDN Konzeptes wirken.

Summary

The continuing degradation of land and soils is a severe threat to the provision of ecosystem services and economic development globally. The pressures on land are increasing due to urbanisation, population growth and rising demands for food, feed, fuel and fibre. Halting land degradation is therefore a prerequisite for sustainable development.

In the past several years the concept of “Land degradation Neutrality” (LDN) has received increasing attention at the international policy level. “Neutrality” means that the concept is not only about halting the loss of healthy and fertile land, but also about actively reversing degradation by restoring land in order to counterbalance losses that cannot be avoided. With the adoption of the SDGs by the UN General Assembly in September 2015 including target 15.3 to strive towards Land Degradation Neutrality by 2030, it is now up to all countries to implement this goal.

However, as of July 2017 national implementation is still in the early stages, taking place in only a few countries and mainly involving the first steps of target setting. Ultimately, to implement LDN nationally, one or a set of indicators have to be agreed on, a monitoring system needs to be established and appropriate instruments need to be implemented in order to steer land use and land management into a sustainable direction.

To explore how Land Degradation Neutrality can be implemented, the German Environment Agency commissioned the research project “Implementing the Sustainable Development Goals on Soils”². It ran from October 2015 to July 2017 and was carried out by Ecologic Institute. It aimed to initiate national discussions on the options for implementing LDN in Germany and to develop appropriate indicators that might help in monitoring the implementation. This report presents the result of this project.

Following the adoption of the UN SDGs in September 2015, Germany has committed to implement the SDGs with high ambition. Germany was also among the first 22 countries that presented their progress at the UN High Level Political Forum (HLPF) in July 2016 in New York.

The German government has chosen the National Sustainable Development Strategy (“Nachhaltigkeitsstrategie”) as the key strategic framework for achieving the SDGs in Germany. The first National Sustainable Development Strategy was adopted in 2002 and set out national sustainability goals and indicators. Since then, the government has reported on its implementation status every four years in the form of progress reports that also update the strategy’s content. Every two years, the Federal Statistical Office publishes an independent indicator report with information on the progress towards meeting the goals. The revised strategy, integrating the SDG’s ambition and goal structure, was published in January 2017.

The existing indicators of Germany’s National Sustainable Development Strategy with relevance to land and soil include nitrogen surplus, area under organic farming, and species diversity. Most importantly, the strategy includes an indicator on land take (“Built-up area and transport infrastructure expansion”, in German: “Flächeninanspruchnahme”) with the objective to reduce expansion of built up area and infrastructure to less than 30 ha/day by 2030. However, the German government also sees the need for a new indicator to assess changes in soil quality and support the implementation of SDG target 15.3 on Land Degradation Neutrality. The current version of Germany’s Sustainable Development Strategy announced that there is ongoing work to design an appropriate indicator (Bundesregierung 2017, S.197-198).

² <http://ecologic.eu/12876>

In order to implement the LDN concept, the meaning of land degradation within the specific context of each country needs to be defined and ways for how land degradation neutrality can be achieved spelled out. The first attempts to do so have been undertaken by the UNCCD, e.g. through the LDN “Target Setting Program”, which more than 100 countries have joined thus far. In September 2016, the UNCCD Science Policy Interface also published a “Conceptual Framework” intended to support the processes to achieve this goal.

However, within each country, the implementation of LDN and the definition of indicators requires the consideration of the individual national circumstances, e.g. with regards to environmental preconditions, main soil threats, trends, data availability, and also political objectives. Moreover, the SDG targets are defined in the 2030 Agenda as “aspirational and global”, with each government tailoring its own national targets and indicators “guided by the global level of ambition but taking into account national circumstances”. So there is not only the flexibility but also the intention to tailor the targets and their monitoring according to national needs.

Due to the complexity of land degradation, countries will need guidance for LDN implementation in their national policies. This project therefore developed a stepwise approach for advancing the implementation of the LDN concept. The approach is divided into seven key strategic steps:

1. Define and tailor LDN in the national context
2. Define suitable indicators
3. Define baseline and set targets
4. Specify the spatial dimension
5. Determine compensation mechanisms
6. Set up and maintain monitoring system
7. Improve enabling environment

In consideration of step 1 that aims to tailor the concept to the national context, an early activity within the project was to conduct a literature review to identify the most important soil threats and soil functions in Germany. In addition, 40 expert interviews were carried out in order to collect expert opinions on the question of whether certain soil functions and soil threats can be prioritized over others.

The interviews clearly showed that creating a general hierarchy of soil functions is neither possible nor desirable. However, for soil threats, the majority of the experts who replied to this question argued that soil sealing and land take are of particular relevance for Germany. Other soil threats that were mentioned as particularly relevant were erosion, loss of soil organic matter, compaction, contamination and nutrient overload.

The project also reviewed possible soil quality indicators that can help assess the identified main soil threats, the strengths and weaknesses of the indicators in the context of LDN, as well as an overview of existing databases and monitoring opportunities that could be applied. However, as the discourse with experts in interviews and workshops showed, it was not possible to identify one standalone indicator that would be suitable to cover the various dimensions of soil quality in Germany. Also, the UNCCD approach, with its three recommended indicators (land cover, land productivity, carbon stocks above and below ground), was discussed amongst experts in interviews and a workshop but was considered as inappropriate given the tradeoffs between productivity and long term soil quality and the problems with measuring and evaluating soil organic carbon changes in Germany.

Therefore, a new indicator concept was developed within the project to overcome the limitations of physical indicators that often need to be measured onsite. To do so, we took land use categories as a proxy indicator. We then assigned soil values considering exposure to soil threats for each land use category, while also taking the hemeroby (naturalness) concept into account. The general assumption of this approach is that changes in land use directly correspond with changes in the natural functions

of soil and soil quality and that some land uses have less adverse effects on soil than others. However, in order to use the indicator concept in practice, the preliminary assigned categories and soil values need to be tailored to the regional circumstances and must be subject for further discussion with all relevant stakeholders.

It is important here to point out that the focus of this concept was placed on soil indicators. Since the terms “land” and “soil” have many overlaps and differences, this is important to note. The focus on soil is also due the fact that the English word “land” does not translate clearly to German; it can be translated to “Boden” (“soil”), “Fläche” (i.e. “surface area”) or “Land” (“country” or “countryside”). We also focused on *ecological aspects* of soil quality.

Scenario calculations eventually showed how such a calculation would work and illustrated that a focus on measures to achieve the 30 ha/day goal alone would not be sufficient to meet LDN, but that further efforts such as restoration efforts, increasing organic farming area, unsealing of urban areas, etc., would be needed to achieve LDN in Germany.

Danksagung

Der hier vorliegende Bericht bezieht sich auch auf die Ergebnisse von zahlreichen Interviews mit Experten und Expertinnen, die im Hinblick auf die Umsetzung und nationale Anpassung der land- und bodenbezogenen Nachhaltigkeitsziele geführt wurden. Zudem wurden im Rahmen des Projektes zwei deutschsprachige Workshops und ein englischsprachiger Workshop organisiert. Für das uns hierfür von den nationalen und internationalen Expertinnen und Experten entgegengebrachte Interesse sowie die Zeit und Gesprächsbereitschaft möchten wir uns an dieser Stelle ganz herzlich bedanken! Eine Übersicht der für die Interviews einbezogenen ExpertInnen ist im Anhang dieses Berichtes zu finden. Protokolle der drei Veranstaltungen sind auf der Projektwebsite des Ecologic Instituts³ zu finden.

³ <http://ecologic.eu/de/12601>

1 Einleitung

Die Degradation von Böden betrifft nach Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) bereits heute mehr als 20% der Weltbevölkerung. Durch eine wachsende Weltbevölkerung, sich wandelnde Konsum- und Ernährungsmuster und eine steigende Nachfrage nach Fleisch und nachwachsenden Rohstoffen u.a. zur Energieproduktion gelangen fruchtbare Böden immer weiter unter Nutzungsdruck. Gleichzeitig gehen durch Degradationsprozesse fruchtbare Böden bereits jetzt schon in großem Umfang verloren. Einschätzungen zufolge sind global etwa 30% der Böden von Degradation betroffen; schon 33% der Weideflächen, 25% der Ackerflächen und 29% der Waldflächen gelten als degradiert (Nkonya, Mirzabaev, und von Braun 2016b). Weltweit gehen jährlich zwischen 10 und 12 Millionen Hektar fruchtbarer Boden durch falsche Bewirtschaftung verloren (BMUB 2013). In Deutschland stellen eine Vielzahl an Prozessen eine Gefahr für Böden dar: Versiegelung, Erosion, Verdichtung, Humusverlust, Nährstoffüberschüsse und weitere Bodengefahren beeinträchtigen die Bodenfunktionen auf einem erheblichen Teil der Fläche in Deutschland (UBA 2015a).

Bodendegradation verursacht beachtliche Kosten. Boden ist eine nicht erneuerbare Ressource, dessen Wiederherstellung nur bedingt umsetzbar ist und mit erheblichen Mehrkosten im Vergleich mit den Kosten der Vermeidung von Bodendegradation verbunden ist (FAO 2015).

Bereits im Abschlussdokument der Konferenz der Vereinten Nationen über nachhaltige Entwicklung vom Juni 2012 in Rio de Janeiro (Rio+20 Konferenz) „The Future We Want“ einigte sich die internationale Gemeinschaft darauf, auf eine „land degradation neutral world“ hinwirken zu wollen (Generalversammlung der Vereinten Nationen 2015).

Das Ziel der Landdegradationsneutralität (LDN) findet sich auch in den im September 2015 von der UN Generalversammlung beschlossenen globalen Nachhaltigkeitszielen (engl. „Sustainable Development Goals“, SDGs) wieder. Die SDGs lösen die bisherigen Millenniumsentwicklungsziele (MDGs) ab und entwickeln sie weiter. Im Unterschied zu den MDGs, die insbesondere Entwicklungsländern galten, gelten die SDGs für alle Staaten und sind auch in Deutschland umzusetzen.

Ziel dieses im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Projektes und des vorliegenden Berichtes ist es, Vorschläge für eine Umsetzung der bodenbezogenen globalen Nachhaltigkeitsziele (SDGs) auf nationaler und globaler Ebene zu entwickeln.

Neben einer Auswertung vorhandener Literatur zu den oben genannten Themen, stützen sich die in diesem Bericht getroffenen Schlussfolgerungen stark auf die Ergebnisse von über 50 durchgeführten Interviews, zwei nationalen ExpertInnenworkshops und einem europäischen Workshop mit VertreterInnen der EU-Mitgliedsstaaten und der Europäischen Kommission⁴.

⁴ Die Präsentationen und Zusammenfassungen aller Workshops stehen auf der Projektwebseite des Ecologic Instituts unter <http://ecologic.eu/de/12601> zum Download zur Verfügung.

1.1 Bodenschutzrelevante Unterziele in den Sustainable Development Goals (SDGs)

Die SDGs, auch „Global Goals“ genannt, umfassen 17 politisch verbindliche, **nachhaltige Entwicklungsziele** und 169 Unterziele.

Das wichtigste bodenschutzbezogene Ziel ist dabei das **Ziel 15**:

„Ziel 15. Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodenverschlechterung stoppen und umkehren und den Biodiversitätsverlust stoppen“ (UN General Assembly 2015).

Unterziel 15.3 lautet konkretisierend:

„15.3 Bis 2030 die Wüstenbildung bekämpfen, die geschädigten Flächen und Böden einschließlich der von Wüstenbildung, Dürre und Überschwemmungen betroffenen Flächen sanieren und eine Welt anstreben, in der die Landverödung neutralisiert wird“ (Generalversammlung der Vereinten Nationen 2015) bzw. in der englischsprachigen Originalfassung: “By 2030, combat desertification, restore degraded land and soil, including land affected by desertification, drought and floods, and strive to achieve a land degradation-neutral world” (UNDESA 2016)

Darüber hinaus gibt es weitere Ziele und Unterziele, die Verweise zum Bodenschutz aufweisen, bzw. die ohne gesunde, nachhaltig bewirtschaftete Böden nicht zu erreichen sind. Die wichtigsten Verknüpfungen bodenrelevanter SDGs bestehen dabei zu den folgenden Zielen:

- ▶ **Ziel 2 (Ernährungssicherheit)** ist darauf ausgerichtet, Hunger zu beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung zu erreichen und eine **nachhaltige Landwirtschaft** zu fördern. Das **Unterziel 2.4** hebt in diesem Kontext konkret hervor, dass Nahrungsmittelproduktionssysteme nachhaltig, resilient und anpassungsfähig werden müssen und die „kontinuierliche Verbesserung der Bodenqualität“ sichergestellt werden muss. Es weist aber auch darauf hin, dass dies **innerhalb der Tragkraft der Ökosysteme** zu realisieren ist und macht damit deutlich, dass hier ein Zielkonflikt besteht. Dieser begründet sich in einer erhöhten Nachfrage an Ackerflächen infolge des Bevölkerungswachstums und der erhöhten Nachfrage an –flächenintensiven – tierischen Lebensmitteln.
- ▶ **Ziel 3 (gesundes Leben)** betont in Unterziel 3.9 die Notwendigkeit einer substanziellen **Reduktion der durch Bodenverschmutzung und -kontamination** verursachten Todes- und Krankheitsfälle.

Neben der direkten Erwähnung von Bodenzielen in den Zielen 15, 2 und 3, gibt es aber auch eine Reihe weiterer Ziele, die von thematischer Relevanz sind. Zu nennen sind hier:

- ▶ **Ziel 7 (Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und zeitgemäßer Energie):** Die Umsetzung des SDG Ziels zu nachhaltiger Energie hat Einfluss darauf, wie Böden künftig genutzt werden. Der Umstieg auf einen höheren Anteil regenerative Energien hat in der Vergangenheit bereits zu großen Flächennutzungsänderungen für den Anbau von Biomasse zur Bioenergienutzung geführt. Zu bedenken ist aber auch, dass auch die Nutzung von fossilen Energien (Kohleabbau, Fracking) zu (Boden-)Beeinträchtigungen führt.
- ▶ **Ziel 11 (inklusive, widerstandsfähige, nachhaltige Siedlungen):** Das SDG zu Städten und Siedlungen ist, durch die Versiegelung und Überbauung von Flächen und den damit einhergehenden Verlusten von ökologischen Bodenfunktionen, bis hin zu deren völligen Verlust bei einer Versiegelung bodenrelevant.
- ▶ **Ziel 12 (nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster):** Produktions- und Konsummuster haben in vielen Lebensbereichen eine Auswirkung auf die Bodennutzung: Dies beginnt mit Infrastrukturen für Produktion, Konsum und Mobilität, reicht über Ernährungsweisen mit unter-

schiedlichem „Flächenfußabdruck“ bis hin zu Rückwirkungen auf Landnutzung durch die Herstellung von Kleidung, Energieversorgung etc.

Es gibt des Weiteren Ziele, deren Erreichbarkeit davon abhängen wird, ob Böden und ihre Ökosystemleistungen ausreichend geschützt werden, etwa:

- ▶ **Ziel 1 (Armut beenden):** Das Ziel der Armutsreduktion ist eng verknüpft mit dem Ziel 2 der Ernährungssicherung. Der Zustand der Böden spielt für die Armutsbekämpfung aber auch eine besondere Rolle, da drei Viertel der ärmsten Menschen in ländlichen Gebieten leben und ihr (bäuerliches) Einkommen eng mit der Bodenqualität verknüpft ist. Nicht zuletzt hat auch die Problematik der Umwelt- und Armutsflüchtlinge aus Entwicklungsländern zum Teil ihre Wurzeln in Landnutzungsproblematiken (Zugang zu Land und Boden; Dürrefolgen etc.) und hat damit auch Auswirkungen auf Frieden und Sicherheit (SDG-Ziel 16).
- ▶ **Ziel 6 (Nachhaltiges Wassermanagement):** Durch die Filter- und Pufferfunktion der Böden ist auch die Wasserqualität (z.B. hinsichtlich von Nitrat- und Schadstoffgehalt) stark vom Zustand der Böden abhängig. Andererseits ist es auch möglich, durch intelligentes Wassermanagement bodenschützende Wirkungen zu entfalten (Erosionsminderung durch Bodenbedeckung, Vorbeugung vor Bodenversalzung durch adäquate Bewässerung etc.)
- ▶ **Ziel 13 (Bekämpfung des Klimawandels):** Böden sind (nach den Ozeanen) die größten Kohlenstoffspeicher der Welt. Insbesondere Moore speichern auf geringer Fläche enorme Mengen Kohlenstoff. Durch die Entwässerung von Mooren, Feuchtgebieten, aber auch durch Grünlandumbruch, Auftauen von Permafrostböden etc. können Böden aber auch signifikante Quellen von CO₂-Emissionen darstellen. Nachhaltiges Bodenmanagement ist daher auch ein Beitrag zum Klimaschutz.

Es wird deutlich, dass die Erfolgsaussichten zahlreicher SDGs eng mit dem Zustand der Böden verknüpft sind und eine erfolgreiche Umsetzung nur mit einem integrierten und kohärenten Ansatz gelingen kann.

1.2 LDN und Bodenschutz in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie

In Folge des Beschlusses der UN Nachhaltigkeitsziele hat die Bundesregierung im Januar 2017 eine Neuauflage ihrer Nachhaltigkeitsstrategie beschlossen. Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie wird damit der **zentrale strategische Rahmen zur Umsetzung der SDGs**. Die Überarbeitung stellt die seit 2002 umfassendste Weiterentwicklung der Strategie dar. Neben Maßnahmen mit Wirkung in Deutschland, geht es dabei auch um Maßnahmen durch Deutschland mit weltweiten Wirkungen. Im Bereich Bodenschutz enthält die Nachhaltigkeitsstrategie bereits einige relevante Indikatoren und Ziele. Die relevantesten sind

- ▶ das sogenannte **30 ha minus X-Ziel**⁵, das heißt die Begrenzung der Neuinanspruchnahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2030 um unter 30 ha pro Tag zu begrenzen,
- ▶ die Ziele zur Reduktion des **Stickstoffüberschusses** und zur Reduktion von **Nitrat im Grundwasser**,
- ▶ der **Ausbau des Ökolandbaus** und
- ▶ die Ziele zur Artenvielfalt und Landschaftsqualität.

⁵ Bereits im Jahr 2002 hat die Bundesregierung in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel festgelegt, bis zum Jahr 2020 nur noch maximal 30 Hektar Freifläche pro Tag zu verbrauchen. Dieses Ziel wird nach aktuellen Prognosen nicht erreicht. In der 2016 aktualisierten Fassung wird vielmehr der Zielhorizont um 10 Jahre verschoben und mit 30minusX ein unkonkretes und im Vergleich wenig ambitionierteres Ziel vorgegeben.

Darüber hinaus wird in der Neuauflage der Nachhaltigkeitsstrategie 2016 die **Absicht beschrieben, einen Indikator zu entwickeln, der die Veränderung der Flächennutzung mit der Veränderung der Bodenqualität verbindet** und damit einen Beitrag zur Umsetzung des SDG 15.3. leistet. Konkret heißt es dort:

„Auch national ist die Erhaltung und die nachhaltige Nutzung der Ressource Boden ein wichtiges Ziel. Im Sinne des aktuellen Umweltberichtes 2015 der Bundesregierung, soll die Berücksichtigung bodenrelevanter Themen weiter gestärkt werden, z.B. durch Berücksichtigung der bodenrelevanten Vorgaben der Agenda 2030 in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Zur Beobachtung von möglichen Veränderungen der Bodenqualität wird ein neuer Indikator erarbeitet. Dieser soll sich auf einer Aufnahme der Flächennutzung in Deutschland stützen und eine Beurteilung der Veränderungen in den einzelnen Jahren ermöglichen. Damit sollen sich die Folgen von Bodenverlusten aus dem Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsflächen u.a. als Einbußen an der Produktion von Biomasse, der Fähigkeit der Aufnahme von Niederschlagswasser oder der Bindung von Treibhausgasen erfassen und bewerten lassen. Mit dieser Indikatorentwicklung soll zudem der deutsche Beitrag zur Umsetzung des SDG-Unterziels 15.3 ‚Land Degradation Neutrality‘ unterstützt werden. Durch die verstärkte Betrachtung des Bodenzustands soll dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung auch im Bereich Boden stärker Rechnung getragen werden – im Sinne einer Sektoralstrategie.“ (Bundesregierung 2017, S.197-198)

Der in diesem Forschungsprojekt konzeptionierte Indikator stellt einen Vorschlag bzw. ein Konzept dar, wie ein solcher Indikator ausgestaltet sein könnte. Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie wird nach zwei Jahren erneut überprüft und weiterentwickelt, so dass ein solcher Indikator grundsätzlich bereits in die nächste Fassung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie Eingang finden könnte.

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass auch wenn die DNS das zentrale strategische Dokument zur Umsetzung der SDGs ist, es auch weitere Strategiepapiere gibt, die das Ziel der Reduktion des Flächenverbrauches aufgreifen und darin -zumindest in Bezug auf den Zeithorizont 2015- auch durchaus ambitionierter sind.

So strebt der Bundestag in seiner Stellungnahme⁶ zum „Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa“ der Europäischen Kommission⁷ an, den Flächenverbrauch bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren. Auch der Klimaschutzplan der Bundesregierung (BMUB 2016) vom November 2016 bezieht sich auf dieses Ziel für das Jahr 2050.

Die Forderung nach einem Netto-Null Hektar Ziel wird zudem im Umweltgutachten 2016 des SRU aufgegriffen (SRU 2016a). Die Forderung, dieses Ziel in der 2016er Neuauflage der DNS zu verankern, hat sich die Bundesregierung jedoch nicht zu Eigen gemacht.

⁶ BR-Drs. 590/11 (Beschluss) v. 25. November 2011, S. 4, Ziff. 15

⁷ Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa KOM(2011) 571 endg.; Ratsdok. 14632/11

2 Ziel und Herangehensweise

Ziel dieses im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Projektes und des vorliegenden Berichtes ist es, **Vorschläge für eine Umsetzung** der bodenbezogenen SDGs auf nationaler und globaler Ebene zu entwickeln, die für die Umsetzung relevanten **strategischen Fragen zu erörtern** und einen Beitrag zum wissenschaftlichen und politischen „**Agenda-Setting-Prozess**“ zur Bedeutung und Implementierung der bodenrelevanten SDGs zu leisten.

Der vorliegende Bericht fokussiert dabei auf die Umsetzung in Deutschland. Ein separater, englischsprachiger und kürzerer Bericht befasst sich mit der Umsetzung auf internationaler und europäischer Ebene, fasst aber auch die wesentlichen Erkenntnisse des Projektes zur deutschen Umsetzung zusammen.

Der Bericht strukturiert sich wie folgt: Zunächst werden bestehende Ansätze und laufende Aktivitäten auf nationaler und internationaler Ebene zur Implementierung der bodenbezogenen SDGs analysiert. Ausgangspunkt ist dabei die Überlegung, wie der Begriff Bodendegradation und der Neutralitätsgedanke definiert und anwendbar gemacht werden können (Kapitel 3). Die Analyse zeigt, dass es wichtige strategische und nationale Spielräume bei der Ausgestaltung von LDN gibt. Kapitel 4 stellt daher ein Sieben-Punkte-System vor, das die wichtigen strategischen Fragen zur nationalen Umsetzung von LDN zusammenfasst und ordnet. Nachfolgend wird geprüft, ob einige und ggf. welche Bodenfunktionen aufgrund ihrer Ökosystemdienstleistungen als für Deutschland besonders wichtig identifiziert werden können und welche Gefährdungsprozesse für Böden in Deutschland bestehen (Kapitel 5). Kapitel 6 befasst sich mit bestehenden Monitoringprozessen zur Abbildung von Bodengefährdungen und Bodenveränderungen. Aufbauend auf diesen Überlegungen analysiert Kapitel 7 mögliche Indikatoren für die Darstellung von Degradationsprozessen und „Land Degradation Neutrality“. Aufgrund der Restriktionen der einzelnen zur Verfügung stehenden Indikatoren wurde im Projekt ein neuer Ansatz für einen Indikator entwickelt, um Bodenqualitätsveränderungen und den Stand der Umsetzung von LDN sichtbar zu machen. Dieser auf der Verschneidung von Landnutzungs(änderungen) und Bodenwertigkeiten basierende Indikator wird in Kapitel 8 konzeptionell vorgestellt. Kapitel 9 enthält einen Ausblick zu den potentiellen Auswirkungen der deutschen LDN Umsetzung auf internationaler Ebene.

Neben einer Auswertung vorhandener Literatur zu den oben genannten Themen, stützen sich die in diesem Bericht getroffenen Schlussfolgerungen stark auf die Ergebnisse von über 50 durchgeführten Interviews, zwei nationalen ExpertInnenworkshops und einem europäischen Workshop mit VertreterInnen der EU-Mitgliedsstaaten und der Europäischen Kommission⁸.

⁸ Die Präsentationen und Zusammenfassungen aller Workshops stehen auf der Projektwebseite des Ecologic Institutes unter <http://ecologic.eu/de/12601> zum Download zur Verfügung.

3 Begriffsklärung „Land Degradation“ und „Land Degradation Neutrality“

3.1 Vorüberlegungen zur Begriffswahl und sprachlicher Verwendung

Die Klärung der Schlüsselbegriffe „Land Degradation“ und „Land Degradation Neutrality“, die zentral für die Umsetzung des SDG 15.3 sind, erfordert nicht nur eine **inhaltliche** sondern auch **begriffliche Auseinandersetzung**.

Dabei ist zunächst zwischen „Land“ und „Boden“ zu unterscheiden, auch wenn es zahlreiche Schnittstellen zwischen beiden Begriffen gibt. Im englischsprachigen gab es hierzu zuletzt im Juli 2015 eine Abgrenzung im Rahmen der 12. Vertragsstaatenkonferenz der Wüstenkonvention. Demnach gibt es **Überschneidungen zwischen Land und Boden**, beide Begriffe sind aber nicht identisch: Während Boden („soil“) eine der wichtigsten natürlichen Ressourcen darstellt, umfasst Land („land“) ein multifunktionelles Ökosystem, dessen natürliches Kapital sowie Boden und Biodiversität in Interaktion mit Wasser und der Atmosphäre eine Reihe von Ökosystemfunktionen generieren (UNCCD 2015b, Abs. 22). „**Land**“ umfasst damit Boden, bezieht sich aber auf deutlich **mehr Dimensionen**, und steht auch in Interaktion mit der Vegetation (Stavi und Lal 2015).

Dies ist insofern für die **deutsche Debatte** relevant, als dass „Land“ und „Land Degradation“ in Deutschland häufig synonym mit dem (engeren) Begriff „**Boden**“ und „Bodendegradation“ verwendet werden, und zudem „Boden“ weiter eingeschränkt zumeist im Kontext der **Flächeninanspruchnahme** durch Siedlung und Verkehr verwendet wird (u.a. bedingt durch die Ausrichtung des 30 ha-Zieles der Bundesregierung und ihrer Nachhaltigkeitsstrategie, wonach bis zum Jahr 2030 die Flächenneuinanspruchnahme auf unter 30 Hektar pro Tag verringert werden soll (Bundesregierung 2016)). Die deutsche Übersetzung der Wüstenkonvention (UNCCD) hat zudem den Begriff der „**Landverödung**“ geprägt, der jedoch ebenfalls eine Verengung der Degradationsproblematik darstellt, da er sich auf Wüstenbildung bezieht und andere Degradationsphänomene, wie etwa Versiegelung oder Kontamination mit Schadstoffen, hiermit nicht assoziiert werden.

Nachfolgend soll **im Bericht** daher mangels einer etablierten deutschen Übersetzung in der Regel von „**Landdegradation**“ gesprochen werden, angelehnt an den englischen Begriff „land degradation“. Boden und Bodendegradation spielen darin eine zentrale Rolle und bilden auch den Schwerpunkt in den Kapiteln 5 (Bodenfunktionen und -gefährdungen) und 6 (Monitoringsysteme), jedoch erlaubt der Begriff „Landdegradation“ eine mehrdimensionale Ausrichtung auch in Hinblick auf landbezogene Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen. Parallel wird im Bericht dennoch zum Teil von „Boden“ und „Fläche“ gesprochen, auch wenn der oben benannte weitreichendere Begriff des englischen „land“ gemeint ist – dies ist dem nicht üblichen deutschen Gebrauch von „land“ (der im deutschen eher im Sinne von „Staat“ verwendet wird) geschuldet.

Gerade durch die neuen Begrifflichkeiten von „Land“ und Land Degradation“ wird jedoch zunehmend der Bedarf gesehen, auch die Begrifflichkeit in der deutschen Debatte zu reflektieren, u.a. in Hinblick auf die **Narrative⁹ und Assoziationen**, die mit diesem Begriff einhergehen. In den Interviews, die zum Konzept der Operationalisierung von Landdegradation und Landdegradationsneutralität geführt wurden, gab es hierzu **unterschiedliche Auffassungen**: Einige Gesprächspartner sehen „Degradation“ synonym zu „starken Änderungen“ und ggf. damit zu negativ, da auch weniger starke Änderungen unter Degradation erfasst werden sollen. Andere sprachen sich dafür aus, einen noch drastischeren Begriff („Bodenzerstörung“) zu wählen, der besser verständlich und einfacher zu kommunizieren sei. Wieder andere plädierten für die Wahl eines positiver besetzten Begriffes, der es gerade den betroffe-

⁹ Ein Narrativ transportiert stets sowohl Inhalt als auch Subtext und Assoziationen.

nen LandnutzerInnen erleichtere, sich für die Erreichung des Zieles zu engagieren (Fokus auf Nutzen und Leistungen der Flächen bzw. renaturierte/sanierte Flächen). So könnte etwa der Widerstand der betroffenen LandnutzerInnen hoch sein, wenn deren Flächen als degradiert eingestuft werden. Aufgrund der starken Wertung, die mit dem Begriff „degradiert“ einhergeht (im Gegensatz etwa zu „funktionalen Änderungen/Abstrichen/trade-offs“ etc.), lehnt etwa die niederländische „Environmental Assessment Agency“ PBL diesen Begriff ab (Caspari 2016).

Ähnlich verhält es sich mit dem Begriff Landdegradationsneutralität: Dieser suggeriere nach der Meinung einiger eine „license to degrade“ („Lizenz zu degradieren“) (UNCCD 2012a) bzw. die grundsätzliche Wiederherstellbarkeit von Bodenfunktionen, die fachlich so nicht gegeben ist.

3.2 Was ist „Land Degradation“?

Das Thema der Land Degradation ist schon länger Gegenstand wissenschaftlicher und politischer Debatten, etwa im Zusammenhang mit dem Thema Wüstenbildung (Desertifikation), Entwaldung, Bodenerosion oder bestimmter Managementansätze wie „nachhaltiges Landmanagement“. Mit der Diskussion über eine „Land Degradation Neutral World“ im Rahmen der SDGs hat der Begriff „Land Degradation“ eine neue und verstärkt politische Bedeutung erlangt. Dennoch ist die Nutzung des Begriffes noch nicht konsistent im wissenschaftlichen und politischen Raum (UNCCD 2015a), so dass nachfolgend zunächst beschrieben wird, welche Akteure welches Verständnis von „Land Degradation“ haben und inwiefern diese sich unterscheiden. Im Kapitel 3.3 wird darauf aufbauend das Konzept der Landdegradationsneutralität näher erläutert.

In der Prägung und Definition des Begriffs der Landdegradation auf internationaler Ebene spielt die UN Wüstenkonvention (UNCCD) eine besondere Rolle. Allerdings beschränkt sich der Fokus der Konvention auf aride und semi-aride Regionen und damit in erster Linie um die Bekämpfung von Wüstenbildung, Phänomene der Land Degradation aufgrund von Wasserknappheit (UNCCD 2012).

Die UNCCD definiert Land Degradation (deutsch: Landverödung) in Artikel 1 des Konventionstextes (eigene Hervorhebung) mit:

*„Verringerung oder Verlust der biologischen oder wirtschaftlichen Produktivität und der Vielseitigkeit von natürlich oder künstlich bewässerten **Anbauflächen** oder von Wiesen und **Weideland**, **forstwirtschaftlich** genutzten Flächen und Wäldern in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Gebieten infolge der Nutzung des Landes oder infolge eines einzelnen oder mehrerer miteinander verknüpfter Prozesse einschließlich solcher, die sich aus menschlichen Tätigkeiten und Siedlungsmustern ergeben, wie*

*i) **durch** Wind und/oder Wasser verursachte **Bodenerosion**,*

*ii) die **Verschlechterung der physikalischen, chemischen und biologischen oder wirtschaftlichen Eigenschaften des Bodens**,*

*iii) das **Verschwinden des natürlichen Pflanzenbestands auf lange Sicht**;“*

Diese Definition oder Teile daraus finden sich in vielen neueren Veröffentlichungen auch zur Landdegradation wieder. Sie ist in ihrer universelleren Formulierung (die sich nicht auf aride, semi-aride und trockene sub-humide begrenzt und auch nicht die degradierenden Aktivitäten nennt) auch **Teil der offiziellen Definition zur Umsetzung des Zieles 15.3**.(IAEG-SDGs 2016a) – wie in der nachfolgenden Box im deutschen und im Originaltext dargestellt.

Land Degradation

“Verringerung oder Verlust der biologischen oder wirtschaftlichen Produktivität und der Vielseitigkeit von natürlich oder künstlich bewässerten Anbauflächen oder von Wiesen und Weideland, forstwirtschaftlich genutzten Flächen und Wäldern in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Gebieten infolge der Nutzung des Landes oder infolge eines einzelnen oder mehrerer miteinander verknüpfter Prozesse einschließlich solcher, die sich aus menschlichen Tätigkeiten und Siedlungsmustern ergeben“ ((IAEG-SDGs 2016a), eigene Übersetzung).

“Land degradation is the reduction or loss of the biological or economic productivity and complexity of rainfed cropland, irrigated cropland, or range, pasture, forest and woodlands resulting from land uses or from a process or combination of processes arising from human activities”(IAEG-SDGs 2016a).

Im Mittelpunkt steht dabei die Produktionsfunktion des Bodens für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung, die durch menschliche Einflüsse abzunehmen droht und sich in messbare Phänomene wie Erosion, Verschlechterung des Bodens und Vegetationsverlust niederschlägt.

Andere AutorInnen betrachten Landdegradation eher als **Verlust oder Verringerung von Ökosystemdienstleistungen und -funktionen**. Entsprechend anders lesen sich neuere Definitionen wie beispielsweise von dem Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). Demnach ist Landdegradation ein

“dauerhafter Rückgang von Biodiversität oder Ökosystemfunktionen oder Verlust von Ökosystemleistungen, von denen sich das Land ohne unterstützende Maßnahmen im Zeitraum von Dekaden nicht erholen kann” (Caspari 2016, eigene Hervorhebung).

Diese Beschreibung nimmt damit auch die langfristige Natur der negativen Veränderungen in die Definition auf. Die Definition der Global Environment Facility (GEF) wiederum beschreibt Landdegradation als *“jegliche Form der **Verminderung des natürlichen Potenzials** des Landes mit Auswirkungen auf die Ökosystemintegrität, entweder in Bezug auf seine **ökologische Produktivität** oder auf seine **natürliche biologische Vielfalt** und Aufrechterhaltung der **Resilienz**”* (eigene Hervorhebung), und beschreibt damit auch die Bedeutung der Bodenfunktionsfähigkeit zur Aufrechterhaltung der Resilienz.

Während die UNCCD Definition genauer degradierende Prozesse beschreibt, und diese vor allem auf die negativen Auswirkungen auf die Produktivität des Bodens für verschiedene Landnutzungen bezieht, sind die Definitionen von IPBES und GEF in dieser Hinsicht unkonkreter und „breiter“.

In der Summe zeigen die hier diskutierten Punkte, weshalb die Definition von Land Degradation im Sinne einer Spezifikation noch mit Schwierigkeiten behaftet ist. Caspari et al. (2015) bezeichnen den Begriff als “blurred entity”, also als “schwer zu greifen”, auch weil Landdegradation “multi-dimensional, multi-scale, transitional, multi-perspective, multi-actor, and above all value-laden” (Caspari et al. 2015) sei.

Als Gemeinsamkeiten aller Definitionen kann jedoch festgehalten werden, dass Landdegradation

- ▶ sowohl den absoluten aber auch relativen/ teilweisen Verlust von Ökosystemfunktionen umfasst
- ▶ auf menschliche und natürliche¹⁰ Ursachen zurückzuführen ist.

¹⁰ Da die Definition auch auf natürliche Degradationsprozesse bezogen wird, kann geschlussfolgert werden, dass etwa auch Überschwemmungen, natürlich bedingte Blockabrupte (z.B. an Steilküsten) oder Anschwemmungen von Bodenmaterial zu den Degradationsprozessen gezählt werden müssen.

3.3 Was ist „Land Degradation Neutrality“?

Das Konzept der „Land Degradation Neutrality“ (LDN) fand 2012 durch einen Policy Brief des Sekretariats der Wüstenkonvention (UNCCD 2012b) zunächst unter dem Begriff der „Zero Net Land Degradation“ (ZNLN) Eingang in die internationale politische Diskussion. In diesem Policy Brief wurden Vorschläge unterbreitet, wie land- und bodenbezogene Fragen in das Abschlussdokument der Rio+20-Konferenz Eingang finden können und wie eine bis dato unbekannte globale „Degradationsneutralität“ hergestellt werden könnte. Die Kernidee von ZNLN besteht darin, weitere Landdegradation zu verhindern und gleichzeitig wirtschaftliche Entwicklungen zuzulassen. Nicht vermeidbare Auswirkungen dieser wirtschaftlichen Entwicklungen auf (fruchtbarem) Land und Boden wie zunehmender Flächenverbrauch durch Urbanisierung müssten demnach durch die Wiederherstellung von Ökosystem(-dienstleistungen) an anderer Stelle kompensiert werden, so dass sich der Netto-Effekt bezogen auf Bodendegradation auf null beläuft (Gnacadjia 2012). („If the continuing loss of fertile land can be offset by restoring already degraded land, and the annual¹¹ rate of reclamation equals the annual degradation rate, then a zero net rate of land degradation is attained and the area of global fertile land remains stable“ (Gnacadjia 2012).)

Aufgrund dieses Vorstoßes erhielt die Forderung nach einer ZNLN Eingang in das Rio+20 Dokument „The Future We Want“ (Generalversammlung der Vereinten Nationen 2012), in dem sich die internationale Gemeinschaft darauf einigte, auf eine „land degradation neutral world“ (LDNW) hinwirken zu wollen. Um Landdegradation global aufzuhalten, seien internationale Zusammenarbeit, ein globales Monitoringsystem sowie ausreichende öffentliche und private Finanzierung nötig. Das Ziel einer LDNW wurde daraufhin in den Vorschlägen der Open Working Group (OWG) zur Entwicklung der UN Nachhaltigkeitsziele verankert.

Die Definition, wie sie aktuell im Kontext der SDG Umsetzung auf internationaler Ebene angewendet wird, lautet dabei (in klarer Bezugnahme auf die dritte Entscheidung der 12. Vertragsstaatenkonferenz der Wüstenkonvention (Dec3/COP12):

Land Degradation Neutrality

„Landdegradationsneutralität ist der Zustand, in dem die Menge und Qualität von für die Unterstützung von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen und Verbesserung der Nahrungsmittelsicherheit notwendigen Landressourcen innerhalb bestimmter zeitlicher und räumlicher Einheiten und Ökosysteme stabil bleiben oder zunehmen.“ ((IAEG-SDGs 2016a), eigene Übersetzung)

Land degradation neutrality is a state whereby the amount and quality of land resources necessary to support ecosystem functions and services and enhance food security remain stable or increase within specified temporal and spatial scales and ecosystems. (IAEG-SDGs 2016a)

Im Vergleich zur vorab von einer zwischenstaatlichen Arbeitsgruppe („**Intergovernmental Working Group**“, IWG) der UNCCD formulierten Definition findet sich in dem durch die COP 12 angenommenen Text die Ergänzung bzw. die Schwerpunktsetzung auf „Food Security“ im Text wieder.

¹¹ In dieser frühen Version einer Definition war hier also unter anderem noch von einer jährlichen Rate der Degradation und Zurückgewinnung von Land und Boden die Rede.

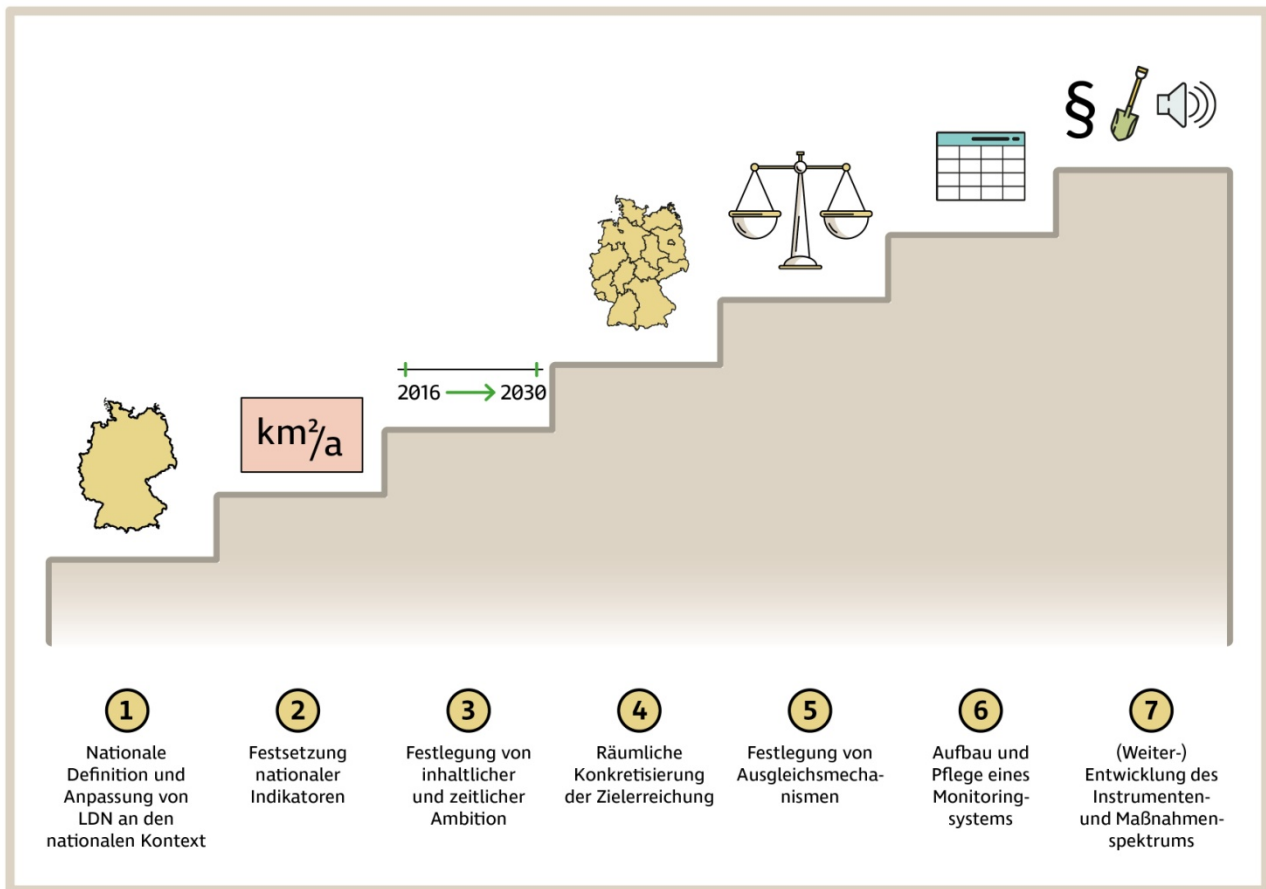
4 Wesentliche Schritte zur Operationalisierung von LDN

Die SDGs sind völkerrechtlich nicht verbindlich, auch wenn sie politisch großes Gewicht haben. Bei der Umsetzung der SDGs kann zudem jedes Land eigene Prioritäten setzen und sie dementsprechend ihren nationalen Bedingungen gemäß anpassen. So können naturräumliche Voraussetzungen, unterschiedliche Ausprägungen von Bodengefahren und Landnutzungen sowie die oben beschriebenen Spielräume bei der Interpretation des LDN Konzeptes eine regional angepasste Umsetzung erfordern.

Die Entscheidung innerhalb der zur Verfügung stehenden Optionen ist dabei ein politischer Prozess, der zusammen mit den relevanten Stakeholdern abgestimmt werden muss. Nachfolgend wird eine **Vorgehensweise** skizziert, wie sich der Operationalisierung des LDN Konzeptes genähert werden kann und welche **wichtigen Fragestellungen** es auf diesem Weg zu beantworten gilt. Der hier beschriebene – auch auf andere Länder übertragbare – Vorschlag baut auf den Erkenntnissen aus 14 Pilotstudien der UNCCD auf (Global Mechanism of the UNCCD 2016a), und interpretiert diese weiter. Zeitgleich zur Entwicklung der hier vorgestellten wesentlichen Punkte hat das Science Policy Interface der UNCCD im Januar 2017 einen „Conceptual Framework“ veröffentlicht. Dieser schlägt eine ähnliche Vorgehensweise vor, setzt zum Teil andere Akzente, führt Beispiele an und setzt sich –gerade in Anbetracht der unterschiedlichen Voraussetzungen in Entwicklungsländern - vielfach mit grundlegenden Governance Aspekten und Fragen von Landnutzungsrechten auseinander (Orr u. a. 2017). Der im Rahmen dieses Projektes entwickelte Ansatz lässt sich in sieben strategische Schritte unterteilen (siehe Abbildung 1 unten):

1. Nationale Definition und Anpassung von LDN an den nationalen Kontext
2. Festsetzung nationaler Indikatoren
3. Festlegung von inhaltlicher und zeitlicher Ambition
4. Räumliche Konkretisierung der Zielerreichung
5. Festlegung von Ausgleichsmechanismen
6. Aufbau und Pflege eines Monitoringsystems
7. (Weiter-) Entwicklung des Instrumenten- und Maßnahmenspektrums

Abbildung 1: Wesentliche Schritte zur Operationalisierung von LDN auf nationaler Ebene



Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

4.1 Nationale Definition und Anpassung von LDN an den nationalen Kontext

Unterschiedliche klimatische und topographische wie auch ökonomische und legislative Rahmenbedingungen (etwa im Bereich Bodenschutz) sorgen zwischen Ländern und Regionen für **ungleiche Ausgangsbedingungen** für die Umsetzung von LDN. Eine **Analyse dieser Rahmenbedingungen** und der **historischen und aktuellen Trends in Bezug auf Landdegradation und Bodenveränderungen** ist daher ein wichtiger erster Schritt zur Erfassung der jeweiligen nationalen Problemlage (Akhtar-Schuster u. a. 2017). **Szenarien**, die Landdegradation ausgehend von der aktuellen Entwicklung und bei unterschiedlichen Handlungsoptionen abschätzen, können dabei helfen, die Kernprobleme der Landdegradation zu identifizieren (Global Mechanism of the UNCCD 2016a). Zielformulierungen, die sich auf die Gesamtnutzungsfläche des Landes beziehen, schaffen zudem wesentliche Ansatzpunkte für ein nationales LDN Konzept.

Vor diesem Hintergrund ist zu empfehlen, für den nationalen Kontext **Bodengefahren zu priorisieren**: Nicht alle Bodengefahren und entsprechende Auswirkungen auf die Bodenfunktionen sind automatisch von hoher Relevanz, so spielen z.B. Versalzung und Wüstenbildung in Deutschland kaum eine Rolle. Dabei gilt es, zu berücksichtigen, dass viele Bodenfunktionen und Gefährdungen eng miteinander zusammenhängen, z.B. der Verlust von Bodenbiodiversität und (Wasser-)Erosion mit Bodenverdichtung.

Verschiedene Stakeholder sollten bei Prozessen zu Ziel- und Prioritätensetzung von Beginn an einbezogen sein (Global Mechanism of the UNCCD 2016a). Aus den Erfahrungen in den 14 UNCCD Pilot-

projekten zeigt sich, dass die **Einbindung von bestehenden Institutionen**, die sich bereits mit LDN-verbundenen Themen in der Vergangenheit beschäftigt haben, sich als effektiver für die meisten Länder herausstellte als die Bildung komplett neuer Organe ((Global Mechanism of the UNCCD 2016b)). Konkret zeigten die Erfahrungen aus 14 Pilotstudien, dass jährlich mindestens zwei Treffen mit den entsprechenden Stakeholdern und Gremien stattfinden sollten, um den Zielsetzungsprozess zu reflektieren. Als weiterer Erfolgsfaktor erwies sich die frühzeitige Einbindung des Finanzministeriums (Global Mechanism of the UNCCD 2016b) und weiterer politisch einflussreicher Schlüsselakteure ((Global Mechanism of the UNCCD 2016a)).

4.2 Festsetzung nationaler Indikatoren

Nach Klärung der nationalen Bedingungen und Prioritäten gilt es, einen oder mehrere **geeignete Indikatoren** zu entwickeln, die diese Prioritäten widerspiegeln. Dabei ist darauf zu achten, dass über die gewählten Indikatoren Aussagen zu allen relevanten Landnutzungsbereichen (Forstwirtschaft, Ackernutzung, Weideland, Siedlungsaktivitäten, Naturschutzflächen etc.) möglich sind.

Hierzu muss ein **Abgleich mit den verfügbaren Daten und Monitoringsystemen** erfolgen. In den 14 Pilotländern wurden vielfach die drei von der UN STAT bzw. UNCCD vorgeschlagenen Indikatoren herangezogen (siehe Kapitel 7.1). Einige Länder nutzten dazu globale Daten, andere bauten auf nationalen Daten auf (Global Mechanism of the UNCCD 2016b).

Hiervon abweichend können auch andere bereits existierende Indikatoren herangezogen werden, oder es wird ein aggregierter Indikator (Kompositindikator) neu entwickelt. Zu bedenken ist dabei, dass jeder Aggregationsschritt einen mehr oder weniger ungewollten Informationsverlust mit sich bringt, der im ungünstigsten Fall sogar zu Verzerrung der Ergebnisse führen kann. Dies ist bei der Auswahl der geeigneten Methodik zu berücksichtigen (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a).

In Deutschland sind Bewertungsansätze, die mit Flächennutzungen und Ausgleichsregelungen arbeiten, durch die Eingriffsregelung¹² bereits entwickelt und in der Praxis angewendet worden, so dass hieraus Anregungen für die Ausgestaltung von Indikatoren gewonnen werden können.

4.3 Festlegung von inhaltlicher und zeitlicher Ambition

Für das SDG 15.3 gibt es mit dem Jahr 2030 eine **zeitliche Zielvorgabe**, nach der LDN weltweit *angestrebt* werden soll. Streng genommen müsste LDN in 2030 also nicht *erreicht* sein. **Nicht geklärt** ist bisher, gegenüber welchem **Referenzzeitpunkt** die Neutralität erreicht werden soll. Dazu geben weder das SDG Ziel 15.3 noch die Definition unter der Wüstenkonvention konkrete Anhaltspunkte. Die Definition unter der Wüstenkonvention enthält lediglich die Aussage, *dass es einen Referenzzeitraum gibt, nicht aber, welchen: „the amount and quality of land resources [...] remain stable or increase within specified temporal [...] scales and ecosystems“*. Darüber hinaus stellt sich die Frage, zu welchem Zeitpunkt oder über welchen Zeitraum der Ist-Zustand bestimmt wird.

Mit der Wahl des Referenzzeitpunktes stellt sich vor allem die Frage der Ambition. Wird davon ausgegangen, dass sich die Böden derzeit kontinuierlich verschlechtern, sind spätere Referenzzeitpunkte weniger ambitioniert als frühere, da LDN in Bezug auf einen schlechteren Ausgangszustand leichter zu erreichen ist. Ein Referenzzeitpunkt, der vor dem Jahre 2015 liegt, wäre ein ambitionierterer Anspruch für eine Neutralität als z.B. das Jahr 2017.

¹² Die Eingriffsregelung ist ein Instrument zum Ausgleich von negativen Folgen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Die wichtigsten Rechtsgrundlagen sind §§14 und 15 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) sowie §§1a und 35 des Baugesetzbuches (BauGB) sowie die Naturschutzgesetze der Länder. Die Eingriffsregelung setzt fest, wie Beeinträchtigungen vermieden und vermindert werden, sowie nicht vermeidbare Eingriffe ausgeglichen werden.

Die Festsetzung eines Referenzjahres kann sogar Auswirkungen auf die Landnutzung selber haben, nämlich dann, wenn ein in der Zukunft liegendes Referenzjahr festgesetzt wird, und als Folge bestimmte Landnutzungsänderungen noch vor dem Stichtag vorgenommen werden (siehe agrarpolitische Diskussionen zur Relevanz von Stichtagen für Grünlandumbruch und Beseitigung von Landschaftselementen (u.a. NABU und DVL 2014)).

Vor dem Hintergrund, dass Prozesse zur Bodenneubildung, Bodensanierung oder -wiederherstellung in vielen Fällen sehr viel mehr Zeit benötigen, als Bodendegradationsprozesse, muss die Festlegung von Anfangszeitpunkt und die Ausgestaltung von (Ausgleichs-)Maßnahmen darauf eingehen. Es stellt sich also die prinzipielle Frage der **Ambition in der Definition des Degradationsbegriffs**: Soll „Degradation“ bereits leichte/erste Beeinträchtigungen der (Boden-)Funktionen umfassen (siehe z.B. Interview Akhtar-Schuster u.a. (2016)), oder nur oder vornehmlich solche Gefährdungen, die zu einem weitgehenden Verlust von Bodenfunktionen/ bodenbasierten Ökosystemfunktionen führen (siehe z.B. König (2016))?

In den UNCCD Pilotprojekten analysierten die meisten Länder auch die finanzielle Machbarkeit der Maßnahmen, um die vorgeschlagenen Ziele zu erreichen. Einige legten verschiedene Ziele mit unterschiedlichen Ambitionsebenen je nach ihren jeweiligen Kapazitäten und finanziellen Möglichkeiten fest.

4.4 Räumliche Konkretisierung der Zielerreichung

Als weiterer Schritt muss geklärt werden, für welchen physischen Bezugsraum der Nettoausgleich erfolgen und die Neutralität erreicht werden soll. Dazu stellen sich eine Reihe von Fragen: Soll die **Sal-dierung degradierter und wiederhergestellter Flächen/ Böden auf nationaler Ebene** erfolgen (z.B. Bundesland)? Oder stellt die **regionale Ebene** den besseren Referenzraum dar? Wer ist für die Erfassung der Degradationsprozesse zuständig und kann auf die notwendigen Daten zugreifen?

Geht man von Deutschland als Adressat der SDGs aus, wäre das deutsche Staatsgebiet der Bezugspunkt, für den die Neutralität zu erreichen ist. Dies korrespondiert grundsätzlich auch mit der Steuerungsmöglichkeit des Staates über sein Hoheitsgebiet. Aus ökosystemarer Sicht ist allerdings ein Ausgleich von Landdegradation in einem engeren räumlichen Kontext notwendig. So plädiert z.B. die International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN 2015) für eine Bilanzierung von LDN auf **Ökosystemebene**.

Grundsätzlich hat Deutschland aufgrund seiner im internationalen Vergleich detaillierten Raum- und Landschaftsplanung die notwendigen Grundlagen, LDN auf verschiedenen administrativen Ebenen zu realisieren.

Zur räumlichen Dimension von LDN gehört auch eine Entscheidung darüber, ob die **Betrachtung „extra-territorialer Effekte“** in eine LDN bezogene Erhebung mit einbezogen werden sollte. Der „virtuelle Nettoimport an Land“ durch Konsumprodukte (hierbei haben vor allem Fleisch und tierische Produkte einen großen „Flächenrucksack“) übt in anderen Ländern zusätzlichen Nutzungs- und Intensivierungsdruck aus. Zwar sind diese Effekte nicht Kern des auf die nationale Ebene bezogenen Umsetzungskonzeptes der Landdegradationsneutralität und muss insofern nicht Gegenstand der Bilanzierung sein. Jedoch befürworteten zahlreiche ExpertInnen den Einbezug eines solchen Indikators (siehe Kapitel 7), um auf internationaler Ebene Verantwortung für Landdegradation zu übernehmen.

4.5 Festlegung von Ausgleichsmechanismen

Ein wesentlicher Aspekt des LDN Konzeptes ist der Ausgleich von Land- bzw. Bodendegradation durch Bodenverbesserungen. Für einen entsprechenden Ausgleichsmechanismus stellt sich die Frage, ab wann eine Bodendegradation vorliegt oder nicht mehr vorliegt. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze:

Schwellenwerte: Schwellenwerte wie für Schadstoffkonzentration, Humusgehalt, Lagerungsdichte zur Bestimmung der Verdichtung, Ernteerträge pro Hektar etc. sind eine Möglichkeit festzulegen, ab

wann ein Boden degradiert ist oder „wieder hergestellt“ ist. Allerdings ist es im Bereich des Bodenschutzes (mit der Ausnahme einiger Schadstoffkonzentrationen) fast nicht möglich diese Schwellenwerte wissenschaftlich begründet abzuleiten. Dies beruht unter anderem darauf, dass Böden sehr unterschiedliche Eigenschaften haben. Sandige Böden oder Böden mit hohem Tongehalt unterscheiden sich wesentlich in Bezug auf ihre Ertragsfähigkeit, Lagerungsdichte, natürliche Standortfunktion etc. Ein zusätzliches Problem liegt darin, dass Schwellenwerte normalerweise auf eine wesentliche Beeinträchtigung der Bodenfunktionen bezogen sind. Weniger gravierende Verschlechterungen, die den Schwellenwert nicht überschreiten, würden hingegen nicht als Verschlechterung im Sinne von LDN zählen und nicht in die Saldierung einbezogen werden.

Veränderungsdynamiken: Die regelmäßige Beobachtung und Bewertung von Verbesserungs- und Verschlechterungsdynamiken hat den Vorteil, dass (sofern geeignete Indikatoren vorliegen) ein schneller Überblick über Verbesserungen und Verschlechterungen möglich ist. Bei diesem Ansatz ist wiederum fraglich, ab wann Kompensationsmaßnahmen vorzunehmen sind, zumal die Ausgangslage der Flächen sehr unterschiedlich sein kann (z.B. steigt der Humusanteil in der Zeit der Umstellung von konventionellem Ackerbau zu ökologischem Ackerbau in der Regel an, stabilisiert sich aber nach einigen Jahren auf einem höheren Niveau (Glante 2016)).

Zur Erfassung des Degradationsstandes (bzw. der Frage ob Bodendegradation verringert wird/ Bodenfunktionen wieder hergestellt wurden) kann auch die **Bewirtschaftung der Flächen** mittelbar Auskunft geben. Das UNCCD Sekretariat unterscheidet drei Maßnahmen, mit denen LDN erreicht werden kann (UNCCD 2012c) (siehe auch Kapitel 7 zu Indikatoren):

- ▶ **Natürliche Regeneration:** Vermeidung oder Reduzierung von menschlichen Einwirkungen (für eine bestimmte Zeit). Die natürliche Regeneration kann im deutschen auch mit „Flächenstilllegung“, „Brach liegen lassen“ oder mit „Offenlassung“ beschrieben werden. Entscheidend ist, dass menschliche Einflüsse auf das (degradierte) Land so weit wie möglich vermieden werden, um damit eine Regeneration der natürlichen Prozesse herbeizuführen. Oft ist der Eintritt bzw. Fortschritt der Regeneration nur schwer voraussehbar, besonders bei stark degradierten Böden. Durch Regeneration allein lassen sich degradierte Ökosysteme kaum in den ursprünglichen Zustand zurückversetzen (vgl. Ngo 2015a).
- ▶ **Verbesserte Landnutzungspraxis:** Landnutzung wird gemäß einem nachhaltigen Landmanagement (Sustainable Land Management - SLM) fortgeführt. Durch nachhaltiges Landmanagement (SLM) kann sowohl eine Verbesserung der Bodenqualität als auch eine Stabilisierung eines wünschenswerten Zustands des Bodens erreicht werden (Gnacadjia 2012).
- ▶ Zum nachhaltigen Landmanagement gibt es eine große Bandbreite an Literatur und Diskussionen, die sich aktuell auch in der Formulierung des SDG 2.4 zu nachhaltiger landwirtschaftlicher Flächennutzung widerspiegeln (FAO 2016; Weltbank 2006). Im April 2014 empfahl die UNCCD die World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT) als bedeutende Datenbank für SLM (Fritsche, Eppler, und Iriarte 2015), in der mehr als 470 Technologien und 235 Ansätze für SLM hinterlegt sind. Als Beispiele für SLM-Praktiken nennt die UNCCD u.a. „Mulchen“, Null-Pflügen, Gründüngung und Maßnahmen zur Rückhaltung von Wasser im Boden (UNCCD SPI 2015).
- ▶ **Restaurierung/ Renaturierung** ist die aktive menschliche Einwirkung, um die natürlichen Grundlagen eines Ökosystems wiederherzustellen. Die aktive Renaturierung von Ökosystemen ist dann nötig, wenn der Grad der Degradation so hoch ist, dass eine Landnutzung im produktiven Sinne nicht mehr möglich ist und eine natürliche Regeneration nicht praktikabel oder besonders langwierig wäre. Die Biodiversitätskonvention definiert die Renaturierung von Ökosystemen als einen „aktiven Managementprozess zur Wiederherstellung eines degradierten, beschädigten oder zerstörten Ökosystems für die Erhaltung der Ökosystemresilienz und den Schutz von Biodiversität“. Diese Definition klärt allerdings nicht, wann ein Ökosystem als „renaturiert“ angesehen werden kann, dies muss von

Ökosystem zu Ökosystem unterschiedlich bewertet werden. Dabei spielen eine Vielzahl von ökologischen Faktoren eine Rolle wie die charakteristische Zusammensetzung von Arten, funktionelle Gruppen, die die Stabilität von Ökosystemen ermöglichen oder die Reduzierung von Bedrohung aus dem Umfeld des Ökosystems. (vgl. Tucker u. a. 2013). Die Renaturierung von Ökosystemen erfordert in der Regel einen hohen zeitlichen, physischen und finanziellen Aufwand. Dieser lohnt sich doch in der Regel, wenn Langzeiteffekte und langfristig eingesparte Kosten mit berücksichtigt werden (de Groot u. a. 2013). In der aktuellen globalen Analyse zu den „Economics of Land Degradation“ wurde ermittelt, dass in vielen Regionen der finanzielle Nutzen einer Investition in die Renaturierung von Ökosystemen betrachtet über einen Zeitraum von 30 Jahren bis zu fünf Mal höher liegt als die damit verbundenen Kosten (Nkonya, Mirzabaev, und von Braun 2015).

Grundsätzlich sollte für die Frage des Ausgleichs eine **Kompensationshierarchie** (ähnlich der bestehenden deutschen Eingriffsregelung) etabliert werden (siehe auch: UNCCD Global Mechanism 2016), wonach:

- Prioritär **Eingriffe in Ökosysteme zu vermeiden** sind.
- Ist dies nicht möglich ist, sollen die **negativen Effekte soweit wie möglich reduziert werden**.
- Ist beides nicht möglich, sollten Möglichkeiten gefunden werden, wie die **Auswirkungen** (anderorts) **kompensiert** werden können.

Darüber hinaus sollten folgende Ausgleichsprinzipien gelten, die auf die ökosystemaren Zusammenhänge zwischen Degradation und Wiederherstellung eingehen:

1. Es soll **mehr Fläche rehabilitiert als degradiert** werden (v.a. wegen der zeitlichen Verzögerung der Rehabilitation und dem oft unsicheren Ausgang der Maßnahme). Auch aus dem (Ober-)Ziel des SDG 15 lässt sich ableiten, dass in Bezug auf Bodenfunktionen global ein Netto-Plus-Effekt angestrebt wird („halt and reverse land degradation“).
2. **Ausgleichsmaßnahmen sollen in gleichen Ökosystemen** (im Sinne von Ökosystemtypen) erfolgen.
3. **Ausgleichsmaßnahmen möglichst *in situ*** bzw. so nah wie möglich am Degradationsort (siehe u.a. Chasek et al. (2015)).

4.6 Aufbau und Pflege eines Monitoringsystems

Sind Indikatoren festgelegt, ist die Operationalisierung des Landdegradationskonzeptes zunächst abgeschlossen. Die sich anschließenden Schritte dienen der Umsetzung. Der erste Schritt in der Phase der Umsetzung ist dabei die **Messung und Erfassung des Status quo der Bodendegradation** in Deutschland.

Um LDN-Erfolge zu messen und zu bewerten, sollte ein **zentrales Monitoring- und Informationssystem** zu Landmanagement/ Landdegradation errichtet werden. Dieses Monitoring- und Bewertungssystem sollte in einem passenden langfristigen Organ institutionalisiert werden um cross-sektorale Zusammenarbeit zu unterstützen. Wenn möglich, sollte das System auf bestehenden Monitoring- und Bewertungssystemen basieren. Die durch das System generierte Information sollte für alle Behörden/Institutionen mit Einfluss auf Landnutzung **zugänglich sein**.

Des Weiteren sollten Datenbanken zur Landnutzung, Dynamiken in der Landproduktivität und Datenbanken zu Bodenkohlenstoff sowie Methodologie zur Datenverarbeitung auf nationaler und globaler Ebene (Messgenauigkeit, Auflösung, Häufigkeit) weiterentwickelt werden, um ein effektives Monitoring des Fortschritts hinsichtlich des Erreichens der LDN-Ziele zu sichern.

4.7 (Weiter-) Entwicklung des Instrumenten- und Maßnahmenspektrums

Für die Umsetzung des LDN Konzeptes braucht es schließlich förderliche Instrumente und Maßnahmen, den Kapazitätsaufbau von Institutionen sowie öffentliche Kommunikation und Aufmerksamkeitsbildung um LDN-Prozesse zu unterstützen. Rückschlüsse zu Umfang und Ambition (neuer) Instrumente können aus Szenarien zur zukünftigen Entwicklung unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen gezogen werden. Sollten die Szenarien mit dem vorhandenen Instrumentenspektrum eine Zielerreichung unwahrscheinlich erscheinen lassen, gilt es, die Entwicklung neuer Instrumente zu prüfen bzw. bestehende zu revidieren (Akhtar-Schuster u. a. 2016).

Es ist zudem wichtig, verantwortungsvolle Governance von Landressourcen, inklusive Landbesitz, sicherzustellen, Mechanismen für integrierte Landnutzungsplanung zu errichten und Anreize für nachhaltige Landnutzung zu schaffen. Wo sinnvoll, sollten Maßnahmen/ Interventionen in die relevanten Raumplanungswerkzeuge eingebracht werden. Die Einrichtung von Multi-Stakeholder-Plattformen und Frameworks auf lokaler, nationaler und regionaler Ebene sowie LDN-Training und Kapazitätsaufbau sind Erfolgsfaktoren, um bei der Planung, Umsetzung, Messung und Bewertung von LDN-Interventionen zusammen zu arbeiten und um „ownership“ für die gefundenen Lösungen zu erhöhen (UNCCD Global Mechanism 2016).

5 Bestandsaufnahme Bodenfunktionen und Bodengefährdungen

Degradationsprozesse können unterschiedliche Funktionen von Böden und Ökosystemen betreffen und gehen auf unterschiedliche Gefährdungen zurück.

In diesem Kapitel wird daher zunächst eine Übersicht der bodenbürtigen Ökosystemfunktionen (nachfolgend kurz „Bodenfunktionen“ genannt) und bodengefährdenden Prozesse gegeben. Parallel wird geprüft, ob einige, und gegebenenfalls welche, Bodenfunktionen und Bodengefährdungen für Deutschland besonders relevant sind. Abschließend wird ein kurzer Überblick über die den Bodengefährdungen zugrunde liegenden Treiber gegeben, da auch die Kenntnis der Treiber ein wichtiger Baustein bei der Identifikation von Umsetzungsvorschlägen zur Implementierung des SDG 15.3 in Deutschland ist.

5.1 Funktionen des Bodens

Das Konzept der Bodenfunktionen entstand in den frühen 70er Jahren, wobei Funktion seitdem als Synonym zu Rolle, Leistung, Prozesse und dem Funktionieren von Systemen genutzt wird (Schwilch u. a. 2016). Die Bodenfunktionen basieren auf ökologischen Prozessen, die auch dem menschlichem Wohlergehen zugutekommen (Ökosystemleistungen) (TEEB 2010). Jede Bodenfunktion kann dabei direkt (z.B. durch Regulierung des Klimas und der Wasserqualität und -quantität) oder indirekt (z.B. für Nahrungs- und Futtermittel, Holz oder genetische Ressourcen, für die Entwicklung neuer Arzneimittel) zur Erbringung von Ökosystemleistungen beitragen (van der Putten u. a. 2010). Das (Millennium Ecosystem Assessment 2005) der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2005 unterscheidet dabei vier Ökosystemfunktionen, die alle stark auf der Funktionsfähigkeit der Böden beruhen:

1. Unterstützende Dienstleistungen: Ökosystemare Dienstleistungen, die auf Bodenbildung, Nährstoffkreisläufen und der Erhaltung der genetischen Vielfalt beruhen,
2. Regulierende Dienstleistungen: Regulierung des Klimas, der Wasserqualität, der Bestäubung, von Überflutungen, Krankheiten, und Abfallbeseitigung,
3. Bereitstellende Dienstleistungen: Bereitstellung von Nahrung, Wasser, Baumaterial/ Holz, Fasern und Rohstoffen für Arzneimittel,
4. Kulturelle Dienstleistungen: Ökosystemare Dienstleistungen, die Erholung ermöglichen und ästhetische und spirituelle Bedürfnisse befriedigen.

Die nachfolgende Tabelle aus FAO und ITPS (2015) stellt zur besseren Illustration die Bodenfunktion den Ökosystemleistungen gegenüber.

Tabelle 1: Ökosystemleistungen des Bodens und die dahinter liegenden Bodenfunktionen

Ökosystemleistung	Bodenfunktion
Unterstützende Dienstleistungen (notwendig für die Bereitstellung anderer Ökosystemdienstleistungen, indirekte Auswirkung auf den Menschen)	
Bodenbildung	Verwitterung natürlicher Materialien, Freisetzung von Mineralien und Nährstoffen, Änderung der Bodenstruktur, Änderung und Akkumulation von organischer Bodensubstanz, Bildung von Strukturen (Bodenhorizonte) zum Luft- und Wasseraustausch, Medium für Rückhalt und Austausch von Ionen
Primärproduktion	Medium für Saatkeimung, Wurzelwachstum Rückhaltemedium für Nährstoffe und Wasser
Nährstoffkreislauf	Umwandlung und Mineralisation von organischen Stoffen durch Bodenorganismen, Rückhalt von Nährstoffen
Regulierende Dienstleistungen	
Regulation der Wasserqualität	Filterung und Pufferung von Substanzen, Umwandlung von kontaminierenden Stoffen
Regulation der Wasserbereitstellung	Regulation der Wasserinfiltration Ablauf überschüssigen Wasser in Grund- und Oberflächenwasser
Klimaregulation	Regulation von CO ₂ , N ₂ O und CH ₄ Emission, Kohlenstoffbindung
Erosionregulation	Bodenrückhalt in der Landschaft
Bereitstellende Dienstleistungen	
Bereitstellung von Nahrungsmitteln	Bereitstellung von Wasser, Nährstoffen und physische Unterstützung beim Pflanzenwachstum für Lebens- und Futtermittelproduktion
Wasserbereitstellung	Wasserrückhalt und -reinigung
Material und Kraftstoffbereitstellung	Bereitstellung von Wasser, Nährstoffen und physische Unterstützung beim Pflanzenwachstum für Biokraftstoffe und Materialien
Rückzugsgebiet	Lebensraum für Tiere
Genetische Ressource	Grundlage für biologisches Material
Kulturelle Dienstleistungen: nichtmaterielle Leistungen durch spirituelle Bereicherung, ästhetisch Erfahrungen, Erholung und Erhalt von Landschaft und Heimat	
Ästhetisch und spirituell	Bewahrung der natürlichen und kulturellen Landschaftsvielfalt

Quelle: eigene Übersetzung/ angepasst aus FAO und ITPS 2015

Innerhalb von Deutschland ist das Konzept von Bodenfunktionen klar im **Bundesbodenschutzgesetz** (BBodSchG, §2) definiert. Auf europäischer Ebene strukturiert der (2014 jedoch von der EU Kommission zurückgezogene) Entwurf der **Bodenrahmenrichtlinie** (KOM(2006) 232 Art. 1) das gemeinsame Verständnis für Bodenfunktionen. Die Definitionen weisen deutliche Gemeinsamkeiten auf, setzen im Detail jedoch explizit **unterschiedliche Schwerpunkte** (Vergleich s. Tabelle 2). Während das BBodSchG zwischen natürlichen Funktionen, Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte und Nutzungsfunktionen (BBodSchG §2) differenziert, spricht der Entwurf der Bodenrahmenrichtlinie von ökologischen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Funktionen des Bodens - ohne die einzelnen Funktionen diesen Bereichen zuzuordnen. Die nachfolgende Tabelle stellt beide Konzepte gegenüber.

Tabelle 2: Bodenfunktionen nach dem Bodenschutzgesetz und des Entwurfs einer Bodenrahmenrichtlinie, geordnet nach Ähnlichkeit zum BBodSchG

Bundesbodenschutzgesetz	Entwurf der EU Bodenrahmenrichtlinie
1) natürliche Funktionen als	
a) Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,	Pool für die biologische Vielfalt auf der Ebene der Lebensräume, der Arten und der Gene,
b) Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,	
c) Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,	Speicherung, Filterung und Umwandlung von Nährstoffen, anderen Stoffen und Wasser, Kohlenstoffspeicher;
2) Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie	Archiv unseres geologischen und archäologischen Erbes,
3) Nutzungsfunktionen als	
a) Rohstofflagerstätte,	Rohstoffquelle,
b) Fläche für Siedlung und Erholung,	physisches und kulturelles Umfeld für den Menschen und seine Tätigkeiten,
c) Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,	Erzeugung von Biomasse, auch in der Land- und Forstwirtschaft.
d) Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.	

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

5.1.1 Räumliche Differenzierung von Bodenfunktionen

Die Rolle und Wichtigkeit unterschiedlicher Böden für die Erbringung von einzelnen Bodenfunktionen und Ökosystemleistungen, als auch die Nachfrage nach diesen Funktionen und Leistungen, ist raumabhängig (Schulte u. a. 2015). Alle Böden können zu den benannten Funktionen in unterschiedlicher Ausprägung einen Beitrag leisten, jedoch ist es vom Bodentyp abhängig, wie stark die jeweiligen Funktionen erbracht werden können (ebd.). Bspw. ist in manchen Bodentypen natürlicherweise weniger Kohlenstoff gespeichert als in anderen (z.B. enthalten mineralische Böden weniger Kohlenstoff als Moorböden). Manche Böden haben wiederum im Laufe der Zeit ein hohes CO₂-Speicherniveau erreicht, welches nur geringfügig gesteigert werden kann, während andere Böden noch viel Potential besitzen (Huber 2016; Smith u. a. 2008). Die Darstellung dieser verschiedenen Funktionen ist Gegenstand von Boden(teil-)funktionsbewertungen wie sie in Deutschland u.a. im Rahmen von Planungs- und Zulassungsverfahren durchgeführt wird.

5.1.2 Bewertung von Bodenfunktionen in Deutschland

Für die Implementierung des LDN Zieles in Deutschland und möglicher nationaler inhaltlicher Schwerpunktsetzungen stellt sich die Frage, ob eine Priorisierung der Bodenfunktionen sinnvoll und möglich ist. Hierzu ist zunächst anzumerken, dass weder das nationale Bodenschutzgesetz noch der Entwurf der EU-Bodenrahmenrichtlinie einzelne Bodenfunktionen priorisieren. Auch die **ExpertInneninterviews** spiegelten einheitlich, dass eine **pauschale Hierarchisierung einzelner Bodenfunktionen nicht möglich** und nicht wünschenswert ist.

Dies ist unter anderem auch damit begründet, dass die Bodenfunktionen miteinander im Verhältnis stehen und die Steigerung einer Bodenfunktion durchaus in einer negativen Wechselwirkung (Trade-offs) mit einer anderen Bodenfunktion stehen kann. Braat et al. (2008) zeigen in ihrer Veröffentlichung zur Vorbereitung der TEEB Studie („The Economics of Ecosystems and Biodiversity“) zur Inwertsetzung von Ökosystemen und Biodiversität, wie mit zunehmender Intensivierung der Nutzung von Ökosystemen (einhergehend mit Degradierung) vor allem der Wert der kulturellen und regulierenden Ökosystemleistungen abnimmt, die produzierenden Leistungen bis zu einem gewissen Grade jedoch zunehmen. Für die Implementierung des Konzeptes Landdegradation wird hieraus deutlich, wie differenziert zwischen den verschiedenen Ökosystemleistungen unterschieden werden muss, sofern eine Bilanzierung von Degradation, so wie sie im Konzept einer Land Degradation Neutrality nötig wäre, durchgeführt werden soll. Dies ist auch deshalb wichtig, zu erwähnen, weil die meisten ökonomischen Analysen von Landdegradation, die bisher durchgeführt wurden, sich auf die produzierenden Ökosystemleistungen (meist ausgedrückt durch die Zu- und Abnahme von Erträgen) konzentrieren und andere Leistungen (regulatorische und kulturelle) nicht betrachten (Nkonya, Mirzabaev, und von Braun 2016).

Konkurrierenden Funktionen und Nutzungsansprüche sind auch Gegenstand von **Abwägungen in der Planungspraxis**. So steht etwa die Nutzungsfunktion als Siedlungsstandort in direkter Konkurrenz mit Standortfunktionen der Landwirtschaft oder natürlichen Funktionen. Insofern können **Bewertungs- und Entscheidungsverfahren aus der Planungs- und Zulassungspraxis** (gesamträumliche Planungen, Fachplanungen mit Bodenbezug etc.) Aufschluss darüber geben, wie zwischen verschiedenen Funktionen abgewogen wird.

Eine sehr umfassende Untersuchung wurde hierzu 2006 durch Bosch und Partner und das Ingenieurbüro Feldwisch (Feldwisch u. a. 2006a) im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) vorgenommen. Das Vorhaben mündete in einem kurzen auf die Planungspraxis zugeschnittenen „Orientierungsrahmen zur zusammenfassenden Bewertung von Bodenfunktionen“ (Feldwisch u. a. 2006b). Das Projekt hat insofern auch heute noch Relevanz, als dass es eine umfassende Recherche vorhandener Methodenansätze zur zusammenfassenden Boden(teil)funktionsbewertung und eine diesbezügliche Umfrage bei den Bodenschutzbehörden der Länder beinhaltete. Darüber hinaus wurden die bodenschutzfachlichen, planerischen und rechtlichen Anforderungen an eine zusammenfassende Bewertung analysiert (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a).

Ausgangspunkt ist auch in der Zusammenstellung von Feldwisch et al., dass „eine generelle Priorisierung oder Hervorhebung einzelner natürlicher Funktionen oder Archivfunktionen des Bodens dem deutschen Bodenschutzrecht nicht zu entnehmen“ sei. „Umgekehrt wird eine **Hervorhebung einzelner Bodenfunktionen rechtlich nicht ausgeschlossen**, wenn dies anhand eines begründeten planerischen Leitbildes erfolgt“ (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a, eigene Hervorhebung). Sie konstatieren darüber hinaus: „Auch kann eine **vorhabensspezifische Hervorhebung einzelner Bodenfunktionen sinnvoll** sein, wenn durch die jeweilige planungs- und zulassungsrelevante Fragestellung nicht alle Bodenfunktionen betroffen sind“ (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a, eigene Hervorhebung). Durch das Fehlen von Vorschriften zur Bodenfunktionsbewertung gilt in der Praxis das Prinzip der Methodenoffenheit (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a).

Wertzuweisungen orientieren sich dabei an dem besonderen Wert einer Funktion im Planungsraum oder eine besondere Gefährdung (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a). Methodisch lassen sich dabei **folgende Bewertungstypen** unterscheiden:

- ▶ **Priorisierung einzelner Bodenfunktionen:** Funktionswert der prioritären Bodenfunktion bestimmt das Gesamtergebnis (Nutzung dieser Methode durch sieben Bundesländer).
- ▶ **Maximalwertprinzip:** Bodenfunktion mit höchstem Funktionswert bestimmt das Gesamtergebnis. Bei der ausschließlichen Anwendung dieses Bewertungsprinzips besteht das Problem, dass – dadurch, dass ein besonders hoher Flächenanteil als schutzwürdig ausgewiesen wird –

kaum Aussagen getroffen werden können, welche Flächen besonders schutzwürdig sind und so kaum Abwägungsspielraum besteht.¹³ (Nutzung dieser Methode durch zwei Bundesländer, z.T. ergänzt durch die anderen Methoden).

- **Mittelwert- bzw. Summenwertprinzip:** Alle Funktionswerte bestimmen das Gesamtergebnis. (Nutzung durch fünf Bundesländer).

Auffällig ist, dass die **Priorisierung** einzelner Bodenfunktionen **in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich** erfolgt. So wird gemäß der 2006er Analyse z.B. in Hamburg, Stuttgart und Freiburg der Archivfunktion eine besondere Bedeutung zugeordnet. Daneben hebt Hamburg in seinem zusammenfassenden Bewertungsverfahren noch die Lebensraumfunktion hervor. Die Unterschiede führen Feldwisch u.a. (2006a) auf verschiedene Aufgabenteilung und Schwerpunktsetzungen in den Bundesländern bzw. Kommunen sowie Datenverfügbarkeit zurück.

Die Studie empfiehlt eine begründete Priorisierung von Bodenfunktionen für planerische Fragestellungen. Als **besonders relevante Bodenfunktionen** haben sich demnach **in der Planungspraxis** das **Standortpotenzial für natürliche Pflanzengesellschaften**, die **natürliche Bodenfruchtbarkeit** sowie die **Archivfunktionen der Natur- und Kulturgeschichte** herausgestellt.

Andere LABO-Studien empfehlen für die Zulassungs- und Planungspraxis neben der Lebensraum- und Archivfunktion auch **Wasserhaushaltsfunktionen**, weil diese besonders von der Bauleitplanung betroffen sind (Peter u. a. 2009; Lambrecht u. a. 2003).

Auch das EU INTERREG **Forschungsprojekt TUSEC IP** aus dem Jahr 2004, das sich mit den Anforderungen an die Bodenbewertung im Alpenraum auseinandersetzte, identifizierte auf die Frage „welche Informationen über den Boden sind für Entscheidungen in der Raumplanung von Interesse?“¹⁴ als wichtigste Information die „Funktion des Bodens im Wasserkreislauf“ (hohe Relevanz für ca. 70%). In dieser Untersuchung – die auf der Befragung von knapp 200 Kommunen im Alpenraum (davon rund die Hälfte aus Deutschland) zurückging – spielten die Funktion als natürliches bzw. kulturräumliches Archiv jedoch eine geringere Rolle.

Auch in Hessen wird das Konzept der Bodenfunktionen bzw. Bodenfunktionsbewertung insbesondere bei der Durchführung von Umweltprüfungen oder als eigenständiger Belang in Planungs- und Genehmigungsverfahren genutzt und soll abschließend als aktuelles Beispiel illustrierend aufgeführt werden. In einem Karten- und Informationssystem sind die Funktionen und Eigenschaften landwirtschaftlicher Nutzfläche in Hessen großmaßstäbig und flächendeckend erfasst. Eine bodenfunktionale Gesamtbewertung zeigt, wo Böden die natürlichen Funktionen besonders gut erfüllen (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2012b). Für eine zusammenfassende Bewertung von Bodenfunktionen sollten einer Studie im Auftrag des Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zufolge insbesondere die Funktionen betrachtet werden, auf welche die Bauleitplanung den größten Einfluss hat (siehe Tabelle 3).

¹³ Dies liegt unter anderem daran, dass sich die Ausprägungen der Flächenfunktionen reziprok verhalten. Ist etwa eine Fläche von hoher Schutzwürdigkeit aufgrund ihrer „Lebensraumfunktion für natürliche Vegetation (und gering in „natürlicher Fruchtbarkeit“) so wird sie nach dem Maximalwertprinzip als Fläche mit hohem Schutzstatus klassifiziert. Flächen wiederum mit hoher „natürlicher Bodenfruchtbarkeit“ und geringer „natürlicher Lebensraumfunktion“ werden auch hoch eingestuft, so dass beide Ergebnisse ohne Priorisierung gleichwertig nebeneinanderstehen (Feldwisch, Balla, und Friedrich 2006a).

¹⁴ (n>167)

Tabelle 3: Bewertungsrelevante Boden(teil)funktionen in Hessen

Bewertungsrelevante (Teil-) Funktion	Bewertungskriterium
Lebensraumfunktion für Pflanzen	Biotopenentwicklung Ertragspotential
Regelungsfunktion im Wasserhaushalt	(nutzbare) Feldkapazität des Wurzelraums
Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaufunktion	Nitratrückhaltevermögen
Archivfunktion	(in Arbeit)

Quelle: (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2012a)

5.2 Gefährdungsprozesse

5.2.1 Übersicht der Bodengefährdungen in Deutschland

Die **1985er Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung** spricht von **sechs Gefahrenpotentialen**, denen in einem fachübergreifenden umweltpolitischen Ansatz begegnet werden muss: 1) Eintrag, mögliche Anreicherung sowie Austrag von Stoffen, 2) Veränderungen von physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften, 3) Bebauung und Zerschneidung von Freiräumen, 4) Aussterben von Tier- und Pflanzenarten, 5) Reduzierung besonders wertvoller und deshalb unverzichtbarer Bodenflächen und 6) großräumige Grundwasserabsenkungen bei der Rohstoffgewinnung im Tieftagebau und im untertägigen Bergbau sowie durch Wassergewinnung (Deutscher Bundestag 1985).

Auf europäischer Ebene wird in der Regel von **acht wesentlichen Gefährdungsprozessen** gesprochen: Erosion, Verlust organischer Substanzen, Verdichtung, Versalzung, Versiegelung, Verunreinigung, Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden, Erdrutsche und Überschwemmungen (Entwurf der Bodenrahmenrichtlinie (KOM(2006) 232)).

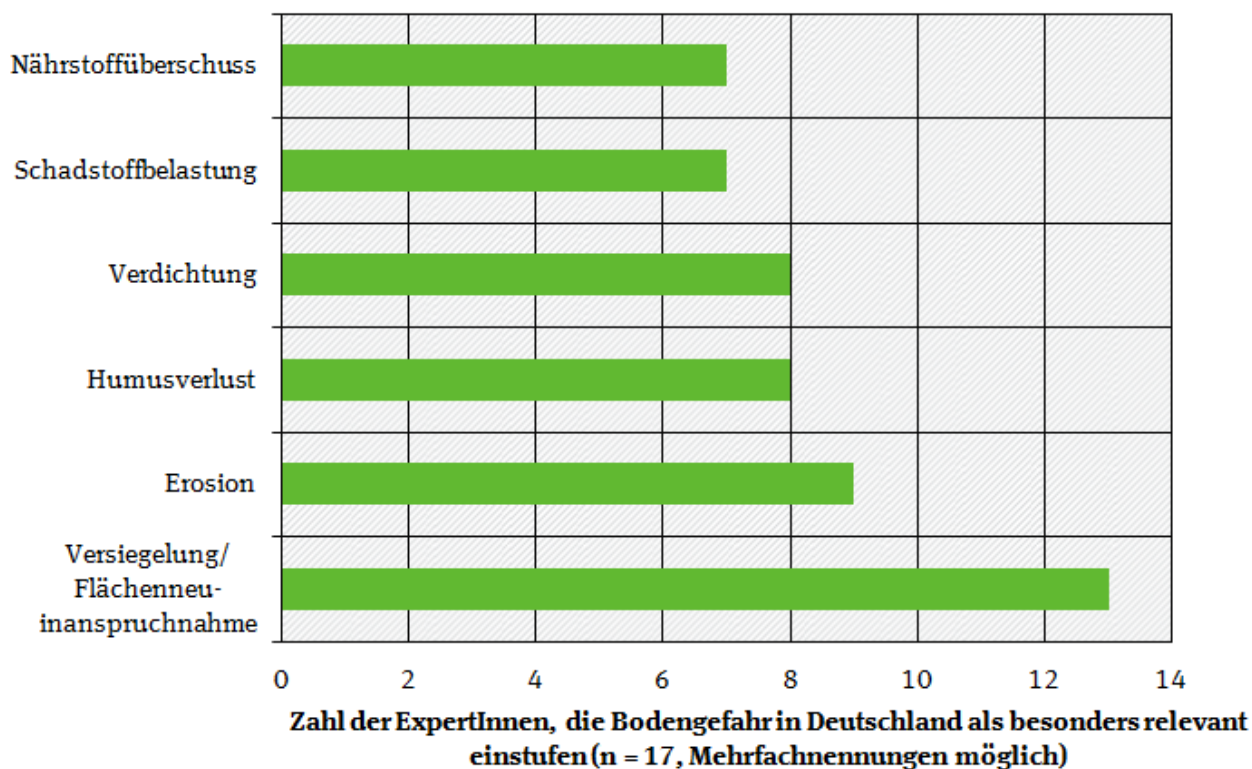
FAO und ITPS (2015a) differenzieren noch weiter und ergänzen zudem noch Versauerung (acidification), Wüstenbildung (desertification), Verkrustung (crusting) und Wasserrückstau (waterlogging).

Der **Bodenzustandsbericht des UBA** von 2015, der die erste länderübergreifende Übersicht über den Status der Böden in Deutschland darstellt, berichtet **für Deutschland die folgenden wichtigsten Gefährdungsprozesse: Versiegelung, Schadstoffeinträge, Erosion, Verdichtung und Verlust organischer Bodensubstanz bzw. der Humusverlust** (UBA 2015a).

Ähnlich stellten sich die Ergebnisse der ExpertInnenbefragung im Rahmen dieser Studie dar (s. Abbildung 2). Als Hauptgefährdungen für den Boden wurden, neben der Versiegelung, vor allem Erosion, Humusverlust, Verdichtung und Schadstoffbelastungen sowie Nährstoffüberschüsse genannt.¹⁵

¹⁵ Im Rahmen des Expertenworkshops am 6. Juli 2016 wurden zudem noch die Bodenversauerung diskutiert.

Abbildung 2: Laut ExpertInnenmeinung relevanteste Bodengefährdungen in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

An dieser Stelle sei noch einmal auf die Erhebung von Tusch u.a. (2004) im Rahmen des europäischen TUSEC-IP INTERREG Projektes aus dem Alpenraum erwähnt, bei der die Antworten von 173 Kommunen aus dem Alpenraum (darunter die Hälfte deutsche Kommunen) nach den wesentlichen Bodengefährdungen befragt wurden. Flächeninanspruchnahme wurde auch hier mit Abstand als die wichtigste Gefährdung benannt (über 60% sehen eine sehr starke bis starke Gefährdung des Bodens durch Flächenverbrauch).

Die wesentlichen Gefährdungsprozesse werden nachfolgend kurz beschrieben (siehe auch ergänzende Ausführungen in Kapitel 7 zum Thema Indikatoren).

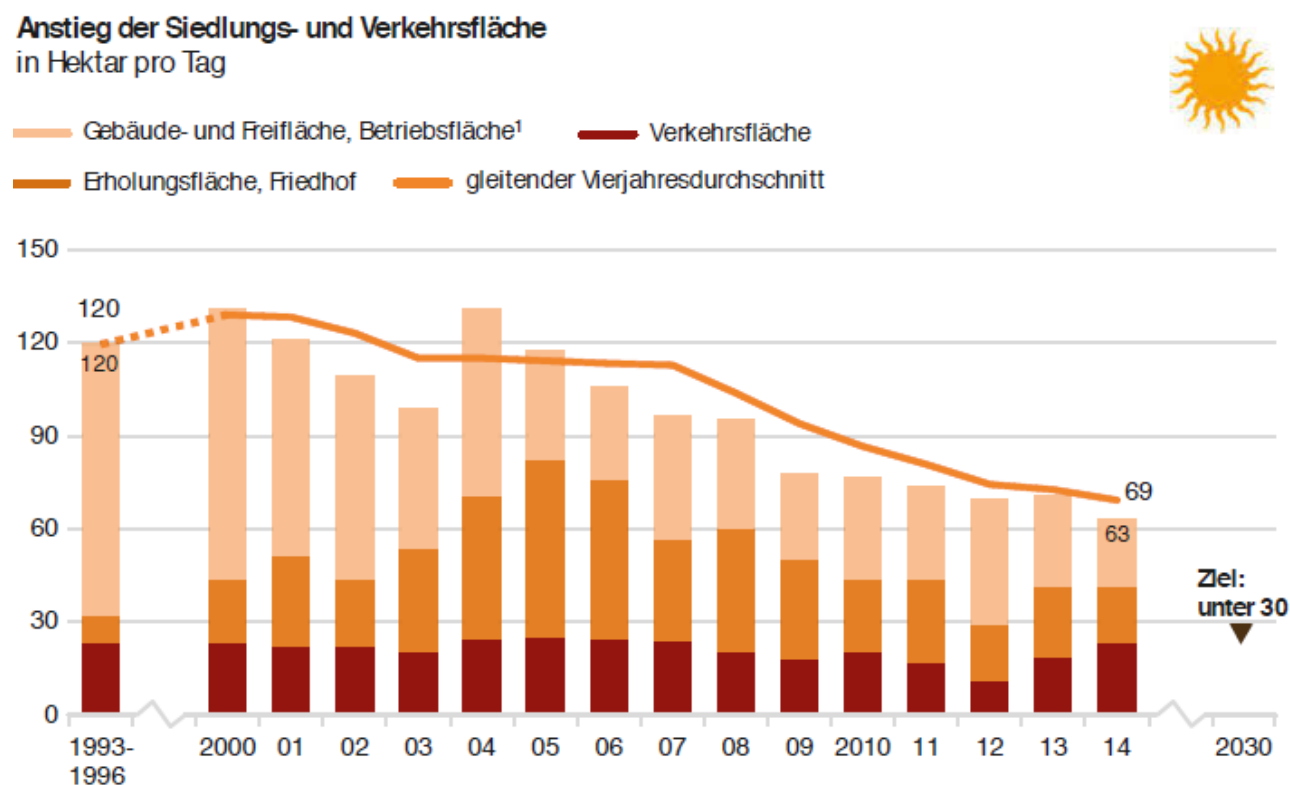
5.2.2 Versiegelung

Bodenversiegelung bedeutet die Überbauung und Überprägung des Bodens, so dass keine Wasser- und Stoffinfiltration und keine Bearbeitung des Bodens im Sinne von Landnutzung mehr möglich sind. Versiegelte Flächen fallen in Deutschland in die Kategorie von „Siedlungs- und Verkehrsflächen“. Allerdings sind nur knapp die Hälfte (43-50 %) dieser Flächen tatsächlich versiegelt, weil zu Siedlungs- und Verkehrsflächen auch Parks, Sportplätze, Spielplätze etc. zählen (Bundesregierung 2012). Ein wichtiges Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist es, die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf unter 30 Hektar pro Tag bis 2030 zu reduzieren (Bundesregierung 2016). Im Vergleich zu den vorigen Nachhaltigkeitsstrategien von 2002 und 2012, bei denen das Ziel bei 30 ha bis 2020 lag, ist dieses Ziel zwar ambitionierter, allerdings nicht konkret und um 10 Jahre verschoben worden. Es greift auch nicht weit genug, um die Ressourcenstrategie der EU (Übergang zur Flächenkreislaufwirtschaft (Netto-Null-Ziel bis 2050)) zu erreichen. Durch das Monitoring der Ziele der Nachhaltigkeitsstrategie ist die Entwicklung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland gut dokumentiert. Während 1993 die Siedlungs- und Verkehrsfläche noch 120 ha pro Tag betrug, lag dieser

Wert 2013 bei 73 ha pro Tag (Destatis 2014), bzw. aktuell bei 69 ha (Bundesregierung 2016)(siehe Abb.3). Trotz abnehmender Tendenz zeigt sich in Deutschland immer noch eine hohe Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen, und dies auch ohne signifikant wachsende Bevölkerungszahl. Der Anteil versiegelter Flächen liegt in Deutschland mit 249 m² pro Kopf 10% über dem EU Durchschnitt (Prokop, Jobstmann, und Schönbauer 2011). Die Bodenversiegelung bedeutet damit für einen erheblichen Flächenumfang den **Verlust aller wichtigen Bodenfunktionen** (Lebensraumfunktion für Bodenorganismen, Filter- und Pufferfunktion sowie Produktionsfunktion) und hat erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt (SRU 2016b).

Die Versiegelung von Boden wirkt sich auch auf nicht versiegelte Flächen in Siedlungsgebieten aus. Durch den Wasserabfluss von versiegelten Flächen und der fehlenden **Filter- und Pufferfunktion** des Bodens kann es zu erhöhten **Schadstoffwerten im Boden und Grundwasser** kommen. Nach dem Elbehochwasser 2002 wurden aufgrund des Abflusses von versiegelten Industrieflächen Dioxine, PCBs und Quecksilber weit über den bestehenden Grenzwerten in die Böden der Überschwemmungsgebiete eingetragen (Umlauf u. a. 2005; FAO und ITPS 2015a). Indirekte Effekte sind zudem veränderte **Temperaturen** und reduzierte Luftfeuchtigkeit, **Schadstoff- und Feinstaubbelastungen** der umliegenden Böden durch Emissionen aus Verkehr und Industrie (Jörissen und Coenen 2007). Infrastruktur und Siedlungstätigkeiten führen zu einer zunehmenden **Zerschneidung von Landschaftsräumen**, mit Auswirkung auf **Biodiversität**, da Lebensräume zerschnitten und Populationen getrennt werden.

Abbildung 3: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche (in ha/Tag)



Quelle: Statisches Bundesamt, in Bundesregierung (2016)

Am stärksten von Versiegelung betroffen sind die städtischen Ballungsgebiete im Ruhrgebiet und im Südwesten Deutschlands (Prokop, Jobstmann, und Schönbauer 2011) sowie Flächen mit hohem Ertragspotenzial (Goetzke u. a. 2014). In den neuen Bundesländern führt der Bevölkerungsrückgang zu zunehmend verlassener Infrastruktur mit einem hohen Grad an Versiegelung (Prokop, Jobstmann, und

Schönbauer 2011). Der SRU empfiehlt deshalb, diese zukünftig ungenutzten Flächen wieder zu entsiegeln, um sie einer land- oder forstwirtschaftlichen Landnutzung rückführen zu können und die Bodenfunktionen damit wieder herzustellen (SRU 2016b).

5.2.3 Erosion

Erosion kann laut Morgan (2005) als dreiphasiges Modell verstanden werden: (1) die Ablösung bestimmter Bodenpartikel von der Bodenmasse (2) der anschließende Transport der Bodenpartikel durch ein erosives Medium und (3) die Ablagerung der Partikel, sobald das erosive Medium nicht mehr über genügend Energie für den weiteren Transport verfügt. Erosion wird im Wesentlichen über Wasser und Wind als erosive Medien hervorgerufen.

Einschätzungen zur Erosion von Böden sind schwierig, weil flächendeckende und verlässliche Daten fehlen und weil Erosion meist schleichend oder durch einmalige Großereignisse geschieht. Außerdem sind Daten zu Erosion im europäischen Vergleich oft nicht hinreichend vergleichbar (Stolte u. a. 2016). Laut Schätzungen im Jahre 2012 sind etwa 2 Mio. der 11,8 Mio. ha Ackerfläche in Deutschland sehr erosionsgefährdet, das sind rund 17 % (Mal u. a. 2015). Die Gefährdung durch Wassererosion liegt mit 1,7 Mio. ha deutlich höher als die winderosionsgefährdeten Flächen, auf die 0,3 Mio. ha fallen. Während in küstennahen Regionen in Ostdeutschland und Teilen von Norddeutschland die Winderosion ein großes Problem darstellt, ist im Mittelgebirge die Wassererosion bei steileren Hanglagen besonders problematisch.

Langfristig bedeuten Erosion durch Wind und Wasser den Verlust der **Bodenfruchtbarkeit**, da wichtige Nährstoffe abgetragen werden (UBA 2015a). Mit der ebenfalls durch Erosion auftretenden **Verkrustung** von Böden kommt es zu oberflächlichem Wasserabfluss und zur Abtragung von Bodensubstanz, die Oberflächengewässer sowie Wege und Straßen verschmutzen können. Der schnellere Wasserablauf verschärft die **Hochwassergefahr**. Bodenerosion wird durch den Klimawandel, insbesondere durch Starkniederschlagsereignisse und durch anthropogene Einwirkungen (z.B. intensive Bodenbearbeitung oder Rodung von Vegetation) verstärkt (siehe z.B. Verheijen u. a. 2009).

5.2.4 Verdichtung

In der Land- und Forstwirtschaft kann es durch den Einsatz immer **größerer und schwerer Bearbeitung- und Erntemaschinen** zu einer intensiven und weit unter die Pflugtiefe reichende Bodenverdichtung kommen. Verdichtung bedeutet, dass das Gesamtporenvolumen des Bodens verringert und die Porengrößenverteilung zu feineren und damit schlechter belüftbaren Größen hin verschoben wird (Horn u. a. 2005; Ploeg, Ehlers, und Horn 2006). Je nach Schweregrad der eingesetzten Maschinen und Beschaffenheit des Bodens kann die Verdichtung bis in tiefere Bodenschichten vorstoßen (Van den Akker, Arvidsson, und Horn 2003). Dadurch werden wichtige Bodenfunktionen wie die Leitfähigkeit von Wasser, Luft und Wärme dauerhaft und häufig irreversibel verschlechtert, mit negativen Auswirkungen auf die Umwelt und die Pflanzenproduktivität. Außerdem begünstigt Bodenverdichtung durch die Bildung von Plattengefüge die laterale Wasserleitfähigkeit im Vergleich zur vertikalen und damit die Erosion (Hartmann u. a. 2012).

Besonders hohe Gefahr für Bodenverdichtung besteht beim Einsatz schwerer Maschinen auf feuchten Böden. Trockene und mäßig trockene Böden weisen nur eine geringe Empfindlichkeit für Verdichtung auf. Sandige Böden mit höherer Korngröße sind wesentlich weniger anfällig als lehmige und tonige Böden, in denen die Feuchtigkeit länger gespeichert wird (Horn u. a. 2005). Rund 50% der deutschlandweiten Ackerflächen weisen von ihrer Struktur her einen „ungünstigen bis sehr ungünstigen Zustand“ (UBA 2015a) auf, d.h. auf diesen Flächen würde Bodenverdichtung zu erhebliche Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen führen (Lebert 2010; UBA 2015a).

Es gibt keine einheitlichen Daten zum Status der Bodenverdichtung in Deutschland (Vorderbrügge und Brunotte 2011). Punktuelle Messungen und Strukturanalysen lassen aber den Schluss zu, dass die Bodenfunktionen auf ca. 10-20% der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland durch Verdichtung

beeinträchtigt sind (UBA 2015a). Die Auswertung empirischer Daten (etwa des Thünen Instituts) legt jedoch nahe, dass hier von keinen flächenhaften Schadverdichtungen auszugehen ist, sondern es punktuelle Bereiche gibt (z.B. Vorgewende und Fahrgassen, in Einzelfällen flächenhafte Schadverdichtungen bei empfindlichen, zu Staunässe neigende Böden) (Joachim Brunotte, Marx, und Lorenz 2016; J Brunotte u. a. 2008). Die Tendenz hin zu immer schwereren forst- und landwirtschaftlichen Maschinen (und der Ausnutzung der Maximalladung bei Erntemaschinen) wird mit hoher Wahrscheinlichkeit die Bodenverdichtung in Deutschland verstärken (Joachim Brunotte, Marx, und Lorenz 2016; Don 2016; Ploeg, Ehlers, und Horn 2006). Vorbeugende Maßnahmen und ein wissenschaftliches Monitoring (z.B. auch durch Echtzeitassistenzsysteme) sind wichtig, um dem vorzubeugen. (siehe z.B. Joachim Brunotte, Marx, und Lorenz 2016; Duttman u. a. 2014, Bonares Soil Assist Projekt).

5.2.5 Humusverlust

Organische Bodensubstanzen unterstützen viele Bodenfunktionen, wie z.B. die Ertrags-, Filter- und Pufferfunktion und die Speicherung von Bodenkohlenstoff als Senke für den Klimaschutz (UBA 2015a). Humus, im englischen als „soil organic matter“ (SOM) bezeichnet, besteht aus verschiedenen Komponenten, insbesondere Kohlenstoff, der zwischen 48% und 58% des Gesamtgewichts einnimmt, sowie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel (Stolte u.a. 2016). Eine einheitliche Definition von Humus gibt es bisher nicht, weil z.B. einige das organische Oberflächenmaterial dazu zählen, andere hingegen nicht, und es weitgehend ungeklärt ist, ab wann organisches Material als zersetzt gilt (Huber u. a. 2008). Genauso uneinheitlich sind die Auffassungen darüber, welcher Humusgehalt für welchen Bodentyp als „angemessen“ zu betrachten ist. Dementsprechend fallen Einschätzungen darüber, ob **der Verlust von organischen Bodensubstanzen**¹⁶ in Deutschland eine Gefahr darstellt, sehr unterschiedlich aus. Laut Daten der Bodendauerbeobachtungen (die jedoch nur auf eine begrenzte Zahl von Testflächen zurückgreift, siehe Kapitel 6) bleibt der Humusgehalt auf landwirtschaftlich genutzten Flächen stabil (UBA 2016). Der Humusgehalt im Waldboden nimmt nach Auswertungen der Bodenzustandserhebung sogar zu. Andere Studien gehen von einem deutlichen Verlust der organischen Bodensubstanz in Westdeutschland (Steinmann u. a. 2016) und Bayern (Capriel 2013) aus. Wichtige Faktoren für die beobachteten Veränderungen des Humusgehalts im Boden sind die Wahl der Anbaufrucht, die Düngungspraxis und der ursprüngliche Humusgehalt im Boden (Capriel 2013). Zudem spielt die Schüttdichte und der Anteil an Feinmaterial eine Rolle (Schrumpf u. a. 2011). Dabei muss zwischen dem Ober- und Unterboden unterschieden werden. Untersuchungen von Steinmann et al. (2016) zwischen 2005 und 2013 an 286 Standorten zeigten nennenswerte Verluste an Kohlenstoff im Unterboden, während der Kohlenstoff und auch der Humusgehalt im Oberboden aufgrund starker Düngergaben zunahm. Dies zeigt die Schwierigkeit beim Umgang mit Humus- und Kohlenstoffgehalt in Mineralböden, wo je nach Tiefe der Probeentnahme sehr unterschiedliche und zum Teil widersprüchliche Messergebnisse auftreten können. Eine intensive Bearbeitung des Oberbodens kann sich zehrend auf den Kohlenstoffgehalt des Unterbodens auswirken, auch wenn sein Humusgehalt konstant bleibt.

Als besonders gravierend und größtenteils irreversibel stellt sich der Verlust des Humusgehalts in Moorböden dar, die für landwirtschaftliche Zwecke nutzbar gemacht werden. Durch Entwässerung, Umbruch und Bewirtschaftung der Flächen wird der hohe organische Anteil in Moorböden schnell mineralisiert und entweicht in Form von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre (Kluge u. a. 2008; Kechavarzi u. a. 2010; Couwenberg u. a. 2011). Durch Absenkung des Wasserspiegels und kontinuier-

¹⁶ Die organische Bodensubstanz (Soil Organic Matter) besteht aus der toten und lebenden organischen Materie. Die tote organische Substanz wird als Humus bezeichnet. Der organische Bodenkohlenstoff (Soil Organic Carbon) ist der Hauptbestandteil der organischen Bodensubstanz.

licher Zehrung des organischen Bodengehaltes sacken viele landwirtschaftlich genutzte Moorböden bis zu mehreren Zentimeter im Jahr ab (Kasimir-Klemedtsson u. a. 1997).

5.2.6 Schadstoffeinträge

Schadstoffe in Böden können natürlichen Quellen entstammen (z.B. als Bestandteil von Gesteinen) oder durch menschliche Aktivitäten eingetragen werden, z.B. durch Bergbau, Verkehr, Industrie und Landwirtschaft (Alloway 2013). Dabei gibt es eine große Bandbreite von möglichen Schadstoffen, wie Schwermetalle (z.B. Blei, Cadmium, Hg), organische Stoffe (Pestizide, Dioxine, Arzneimittel etc.) oder Nährstoffe (Stickstoffverbindungen, Phosphate, Sulfate) (UBA 2015a; Ibrahim Mirsal 2008). Verunreinigungen können durch punktuelle (z.B. Bergbau) oder diffuse Quellen (z.B. Landwirtschaft) erfolgen. Es ist zudem zwischen abbaubaren und persistenten Schadstoffen zu unterscheiden.

Bei einer Erfassung auf europäischer Ebene wurden Industrie- und Haushaltsmüll (37,2%) sowie industrielle Aktivitäten (33,3%) als wesentliche punktuelle Quellen für die Bodenverschmutzung festgestellt (Panagos u. a. 2013). Einträge von Schwermetallen und anderen Schadstoffen gelangen über die Zufuhr von Dünge- und Pflanzenschutzmittel oder über die Nutzung einer Fläche für die Abfallverwertung (z.B. Ausbringung von Klärschlamm) in den Boden. Daten über die Verschmutzung der Böden durch in der Landwirtschaft eingesetzte Pestizide gibt es bisher kaum (Stolte u.a. 2016). Schadstoffe aus Industrie und Bergbau, Altlasten oder anderen kontaminierten Flächen können insbesondere im Fall eines Hochwasser eine Gefahr darstellen (BMUB 2013).

Der Eintrag von Schadstoffen kann negative Auswirkungen auf Böden und die Umwelt haben, insbesondere wenn mit dem Eintrag die natürliche Filter- und Pufferkapazität der Böden überschritten wird. Bei andauernden Immissionen können sich Schadstoffe in Böden anreichern. Daraus resultierende Bodenverschmutzungen können Nutzungen in der Landwirtschaft und im Gartenbau auf entsprechenden Flächen auf sehr lange Sicht unmöglich machen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2002). Zudem sinkt die Grundwasserqualität, wenn Böden Schadstoffe nicht mehr filtern können.

5.2.7 Nährstoffüberschüsse/Überdüngung

Hohe Nährstoffgaben in der Landwirtschaft, aber auch atmosphärische Stickstoffeinträge haben zur Folge, dass Böden und Gewässer mit einem Überangebot von Nährstoffen versorgt werden. Diese Überdüngung (Eutrophierung) hat in der Regel eine Förderung des pflanzlichen Wachstums (v.a. Algen und Makrophyten) mit entsprechender Verschlechterung des ökologischen Zustandes zur Folge. Meist werden dabei empfindliche Arten durch das üppige Wachstum Nährstoff-liebender Arten verdrängt.¹⁷ Erhöhte Nitrat-Konzentrationen (über 10 mg/l) wurden in rund 50 Prozent aller Grundwasser-Messstellen in Deutschland nachgewiesen, und 15 Prozent des Grundwassers hält den für Trinkwasser geltenden Grenzwert (50 mg/l) nicht ein (UBA 2015b). Neben den Hauptnährstoffen wie Nitrat und Phosphor gelangen auch anorganische Schadstoffe und Tierarzneimittel mit dem Dünger in den Boden (siehe Kapitel 5.2.6 zu Schadstoffeinträgen).

Die vorherige Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung hatte zum Ziel, Stickstoffüberschüsse bis 2010 auf 80 kg N/ha zu beschränken. Dieses Ziel wurde verfehlt, 2013 lag der Durchschnitt noch bei 95 kg N/ha (UBA 2015c). Unterdessen hat die Europäische Kommission ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland eingeleitet, weil Deutschland keine ausreichende Maßnahmen umgesetzt hat, um eine Verunreinigung durch Nitrat wirksam vorzubeugen und somit die Vorgaben der Nitratrichtlinie einzuhalten (Europäische Kommission 2016). Die Neuauflage der deutschen Nachhaltig-

¹⁷ siehe Glossar des Bayerischen Landesamtes für Umwelt:
http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/eutrophierung_versauerung/index.htm

keitsstrategie sieht bis zum Zeitraum 2028 bis 2032 eine Verringerung der Stickstoffüberschüsse der Gesamtbilanz auf 70 kg/ha pro Jahr vor.

5.2.8 Rückgang der Bodenbiodiversität

Die Artenvielfalt im Boden ist divers und hochkomplex: Ein Gramm Boden enthält dabei Milliarden von Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen und Einzeller). Unter einem Quadratmeter Boden leben Hunderttausende bis Millionen von Bodentieren, wie Fadenwürmer, Regenwürmer, Milben, Asseln, Springschwänze und Insektenlarven. Hochgerechnet auf einen Hektar ergibt das circa 15 Tonnen Lebewgewicht im durchwurzelbaren Bodenraum (UBA 2013). Bodenorganismen spielen eine wichtige Rolle von der Bodenbildung bis zum Abbau von Schadstoffen, für die Wasseraufnahmefähigkeit und bei der Humusbildung im Boden (UBA 2015a). Der Rückgang von Bodenbiodiversität wird weitgehend als großes Problem betrachtet (unter anderem auch in der nationalen Biodiversitätsstrategie beschrieben) ist aber bisher wenig erforscht.

5.3 Treiber der wichtigsten Gefährdungsprozesse

Landdegradation wird durch **menschliche Aktivitäten** ausgelöst und **durch natürliche Prozesse verstärkt** (siehe Definitionen Kapitel 3). **Klimawandel und Biodiversitätsverlust** verschärfen Dynamiken der Landdegradation zusätzlich.

Globale Haupttreiber für die Veränderung von Boden, die direkt oder indirekt auch für Deutschland eine Rolle spielen, sind die zunehmende Urbanisierung, ökonomisches Wachstum/ steigender Konsum und der damit verbundene Ressourcenverbrauch, Kriege (und damit Migration) sowie der Klimawandel (FAO und ITPS 2015a).

In Deutschland sind die wesentlichen Treiber für die Gefährdungen der Bodenfunktionen die **Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft** und der Ausbau **von Siedlungs- und Verkehrsflächen** (bedingt durch wirtschaftliche Entwicklung und demographischen Wandel). Landnutzungsänderungen, wie etwa die Umwandlung von Wald- in Landwirtschaftsflächen, tragen ebenfalls wesentlich zur Gefährdung der Bodenfunktionen bei, sind in der folgenden Tabelle jedoch nicht aufgeführt.

Tabelle 4: Wesentliche Treiber der wichtigsten Bodengefährdungsprozesse

Treiber	Aktivitäten	Gefährdungsprozesse
Erhöhte Nachfrage nach landwirtschaftlichen Gütern --> Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft	Bodenbearbeitung und -management Einseitige Fruchtfolge Anbau bestimmter Kulturen (v.a. Mais) Intensive Tierhaltung Ausbringung von Dünger in zu großen Mengen oder zur falschen Zeit Einsatz von Pflanzenschutzmitteln Einsatz schwerer Maschinen Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland	Verdichtung Erosion Schadstoffeinträge Verlust organischer Bodensubstanzen Nährstoffüberschüsse Rückgang von Bodenbiodiversität
Wirtschaftliche Entwicklung und demographischer Wandel --> verstärkte Nachfrage nach Wohnraum und Infrastruktur	Siedlungsbau Ausbau Verkehrsinfrastruktur Industrie- und Verkehrsaktivitäten	Versiegelung Schadstoffeinträge Verlust organischer Bodensubstanzen Rückgang von Bodenbiodiversität

Quellen: (Caspari 2016; Don 2016; Faensen-Thiebes 2016; Heißenhuber 2016; SRU 2016a; UBA 2015a, 2015b; Wilhelm 2016)

Die **Intensivierung der Landwirtschaft** gilt als ein Haupttreiber für Bodengefährdungen. Intensivierung umfasst dabei folgende Prozesse:

- ▶ **Größere Feldmaschinen:** Verschlechterung der Bodenstruktur und Verdichtung durch schwerere und größere Erntemaschinen in Land- und Forstwirtschaft,
- ▶ **Größere Feldschläge mit weniger Landschaftselementen:** Erhöhen Erosionsrisiko und Biodiversitätsrückgang (durch fehlende biotopverbindende Elemente und damit eingeschränktem Austausch von Teilpopulationen etc.),
- ▶ **Einseitige Fruchtfolge** und Verzicht auf humusmehrende Zwischenfrüchte, z.B. stickstoffbindende Leguminosen: Führt zu Verlust organischer Bodensubstanz und Verschlechterung der Bodenstruktur (Verkrustung) und reduziert damit die Fähigkeit des Bodens, Wasser aufzunehmen; zudem steigende **Dominanz einiger für Böden ungünstige Feldfrüchte** (z.B. Mais : vermehrtes Erosionsrisiko durch fehlende Bodenbedeckung bis Juni),
- ▶ Erhöhter **Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln:** Stickstoffüberschüsse stagnieren mit 97 kg N/ha seit Jahren auf hohem Niveau (regional sind die Werte z.T. deutlich höher) und sind damit weit vom 70 kg N/ha Ziel der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie entfernt (Bundesregierung 2016).
- ▶ **Intensive Tierhaltung:** Nährstoffüberschüsse durch ineffiziente und/oder nicht zeitgerechte Aufbringung der Gülle (Ausbringung muss auf Aufnahmefähigkeit der Pflanzen abgestimmt sein). Schadstoffe wie Schwermetalle und Antibiotika, die aus der Tierhaltung stammen, kommen mit der Gülle auf die Felder. Die Produktion von Futtermitteln für die Tierhaltung verstärkt den Nutzungsdruck auf Böden und ist damit ein weiterer Treiber der Bodendegradation.

Dennoch ist zu betonen, dass nicht immer ein linearer Zusammenhang zwischen Intensität und Bodendegradation vorliegt. So kann etwa der vermehrte Einsatz von IT Tools (precision farming) zur Entlastung der Bodengefährdung beitragen.

Eine nicht nachhaltige und damit u.U. bodendegradierende Bewirtschaftung von Land- und Forstwirtschaftsflächen kann auch mit dem Trend hin zu **kurzfristigen Pachtverträgen** in Verbindung gebracht werden. Laut Helming (2016) sind in Deutschland 60% der landwirtschaftlichen Flächen Pachtflächen (der EU-Durchschnitt liegt bei 40%), mit stark steigender Tendenz. Gegenüber Landbesitz verschaffen (kurzfristige) Pachtverträge dem Landnutzer kaum Planungssicherheit. Maßnahmen zum Bodenschutz zahlen sich in der Regel erst langfristig aus, während die Schäden ertragssteigernder Bearbeitungspraxis (z.B. in Bezug auf Erosion) kurzfristig kaum sichtbar werden. Dies verschafft dem Pächter kaum Anreize, die Produktivität des Bodens langfristig zu erhalten.

Ein weiteres Problem stellt die mangelnde Vermittlung über die Zusammenhänge zwischen der Degradation und den Funktionen des Bodens im Rahmen der **landwirtschaftlichen Ausbildung** dar (Helming 2016).

6 Bestehende Monitoringsysteme zu Bodenzustand und -veränderungen

Politische Zielstellungen bedürfen einer regelmäßigen Kontrolle darüber, ob eingeführte Maßnahmen zur Zielerreichung beitragen und ob Trends in die gewünschte Richtung verlaufen. Deshalb sind Monitoringsysteme auch für die Begründung, Konzeption und Erfolgskontrolle von Bodenschutzmaßnahmen unentbehrlich (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012). Normalerweise stützen sich Monitoringsysteme auf eine bestimmte Anzahl von Indikatoren, die für die jeweilige Zielerfüllung als relevant und aussagekräftig angesehen werden (vgl. hierzu Kapitel 7). Indikatoren bilden die inhaltliche Grundlage für Messparameter, die in bestimmten zeitlichen Abständen erhoben werden.

In Deutschland, auf europäischer und auf internationaler Ebene gibt es bereits eine Reihe von Monitoringaktivitäten, auf die für ein Monitoring des Zieles 15.3 aufgebaut werden kann.

In diesem Kapitel werden eine Auswahl vorhandener Monitoringprozesse auf ihre Eignung für die Umsetzung des SDG 15.3 hin analysiert und deren Schwächen sowie Möglichkeiten zur Anpassung und Verbesserung diskutiert.

6.1 Art der Datenerhebung in Monitoringsystemen

Die ersten Daten über den Zustand der Böden wurden in Deutschland und Europa bereits Ende des 19. Jahrhunderts erhoben. Die meisten systematischen und flächendeckenden Erfassungen von Bodendaten begannen in den 1980er und 1990er Jahre (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012)... Dabei kommen sehr unterschiedliche Herangehensweisen und Methoden zum Tragen, die bis heute eine breite Ausdifferenzierung unterschiedlicher Bodenmonitoringsysteme zur Folge hatten.

Grundsätzlich lassen sich **drei verschiedene Ansätze beim Monitoring** von Böden unterscheiden: **Fernerkundung**, **Felduntersuchungen** und **Modellierung**.

- ▶ Bei der **Fernerkundung** werden u.a. über von Satelliten erfasste Daten Rückschlüsse über den Zustand der Vegetation und Landnutzung und darüber auch über den Boden getroffen. Sie haben den Vorteil, dass sie flächendeckende Auswertungen erlauben, allerdings können sie oft keine differenzierten Aussagen über alle/ mehrere Bodenparameter treffen, bedürfen also der Ergänzung durch weitere Daten.
- ▶ **Felduntersuchungen** stützen sich auf lokale Versuchspunkte, an denen in bestimmten Abständen über Bodenentnahmen oder In-Situ-Beobachtungen verschiedene Parameter wie Humusgehalt, Bodenabtrag oder die Wasserkapazität des Bodens gemessen werden. Felduntersuchungen sind vergleichsweise aufwendiger, erlauben jedoch sehr genaue und umfassende Datenerhebungen, liefern aber nur punktuelle Informationen, deren flächenweite Interpretation bestimmte Grenzen gesetzt sind.
- ▶ **Modellierungen** stützen sich in der Regel auf Daten aus Felduntersuchungen, aus der Fernerkundung oder aus einer Kombination von beiden und berechnen weitere Parameter, Vorhersagen und Trends aus diesen Daten. Modellierungen sind für das Monitoring der Bodengefährdungsprozesse sinnvoll, die punktuell nur schwierig zu erheben sind, wie z.B. bei Bodenverdichtung und Erosion, und dienen der Abschätzung von Risiken (Bsp. Erosionsrisiko). Modellierungen haben den Nachteil, dass sie nur Abschätzungen generieren können, die zudem je nach den zugrunde gelegten Annahmen des Modells variieren und vom tatsächlichen Bodenzustand entsprechend abweichen können.

6.2 Übersicht bestehender Monitoringsysteme

Die **Tabelle im Annex II** gibt einen ersten Überblick über existierende Monitoringprozesse auf deutscher, europäischer und internationaler Ebene. Sie umfasst Informationen zur Ebene der Datenerfassung (**national, EU, global**), zur **geographischen Abdeckung/** Auflösung, zur **Messhäufigkeit** und zu den in den Systemen erfassten **Parametern** mit Bodenrelevanz sowie Informationen zur jeweils **zuständigen Institution**, die diese Daten sammelt bzw. aufbereitet.

Dennoch kann diese Übersicht **keinen Anspruch auf Vollständigkeit** erheben, da es zu den denkbaren Parametern mit Bodenrelevanz zahlreiche Monitoringsysteme gibt, die z.B. nicht für die Erfassung von Bodenparametern konzipiert wurden, aber dennoch Rückschlüsse auf bodenrelevante Fragestellungen zulassen. Hierzu gehören etwa die in der Tabelle aufgeführten agrarmeteorologischen Beobachtungen (Agrarmeteorologische Daten des Deutschen Wetterdienstes) oder die Bodenschätzung, die schon 1936 eingeführt sich insbesondere auf die Produktionsfähigkeit des Bodens abhob und nur unregelmäßig aktualisiert wird.

Auch werden nicht einzelne Datenerfassungen aufgelistet, sondern vorrangig **Datenerfassungssysteme mit mehreren Erfassungsparametern**, die einer **regel- oder unregelmäßigen Aktualisierung** unterzogen werden. Ebenso wenig wird die Vielfalt einzelner Datenerfassungssysteme dargestellt (etwa die Daten zum Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen, die das Statistische Bundesamt aufbereitet, die aber für die Erfassung von LDN dennoch eine Rolle spielen).

Eine **weitere Auseinandersetzung** mit möglichen Monitoringsystemen, die für die Beobachtung der Erreichung des 15.3 Zieles zur Verfügung stehen, **muss** vielmehr **vertieft erfolgen**, nachdem sich auf ein Grundverständnis zur Umsetzung des LDN Zieles in Deutschland verständigt wurde (vgl. Kapitel 3) und eine Auswahl möglicher Indikatoren getroffen wurde. **Weiterführende Informationen zur Datenverfügbarkeit** für eine Auswahl von **acht Indikatoren** sind in **Kapitel 7.3** zu finden.

6.2.1 Wesentliche deutsche Monitoringsysteme

Im Hinblick auf die bodenbezogenen SDGs sind in Deutschland vor allem die Bodendauerbeobachtung, die Bodenzustandserhebungen im Wald und in der Landwirtschaft, die landwirtschaftlichen Dauerveruche und die aus dem Erdbeobachtungsprogramm Copernicus gewonnenen Informationen von Interesse. Diese sind besonders relevant, weil sie gut etabliert sind, Daten zu einer Reihe von relevanten Parametern und Landnutzungstypen entweder für das gesamte Bundesgebiet liefern oder für eine Auswahl repräsentativer Flächen über ein langes Zeitfenster, und weil sie Daten aus der Fernerkundung, Felduntersuchungen und Modellierung zusammenführen. Diese Monitoringsysteme werden im Folgenden genauer ausgeführt.

Die **Bodendauerbeobachtung** ist eine langfristige Untersuchung an fast 800 Dauerbeobachtungsflächen (BDF) in Deutschland mit dem Ziel, Veränderungen des Bodenzustandes über eine lange Zeit zu erfassen. Sie wird seit Mitte der 1980er Jahre auf Acker-, Wald-, Grünland- und Sonderkulturböden sowie auf einigen Siedlungsflächen durchgeführt. Für die Datenerhebung sind die einzelnen Bundesländer verantwortlich, und das UBA sammelt die Daten zentral und wertet sie aus. Die Bodendauerbeobachtung erfasst diverse bodenphysikalische, bodenchemische und bodenbiologische Parameter sowie Parameter zu Stoffeinträgen und zum Bodenwasser, beispielsweise Stickstoff- und Schwermetallgehalte, Biomasse im Boden, Nitrat- und Nitritgehalt im Bodenwasser und Bodenabtrag. Die Bodendauerbeobachtung ist ein im Hinblick auf die Umsetzung der SDGs besonders wertvolles Monitoringssystem, weil sie über eine lange Zeit ein breites Spektrum an Parametern abdeckt, und weil die Monitoringinfrastruktur schon sehr gut etabliert ist. Eine Verbesserung der Aussagekraft der Untersuchungswerte könnte auch über die Untersuchung der Bodenstruktur, insbesondere des Krumentzustands erreicht werden (Joachim Brunotte, Marx, und Lorenz 2016). Die Bodendauerbeobachtung hat jedoch auch einige Nachteile. Zwar werden die Daten im gesamten Bundesgebiet erhoben, allerdings gibt es hierfür keine einheitliche oder standardisierte Methodik, so dass von Land zu Land sich die

erhobenen Parameter, die Messzyklen und die Anzahl der Probestellen unterscheiden (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012). In letzter Zeit werden zudem in manchen Bundesländern die Aktivitäten zur Bodendauerbeobachtung zurückgefahren (Don 2016).

Die **Bodenzustanderhebung (BZE)** besteht aus der BZE im Wald und der BZE in der Landwirtschaft. Die BZE im Wald wurde bisher in zwei Abschnitten durchgeführt: Die BZE Wald I von 1989 bis 1992 und die BZE Wald II von 2006 bis 2008. In der BZE im Wald werden an rund 1900 Stichprobenpunkten in Deutschland der Stand und die Veränderungen von Waldböden, Vegetation, Kronenzustand und Waldernährung untersucht (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012). Zu den erfassten Parametern gehören u.a. Bodentyp, bodenphysikalische Parameter wie Korngröße und Dichte sowie Anteile an Schwermetallen und anderen Schadstoffen.

Die BZE in der Landwirtschaft (BZE LW I) wurde an ca. 3200 Probenahmestandorten auf Acker- und Grünland, Gartenland und Sonderkulturflächen zwischen 2010 und 2013 durchgeführt und unterstützt die Emissionsberichterstattung der Bundesregierung im Rahmen der UN-Klimarahmenkonvention. In der BZE LW I stand der Anteil an organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Böden im Mittelpunkt der Erfassung. Darüber hinaus werden Parameter wie Gesamtstickstoff, Bodendichte, pH-Wert, aber auch betriebliche Parameter wie Betriebsstruktur und Bewirtschaftung (z.B. Fruchtfolge und Düngung) erhoben (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012).

Die BZE im Wald und die BZE in der Landwirtschaft werden in unregelmäßigen Abständen wiederholt und sind deshalb eher als Inventur und weniger als Monitoring zu bezeichnen. Da beide großflächig durchgeführt werden, sind die Erhebungen im Vergleich zu anderen Monitoringaktivitäten relativ kostenintensiv. Allerdings liefern sie aufgrund der flächendeckenden Ausführung wertvolle und vergleichbare Erkenntnisse über den Zustand der Böden deutschlandweit. Die Daten der BZE könnten deswegen als gutes Baseline für zukünftige Monitoringaktivitäten dienen. Überdies können durch Modellierung auf Basis der BZE-Daten Trends im Zustand der Böden abgeschätzt werden (Don 2016).

In den **Landwirtschaftlichen Dauerversuchen** werden seit über 30 Jahren anhand von 40 Versuchsfeldern verschiedene Aspekte des Acker- und Pflanzenanbaus untersucht. Bei den Dauerfeldversuchen geht es um den Vergleich von unterschiedlichen Düngungs- oder Bodenbearbeitungstechniken und deren Auswirkungen. Sie ermöglichen die Untersuchung von Langzeit-Umwelteffekten auf das System Boden-Pflanze und auf die Klimafunktion des Bodens. Die genauen Untersuchungsparameter und -methoden unterscheiden sich zwischen den Versuchen sowie zwischen den Versuchsstandorten. Der am häufigsten erhobene Parameter ist der landwirtschaftliche Ertrag (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012). Obwohl die Dauerversuche weniger Probenahmestellen umfassen als die BDF und die BZE, hat die Langfristigkeit der Untersuchungen den Vorteil, dass Daten kontinuierlich und über einen langen Zeitraum erhoben werden. Zudem ist es für ein Monitoring im Rahmen der SDGs wichtig, einen guten Datensatz über Bodenzustand und Trends auf landwirtschaftlichen Flächen wie aus den landwirtschaftlichen Dauerversuchen zu haben, weil sie für Bodenfunktionen und -gefährdungen eine bedeutende Rolle spielen. Der Vergleichsaspekt der Dauerversuche ermöglicht auch Rückschlüsse auf die Auswirkungen von landwirtschaftlichen Praktiken auf den Boden. Insofern könnten Daten aus den Dauerversuchen nicht nur Daten zum Bodenzustand generieren, sondern auch zum Monitoring von Aktivitäten mit einer Auswirkung auf Bodenfunktionen und -gefährdungen beitragen. Weil die Versuche aber ohne zentrale Koordination von diversen universitären und amtlichen Forschungseinrichtungen geführt werden, sind sie nur bedingt vergleichbar und nicht repräsentativ für ganz Deutschland, obwohl sie eine Vielzahl an Standorten und Bodentypen abdecken.

Daneben gibt es weitere relevante Informationsquellen, die jedoch nicht in der Tabelle (Annex II) aufgeführt sind, da sie im strengeren Sinne keine Monitoringsysteme sind:

Hierzu gehört u.a. das **FachInformationssystem Bodenkunde (FISBo BGR)**. Es ist Teil des Bodeninformationssystems des Bundes, einem Netzwerk von Informationssystemen auf Bundesebene, zu dem aktuell auch das **bbIS-UBA** (FIS Bodenschutz) und das **ALIS-UBA** (FIS Altlasten) gehören. Ziel dieser

Informationssysteme ist die Bereitstellung bodenkundlicher Informationen auf nationaler und internationaler Ebene sowie deren Interpretation und Weiterentwicklung für Anforderungen insbesondere in der Forschung sowie Politikberatung. Eine Weiterentwicklung von bBIS ist das "elektronisches Bodeninformationssystem" **eBIS**. Es verbessert insbesondere die Datenextraktion und -verarbeitung und ist bereits in zwei Bundesländern getestet (ENDA 2016).

Basierend auf den Daten des Fachinformationssystem Bodenkunde hat die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2016 den „**Bodenatlas Deutschland**“ publiziert (BGR 2016). Er enthält 48 Karten, die verschiedene Parameter über Bodenprofile, Bodenzustand, Bodengefährdungsprozesse und Landnutzung räumlich darstellen (BGR 2015). Karten existieren u.a. zu Bodenerosion durch Wasser, Hintergrundwerten zu Spurenstoffen und standortbezogenem Ertragspotential. Die Daten der Karten stammen aus dem Fachinformationssystem Bodenkunde (FISBo) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

6.2.2 Wesentliche europäische Monitoringsysteme

In Europa befindet sich das Erdbeobachtungsprogramm **Copernicus** (gestützt auf Messungen von Satelliten, Flugzeugen, boden- oder seegestützten Beobachtungs-Infrastrukturen) nach acht Jahren Entwicklungszeit in der operationellen Phase und führt damit vorangegangene Beobachtungssysteme der Bodenbedeckung wie vor allem **CORINE Land Cover** (CLC) und den Urban Atlas weiter (DLR 2016). Neben Landveränderungen umfassen die satellitengestützten Dienste des Systems auch die Überwachung der Meeresumwelt, Katastrophen und Krisenmanagement, Klimawandel u.a. Die satellitengestützten Messungen werden in unterschiedlicher Auflösung und Zyklen erhoben und durch terrestrische in-situ Erhebungen gestützt (DLR 2016). Copernicus erfasst in erster Linie Landbedeckung und deren Veränderungen, Vegetations- und geophysikalische Parameter, aus denen sich Dokumentation von Veränderungen der Landoberfläche erstellen lassen. Hierzu gehören auch Informationen über Bodenversiegelungen und deren Veränderungen (DLR 2016).

Copernicus hat den Vorteil, dass mehrere Parameter über ganz Deutschland und Europa mit einer einheitlichen und vergleichbaren Methodik erhoben werden, und dass das System Daten zu Bodengefährdungen liefert, die in Felduntersuchungen schwer erfassbar sind (wie z.B. Erosion) oder die einen aktuellen und sehr flächendeckenden Datensatz benötigen (wie z.B. Versiegelung). Allerdings sind Satellitenbeobachtungen hinsichtlich der Untersuchung von Bodendegradation gewisse Grenzen gesetzt. Mit ihnen lassen sich zwar Degradations-„Hot Spots“ erkennen, kleinteilige Veränderungen der Bodenqualität können aber nur durch zusätzliche Felduntersuchungen („Groundtruthing“) erfasst werden (Caspari 2016; Caspari, van Lynden, und Bai 2015). Ein umfassendes Bodenmonitoring lässt sich durch satellitengestützte Systeme derzeit nicht durchführen (Borg 2016).

Als europaweite Datenbank ist die **European Soil Databank (ESDAC)** von Relevanz. In ihr werden Bodendaten gesammelt und veröffentlicht. ESDAC enthält Datensätze von den Monitoringsystemen **Copernicus** und Land Use/Cover Area frame Statistical Survey (**LUCAS**), aber auch weitere Daten, z.B. von weiteren durch die EU geförderten Projekten. ESDAC stellt insofern eine Datenbank und kein Monitoringsystem dar, da es Datensätze sammelt und nicht erstellt.

Wenn auch nur von indirekter Relevanz kann auch die europäische Kartierung und Bewertung von Ökosystemen und deren Leistungen (**Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, MAES**) relevante Informationen liefern (Akhtar-Schuster u. a. 2016). MAES ist Teil der Umsetzung der Biodiversitätsstrategie der EU. Während Karten von Ökosystemen auf europäischer Ebene bereits erstellt wurden, befinden sich Karten zu Ökosystemleistungen sowie Karten auf nationaler Ebene noch in der Entwicklung (European Topic Centre on Spatial Information and Analysis 2015). Die Kartierung erfolgt auf der Basis von **CORINE Land Cover** Daten sowie weiteren Datenquellen auf europäischer Ebene. Aussagen über bodenbezogenen Ökosystemleistungen bzw. Bodenfunktionen könnten von diesen Daten abgeleitet werden.

6.2.3 Wesentliche internationale Monitoringsysteme

Für die Erfassung und Aufbereitung von globalen Boden- und Landbewirtschaftungsdaten spielen insbesondere die statistische Abteilung der FAO (**FAOSTAT**) eine wesentliche Rolle sowie **ISRIC** (World Soil Information). ISRIC arbeitet seit 40 Jahren an der Verbesserung der weltweiten Datengrundlage zu Böden. Zurzeit sind bei ISRIC mehrere Datenbanken in der Entwicklungsphase, die in den nächsten Jahren Bodeninformationen auf globaler Ebene zur Verfügung stellen wollen, darunter die Systeme WOSIS und Soil Grids. In den Datenbanken sollen Daten über Bodenprofile sowie Bodenkarten enthalten sein. Diese Systeme können in Zukunft eine vergleichbare weltweite Grundlage für Bodeninformationen anbieten, die z.B. bei der Etablierung von globalen Baselinewerten nützlich sein können.

Zudem hat sich das Global Soil Partnership (zu Deutsch Globale Bodenpartnerschaft, **GSP**) als Zusammenschluss von Stakeholdern im Bereich Boden und Land auf globaler Ebene das Ziel gesetzt, ein globales Bodenmonitoringsystem aufzubauen, das auf Daten von nationalen und lokalen Bodendatenquellen basiert. Dafür vernetzt und kooperiert die GSP mit nationalen und internationalen Institutionen, die Bodendaten erheben, beispielsweise durch die Gründung vom Internationalen Netzwerk der Bodeninformationsinstitutionen (INSII) im Dezember 2015 (Global Soil Partnership 2016).

6.3 Zusammenfassende Betrachtung der Hindernisse beim Monitoring von LDN

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die existierenden Monitoringsysteme nicht so aufeinander abgestimmt sind, dass von einer soliden Informationsbasis über den Zustand und die Entwicklung von Böden in Deutschland und Europa ausgegangen werden kann. Viele der Monitoringaktivitäten umfassen nur einen bestimmten Zeitraum oder konzentrieren sich auf eine begrenzte Auswahl an bodenrelevanten Parametern. Die Idee von einem integrierten Monitoring über die Landnutzung und die Böden Europas wird seit einiger Zeit von der europäischen Umweltbehörde (EEA) in Zusammenarbeit mit dem Joint Research Centre (JRC) verfolgt (JRC 2016). Die Harmonisierung der europäischen Monitoringsysteme und den entsprechenden Daten stellt allerdings nach wie vor eine große Herausforderung dar (Louwagie 2016).

Zudem besteht bei einigen Systemen Nachbesserungs- und Weiterentwicklungsbedarf, wenn aus den bestehenden Monitoringsysteme aussagekräftige Ergebnisse für Entscheidungsträger gewonnen werden sollen.

Für das Monitoring von LDN wären zumindest auf nationaler Ebene flächendeckende und vergleichbare Daten über einen langen Zeitraum nötig. Dies können die vorhandenen Monitoringsysteme allerdings nicht ausreichend leisten. Vielmehr verlaufen viele Prozesse zur Erhebung von bodenbezogenen Daten eher unkoordiniert und verhindern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse (Stavi und Lal 2015; Caspari, van Lynden, und Bai 2015; von Braun 2016; Don 2016). Beispielsweise sind Vergleiche der Ergebnisse der Bodendauerbeobachtung in den verschiedenen Ländern wegen der unterschiedlichen Ressourcenausstattung und unkoordinierter Methodik nur bedingt machbar, obwohl alle Messstellen zum gleichen Monitoringprozess gehören.

Bestimmte Daten, die zur Messung von „Land Degradation Neutrality“ beitragen können, werden bisher nur teilweise erfasst. So gibt es kaum hinreichende Daten zu Fragen des Landmanagement (z.B. zu der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, zur Bodenbearbeitung, oder zum Anbau von Zwischenfrüchten), obwohl Landmanagement eine entscheidende Rolle bei den Bodengefährdungen spielt (Don 2016).

Das IPBES „Thematic assessment on land degradation and restoration“ könnte hier ein Gegenbeispiel darstellen, auch wenn es aufgrund der einmaligen Durchführung kein Monitoring im engeren Sinne ist. Der Ansatz ist dennoch interessant, denn es werden diverse ExpertInnen und Wissenssysteme (wissenschaftliche Daten, indigenes Wissen, etc.) auf unterschiedlichen Ebenen in dem Assessment integriert, um Ergebnisse für die Praxis handhabbarer zu machen (Ngo 2015b).

Hinzu kommt, dass einige wertvolle Daten für ein Monitoring zwar erhoben, aber für die für Monitoring verantwortlichen Behörden gar nicht verfügbar sind. Die Cross-Compliance-Daten, die LandwirInnen zum Erhalt von Subventionen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) an die zuständigen Behörden auf Landesebene übermitteln müssen, enthalten z.B. viele Informationen über Bodenbewirtschaftung und Landmanagementpraktiken, stehen aber anderen Behörden und NutzerInnen aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht zur Verfügung (Don 2016; Osterburg u. a. 2009).

Bachmann und Kraemer (2015) empfehlen in ihrem Bericht an den Rat für Nachhaltige Entwicklung auch nicht nur die Datenerhebung und Reporting innerhalb einem Thema in den SDGs zu standardisieren, sondern auch Monitoring für alle SDG-Indikatoren zu harmonisieren, um die Verbindungen und Wechselwirkungen zwischen den Zielen zu beleuchten und effektivere Maßnahmen zu deren Erreichung zu implementieren. Beim Thema Boden ist das besonders wichtig, weil mehrere Ziele einen direkten oder indirekten Bezug zu Boden haben (UNCCD u. a. 2016b).

Letztendlich hängt -wie bereits angesprochen- die Leistungsfähigkeit vorhandener Monitoringsysteme im Wesentlichen davon ab, welche Indikatoren für das Monitoring ausgewählt werden. Eine erste Diskussionsgrundlage für eine Auswahl möglicher Indikatoren soll das nachfolgende Kapitel 7 leisten.

7 Screening möglicher geeigneter Indikatoren

7.1 Internationaler Prozess zur Definition von Indikatoren

Für die Umsetzung des SDG Zieles 15.3 ist es im Sinne der Fortschrittsmessung notwendig, einen messbaren Indikator zu benennen. Auf internationaler Ebene wurde hierzu ein Indikatorrahmen („indicator framework“) formuliert, auf den sich die **Statistische Kommission der UN** im März 2016 einigen konnte. Mit dem Indikator 15.3.1 „Proportion of land that is degraded over total land“, also dem **„Anteil an Flächen die im Vergleich zur Gesamtfläche degradiert sind“** (vorheriger Vorschlag: „trends in land degradation“¹⁸), gibt es nun eine Formulierung die konkret die Erfassung degradierter Flächen notwendig macht.

Dem Entscheidungsprozess gingen zahlreiche Konsultationen zwischen ExpertInnen und verschiedenen internationalen Institutionen voraus. Wesentlich waren hier unter anderem das von EEA und IASS organisierte ExpertInnentreffen am 3. März 2015 zur Entwicklung eines Vorschlags zu Land und Bodenindikatoren für die SDGs (Alva u. a. 2015), sowie das vom 25. bis 26. Februar 2016 vom Sekretariat der UNCCD und der CBD sowie FAO und STAP (Scientific and Technical advisory Panel of the Global Environment Facility) organisierte Expertentreffen zur Entwicklung eines „land degradation indicator“ in Washington D.C. im Februar 2016 (UNCCD u. a. 2016a).

Das Ergebnis dieser Prozesse stellt einen **„globalen Minimalkonsens“ von drei Sub-Indikatoren** dar (die Diskussion und Erläuterung der Indikatoren selbst erfolgt in Kap 7.3):

- ▶ Landbedeckung und Änderung der Landbedeckung,
- ▶ Landproduktivität,
- ▶ Kohlenstoff im und über dem Boden.

Für die Auswahl dieser Unterindikatoren waren folgende Überlegungen entscheidend:

- ▶ Anschlussfähigkeit an den vorhandenen UNCCD Monitoring- und Berichterstattungsrahmen (die drei Indikatoren sind eine Auswahl von insgesamt sechs Indikatoren, die seit 2013 unter der UNCCD für die nationale Berichterstattung verwendet werden).

¹⁸ Die vorgeschlagene Messmethode/ der Vorschlag von drei Unterindikatoren unterschied sich aber zwischen beiden Vorschlägen nicht.

- ▶ Vorhandensein globaler Datenquellen, um nationale Berichterstattungen zu unterstützen (vor allem auf Basis von Fernerkundungsmethoden (Remote Sensing etc.), die sich in den letzten Jahren immer weiter verbessert haben).
- ▶ Vorhandensein international anerkannter Methoden und Indizes.

Zudem sind diese **drei Indikatoren** nicht unabhängig voneinander zu sehen, sondern sind **als Set/ im Zusammenspiel** vorgeschlagen worden. Informationen zur Landnutzung bilden gewissermaßen dabei die Basis, da das Wissen um die jeweilige Landnutzung/ Landbedeckung auch notwendig ist, um grundsätzliche Aussagen zum Bodenschutz zu ermöglichen. Produktivität und Kohlenstoffgehalt spielen insofern zusammen, als dass Produktivität alleine kein geeigneter Indikator ist, da der Einsatz von synthetischem Dünger auch zu (kurzfristig) hoher Produktivität bei (langfristig) sinkender Bodenqualität führen kann.

Jedoch ist anzumerken, dass auch wenn dieses ein weithin akzeptierter Minimalkonsens für Indikatoren ist, dieser bei weitem nicht aussagekräftig ist, um alle qualitativen und quantitativen Aspekte von Land Degradation weltweit zu erfassen (UNCCD u. a. 2016a). Problematisch ist vor allem der **Mangel an aktuellen, verlässlichen und standardisierten Daten** (Akhtar-Schuster u. a. 2016). Deshalb gehen die UNCCD und andere beteiligte Akteure davon aus, dass die Indikatoren bei der Integration in nationale Monitoringsysteme um weitere, den nationalen Bedingungen entsprechende Indikatoren ergänzt werden (müssen) und auf nationale Daten und Monitoringsysteme aufgebaut werden muss (UNCCD u. a. 2016a).

Um für eine globale Bilanzierung von LDN jedoch eine gewisse **Vergleichbarkeit** zu ermöglichen, ist es Ziel der UNCCD, dass Länder soweit wie möglich die drei vorgegebenen Indikatoren in ihre Umsetzung einbeziehen (Engelberg 2016). Die nächsten Monate werden dabei entscheiden, ob dieser Ansatz aufgegriffen wird. Eine **EU-weite Harmonisierung** oder sogar ein eigener Vorschlag für EU-weite LDN Indikatoren sind aktuell (noch) **nicht vorgesehen** (Louwagie 2016).

Zu letztgenannten ExpertInnentreffen von UNCCD, CBD, FAO und STAP im Februar 2016 wurde bereits ein erster **Diskussionsentwurf zu Rahmen und Leitprinzipien für einen „Landdegradation-sindikator“** vorgelegt (UNCCD u. a. 2016b). Hier werden der Hintergrund für die Wahl der Indikatoren erläutert, aber auch Daten und Methoden diskutiert und ein weiterer Arbeitsplan entworfen.

Die wichtigsten Leitplanken des aktuellen Standes aller vorgeschlagenen SDG Indikatoren werden bei der Statistischen Kommission der UN, konkret der IAEG-SDG (der Inter-Agency and Expert Group on SDG Indicators) als **„Meta-Daten Zusammenstellung“** gesammelt (und regelmäßig aktualisiert) (IAEG-SDGs 2016a). Diese von der UNCCD vorgelegte¹⁹ Übersicht der Kernaspekte eines SDG Indikator 15.3.1 ist auch der aktuellste und „offizielle“ Diskussionsstand zur Umsetzung eines Indikators „Landdegradation“ (IAEG-SDGs 2016b).

In den kommenden Monaten sollen weitere Erläuterungen und Umsetzungsrichtlinien folgen²⁰, die zudem nicht nur für die Umsetzung des SDG 15.3 relevant sind, sondern auch für das Monitoring anderer internationaler Verpflichtungen (Akhtar-Schuster u. a. 2016), insbesondere der drei Rio Konven-

¹⁹ Seit dem dritten Meeting der IAEG vom 30. März bis zum 1. April 2016 in Mexico City ist die UNCCD in enger Kooperation mit der FAO mit Begleitung und der globalen Berichterstattung über das internationale Target 15.3 beauftragt. Grund hierfür ist u.a., dass die nationalen Berichtspflichten der Wüstenkonvention diese drei Indikatoren bereits nutzen und dass sie bereits einen breiten Prozess von Politprojekten und Kapazitätsaufbau in über 80 Ländern angestoßen hat (UNCCD Global Mechanism 2016).

²⁰ Das Science Policy Interface (SPI) der UNCCD u.a. haben ein „LDN Conceptual Framework“ entwickelt in dem z.B. die Grundprinzipien der LDN Umsetzung beschrieben werden (UNCCD Global Mechanism 2016).

tionen (UNFCCC, CBD²¹ und UNCCD). Im Januar 2017 wurde bereits ein „Conceptual Framework“ vom Science Policy Interface der UNCCD veröffentlicht (Orr u.a. 2017).

Parallel wird im „**Land Degradation Target Setting“ (LDTS)** Projekt des Global Mechanism der UNCCD aktuell die **Begleitung und der Kapazitätsaufbau zur Zielsetzung und Umsetzung des SDG 15.3²² in mehr als 80 Ländern** vorangetrieben (UNCCD Global Mechanism 2016). Zwischen Mai und Oktober 2016 fanden dazu die „regional inception meetings“ statt, im Oktober 2016 sollten alle teilnehmenden Länder zu einem Erfahrungsaustausch zusammenkommen (UNCCD Global Mechanism 2016). Das LDTS Projekt baut auf die **Erfahrungen von 14 Pilotländern** („LDN champion countries“) auf, die bereits in 2014-2015 durchgeführt wurden und Länder in ihrem Zielsetzungs- und Implementierungsprozess zu LDN unterstützten.

Die Kenntnis dieser Entwicklungen ist von **hoher Relevanz für den deutschen Prozess** der Umsetzung des Zieles 15.3, da die **Erfahrungen** wichtige Anregungen für die deutsche Implementierung liefern können (siehe auch Akhtar-Schuster u. a. 2016)). Auch im Sinne der **internationalen Vergleichbarkeit** von Fortschritten zur Bekämpfung von Landdegradation kann es hilfreich sein, auf diesem globalen Minimalstandard eines Indikators mit Subindikatoren für die deutsche Umsetzung aufzubauen.

In Entscheidung (3) der letzten Vertragsstaatenkonferenz der Wüstenkonvention (decision 3/ COP.12) wurden zudem auch die „**non-affected parties**“ der UNCCD²³ (zu denen Deutschland gehört) **aufgefordert, im Rahmen der UNCCD Umsetzungsaktivitäten freiwillige Ziele zur Erreichung von Landdegradationsneutralität** zu formulieren und über Fortschritte zu berichten, so dass sich auch diesbezüglich Synergien ergeben, wenn diese Indikatoren in der deutschen Umsetzung zur Anwendung kommen.²⁴

7.2 Anforderungen an Indikatoren

Bei der Suche nach geeigneten Indikatoren für die Erfassung von Landdegradation und Fortschritte bei der Erreichung von Landdegradationsneutralität in Deutschland stellen sich eine Reihe von **Herausforderungen**, da die Wahl der Indikatoren im Idealfall folgenden nicht leicht zu vereinbarenden **Anforderungen** entsprechen sollte:

1. **Datenverfügbarkeit:** Da die Erhebung neuer Daten in der Regel kostenaufwändig und politisch schwer durchsetzbar ist, gilt es, vorrangig bestehende Datensätze und Monitoringsysteme (siehe Kapitel 6) zu nutzen, insbesondere auch unter Nutzung der nationalen Daten, die vielfach spezifischer sind als internationale Daten: Während Fernerkundungsdaten/Daten zur Landbedeckung etc. global erhoben werden können, hängt es bei den stärker bodenbezogenen Daten wie Bodenkohlenstoff oder Bodenerosion vor allem von nationalen oder sogar subnationalen Statistiken und Monitoringsystemen ab. Zusätzlich kann auf Karten/ Erhebungen der (lokalen) Verwaltungen zurückgegriffen werden, perspektivisch ggf. auch auf von BürgerInnen/LandnutzerInnen erhobenen Daten („citizen science“).
2. **Anschlussfähigkeit** an Vorschläge zu Erhebungsmethoden/Datennutzung auf internationaler Ebene (siehe Kapitel 7.1).

²¹ Zu den relevanten Zielen der Konvention für Biologische Vielfalt mit Bezug zu „Landdegradation“ gehören etwa die „Aichi Biodiversity Targets“, u.a. mit dem Ziel „15% der degradierten Ökosysteme wiederherzustellen“.

²² Hauptziel des Programms ist es Staaten darin zu unterstützen nationale Referenzen (Baselines) zu identifizieren und freiwillige Ziele und Maßnahmen zu definieren (UNCCD Global Mechanism 2016).

²³ Also nicht zu den von Wüstenbildung betroffenen Ländern im Sinne der Wüstenkonvention gehörenden Ländern.

²⁴ Goal 15.3 gilt jedoch für alle UN Staaten

3. **Aussagekraft zu den relevantesten Land-/Bodenbeeinträchtigungen** und –gefährdungen aber auch **-verbesserungen in Deutschland**: Dies beinhaltet zum Einen, dass auf nationale Besonderheiten und ggf. besonders wichtige Bodenfunktionen oder -gefährdungen eingegangen wird, aber auch, dass die hierfür gefundenen Indikatoren eindeutige Aussagen ermöglichen (Indikatoren etwa zur Ausbringung von Stickstoffdünger (anders als die Stickstoffbilanz) lassen keine eindeutigen Schlussfolgerungen über Bodenauswirkungen zu). Die Aussagekraft eines Indikators wird zudem geschmälert, wenn aus den Werten nicht das Erreichen kritischer Schwellenwerte (wie bspw. bei Erosion oder Humusgehalt im Boden) abzulesen ist. Neu am Konzept der Landdegradationsneutralität ist es zudem, auch positive Veränderungen zu erfassen, dies stellt eine besondere Herausforderung für Indikatoren – auch aufgrund der zeitlichen Dimension von Verschlechterung und Verbesserung – dar.
4. **Identifikation von Schlüsselindikatoren**: Im Sinne einer effizienten Erhebung und zielführenden Kommunikation ist es generell wünschenswert, sich auf wenige, dafür aber für mehrere Bereiche (Bodengefährdungen, Ökosystemfunktionen) gleichzeitig aussagekräftige Indikatoren zu verständigen.
5. **Anschlussfähigkeit an Steuerung**: Die wissenschaftliche Perspektive könnte dazu neigen, viele Daten für wünschenswert zu halten. Möglicherweise wäre dies aber weniger sinnvoll für die operative Umsetzung der LDN. Um Landdegradation zu verringern, werden Gegensteuerungsmaßnahmen ergriffen werden müssen. Das wird vor allem die Planungs- und Vollzugsbehörden betreffen. Diese müssen in der Lage sein, in rechtlich und tatsächlich akzeptabler Zeit Entscheidungen zu treffen, die Bestand haben. Es wäre zu untersuchen, ob es Grenzen für die Datenmengen und -details gibt, die eine Behörde dazu verarbeiten kann und soll.

Indikatoren können unterschiedlichen Ansätzen folgen. Grundsätzlich kann zwischen **prozess- und ergebnisorientierten Indikatoren** unterschieden werden. Prozessorientierte Indikatoren messen in der Regel den Einsatz von Maßnahmen, Ressourcen und Geldern, die für die Zielerreichung aufgewendet werden (z.B. Flächen, die als Ökolandbau gefördert werden, altlastensanierte Flächen). Ergebnisorientierte Indikatoren setzen hingegen direkter an der Zielstellung an und messen den Fortschritt, der im Hinblick auf einen zuvor klar beziffertes Zielwert erreicht wurde (z.B. Vorhandensein roter Liste Arten, Schadstoffgehalt des Bodens).

Innerhalb der Indikatoren wiederum muss zwischen **Zustandsindikatoren** (z.B. Anteil von Kohlenstoff im Boden) und **Verlaufsindikatoren** unterschieden werden (Zunahme von Kohlenstoff pro Monat/ Jahr, Flächenneuanspruchnahme etc.). Im Sinne einer Trendabschätzung sind **insbesondere Verlaufsindikatoren wichtig**. Dies gilt es bei der Wahl von Indikatoren zur Umsetzung des SDG 15.3 in Deutschland zu beachten.

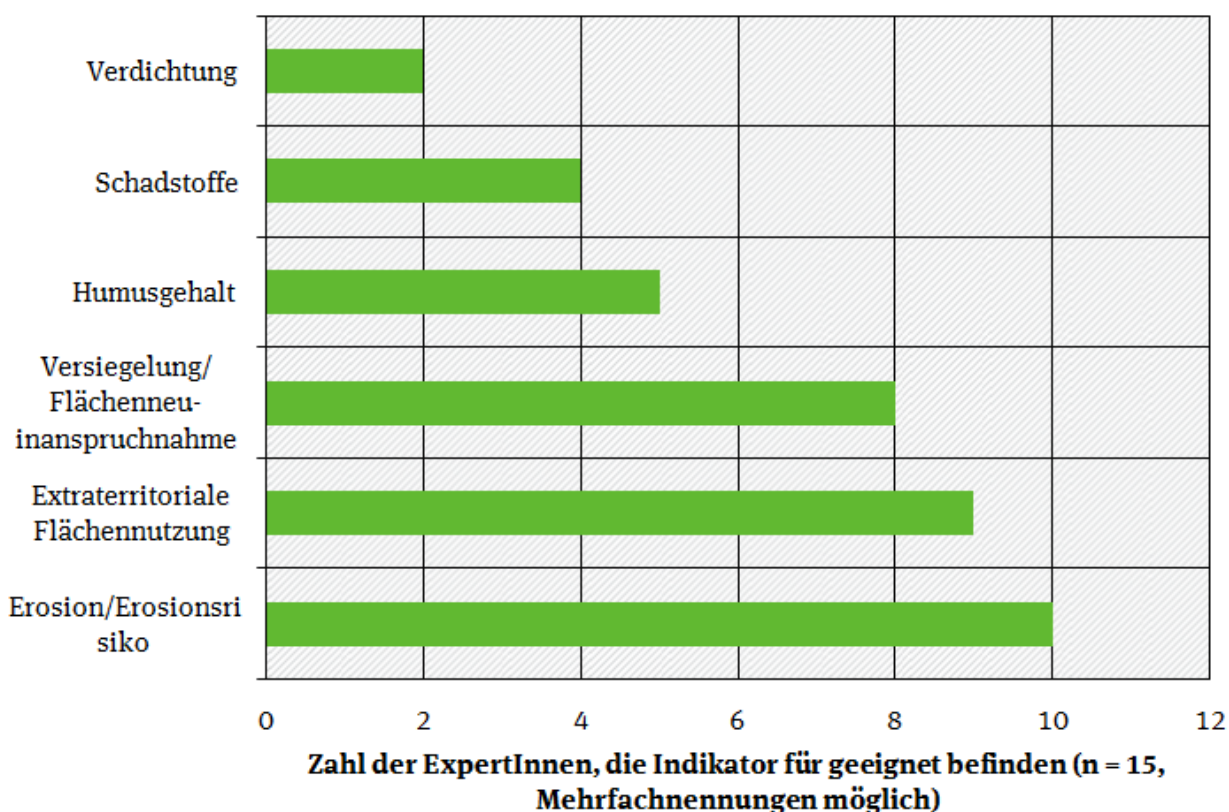
7.3 Mögliche Indikatoren für die Umsetzung von LDN in Deutschland

Basierend auf den Darstellungen der Bodenfunktionen und Bodengefährdungen in Kapitel 5 und der Identifikation der für Deutschland besonders relevanten Bodengefährdungen sollen nachfolgend **Indikatoren abgeleitet und weiter beschrieben** werden, die potentiell für die Erfassung der wichtigsten Aspekte zur Umsetzung des SDG 15.3 geeignet sind.

Hierbei ist wie in Kapitel 5 ausgeführt zu betonen, dass eine **Priorisierung der Bodenfunktionen** und an Funktionen orientierte Indikatorenfindung von fast allen befragten ExpertInnen als **nicht zielführend** gesehen wird, sondern vielmehr (die ja in Bezug zu den Bodenfunktionen stehenden) **Gegefährdungsprozesse in den Mittelpunkt** gestellt werden sollten. Ausnahme hiervon bildet der sowohl auf internationaler Ebene vorgeschlagene, als auch in nationalen Debatten oft angesprochene Indikator der Flächenproduktivität (insbesondere von Agrarflächen) sowie die übergeordnete Untersuchungskategorie (ebenfalls im Set der drei zur Erfassung vorgeschlagenen Bereiche auf internationaler Ebene) Landnutzungsänderung.

Abbildung 4 zeigt, welche Indikatoren in ExpertInneninterviews besonders häufig als geeignet identifiziert wurden. Die identifizierten Aspekte sind weitgehend deckungsgleich mit den bereits in Kapitel 5 dargestellten wesentlichen Bodenbedrohungen (Versiegelung, Schadstoffeinträge, Erosion, Verdichtung und Verlust organischer Bodensubstanz bzw. Humusverlust (UBA 2015a)). Jedoch haben die ExpertInnen bei der Frage nach geeigneten Indikatoren bereits Aspekte der Praktikabilität und Datenverfügbarkeit mit einfließen lassen, was zu abweichenden Ergebnissen führt. So schätzen etwa die Hälfte der ExpertInnen Verdichtung als wesentliche Bodengefährdung in Deutschland ein, beurteilen diesen Indikator aber aufgrund der schlechten Datenverfügbarkeit als wenig geeignet.

Abbildung 4 Laut ExpertInnenmeinung geeignete Indikatoren zum Monitoring des LDN Zieles in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

Nachfolgend werden die als potentiell geeigneten identifizierten Indikatoren kurz näher beschrieben (grundlegende Erläuterungen zu den Bodengefährdungen siehe Kapitel 5), zunächst kurz in Hinblick auf ihre Relevanz (auch als Schlüsselindikator, das heißt inwiefern sie zu mehreren Bodenfunktionen gleichzeitig aussagekräftig sind), aber auch in Hinblick auf die Datenverfügbarkeit. Da viele der Indikatorenbereiche sich durch unterschiedliche Indikatoren und Messgrößen darstellen lassen (etwa „schadstoffkontaminierte Fläche in ha“ oder „Schadstoffkonzentration in xy“ oder „Schadstoffvorkommen x über Grenzwert“) werden auch exemplarische Optionen sowie ExpertInneneinschätzungen hierzu ergänzt. Begonnen wird dabei mit der Darstellung der drei auf internationaler Ebene vorgeschlagenen Indikatoren.

Anders als in Kapitel 6, in denen Monitoringsysteme mit ihren unterschiedlichen Parametern vorgestellt wurden und Informationen zur Häufigkeit der Datenerhebung, dem geographischen Bezug, angewandter Methoden etc. gegeben wurde, soll in diesem Kapitel zielgenau nach Datenquellen für eine bestimmte Auswahl von Indikatoren geschaut werden. Diese können innerhalb der in Kapitel 6 be-

nannten Monitoringsysteme, aber auch separat erfasst sein. Die Nennung potentieller Datenquellen für Indikatoren ist nicht abschließend. Insbesondere die Möglichkeit auch mit Proxys (im Sinne von indirekten Indikatoren/ Indikatoren-„Stellvertretern“) zu arbeiten, bietet erhebliche Möglichkeiten auch ohne direkte Datenquellen, Aussagen zu bestimmten Indikatoren zu treffen (z.B. kann die Eutrophierung von Gewässern, Aussagen über die Nährstoff(über)versorgung von Böden ermöglichen etc.). Auch kann der Zugriff auf Indikatoren aus anderen Politikbereichen (etwa im Bereich Klima/LULUCF) Datensätze enthalten, die für den Bereich Boden/ Land u.U. nutzbar sind.

7.3.1 Landnutzung/ Landnutzungsänderung

Beschreibung/ Relevanz: Aussagen zur Landnutzung bzw. Landbedeckung eines Landes sind notwendige Grundvoraussetzung für weiterführende Aussagen zu Degradationsprozessen (Alva u. a. 2015; IAEG-SDGs 2016a). Änderungen der Landnutzung sind damit ohne Zusatzinformationen nicht direkt als Indikator zu verstehen (siehe Kapitel 8 zur Entwicklung eines Indikatorenkonzeptes, das auf Landnutzungsänderungen aufbaut und um ökologische Bodenwertigkeiten ergänzt), sondern ermöglichen einen ersten Hinweis zu möglichen Degradationen. Grundsätzlich können Landnutzungsveränderungen positiv (z.B. Renaturierung) oder negativ (z.B. Grünlandumbruch) sein. Je weiter differenziert diese Erfassung ist, desto eindeutiger sind Rückschlüsse auf mögliche bodengefährdende Prozesse.

Möglicher Indikator und Datenquellen: Informationen zur Landnutzung/-bedeckung sind in Deutschland bereits gut in Karten und Informationssystemen erfasst (Flächennutzungspläne, Biotoptypenkartierungen etc.). Fernerkundungsdaten und Geoinformationssysteme spielen dabei eine besondere Rolle. Für eine standardisierte globale Erhebung wird durch die UNCCD die Verwendung einer Klassifizierung empfohlen, die auf LCCS (Land Cover Classification System) und LCML (Land Cover Meta Language) (IAEG SDGs 2016a) basiert. Gemäß FAO (FAO 2016) stellt LCCS bisher das einzige universell anwendbare und angewendete Klassifikationssystem dar. Seit September 2014 steht mit GlobeLand30 zudem ein Datensatz zur globalen Landbedeckung zur Verfügung, das kostenlose Datennutzung erlaubt und Daten in 30m Auflösung bereit stellt (National Geomatics Center of China 2016).

ExpertInneneinschätzung: Die Erfassung der Informationen zur Landnutzung/ Landbedeckung in Deutschland wird weithin als unproblematisch eingeschätzt.

7.3.2 Flächenproduktivität/ „Land productivity“

Beschreibung/ Relevanz: Die Flächenproduktivität spiegelt die allgemeine Qualität von „Land“ (Böden, Wasser, klimatischen Bedingungen etc.) wieder. Ein Produktivitätsindikator ist vor allem vor dem Hintergrund der Produktionsfunktion der Böden für die Land- und Forstwirtschaft und damit für die Ernährungssicherheit von Relevanz. Er kann auch die Erfolge der Wiederherstellung vormals degradierter Flächen darstellen. Ein solcher Messwert bezieht aber auch Aspekte von Landnutzungsmanagement ein und kann ohne weitere Kontextindikatoren nicht unbedingt Aussagen zur Nachhaltigkeit der Flächenbewirtschaftung treffen, da auch Praktiken, die langfristig zur Ressourcenübernutzung beitragen (in Bezug auf Düngepraxis, Bewässerungspraktiken, Fruchtfolge etc.), hohe Erträge liefern können. Auch gibt es Fälle, in denen zwar ein hoher Biomasseaufwuchs auf Flächen stattfindet, dieser aber nicht wünschenswert für die (z.B. Weide-)Nutzung ist (z.B. Verbuschung, z.T. durch invasive Arten). Verbuschung ist etwa in Namibia ein großes Problem und wird dort als ein Schwerpunktthema in der Umsetzung des LDN Zieles adressiert (Engelberg 2016).

Möglicher Indikator: Für die Messung der Produktivität schlagen UNCCD die Erfassung der Nettoprimärproduktion über NPP (Net Primary Production, d.h. Nettoprimärproduktion) und NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) vor (IAEG-SDGs 2016a). Denkbar ist darüber hinaus auch ein Indikator zu „Yield Gaps“ (Verhältnis der vorliegenden Ernteerträge im Verhältnis zu potentiellen Ernteerträgen).

Mögliche Datenquellen: Der ExpertInnenworkshop von EEA und IASS im März 2015 (Alva u. a. 2015) identifizierte die folgenden möglichen Datenquellen: Daten des Erdbeobachtungsprogramms Coperni-

cus, Datensets des Joint Research Centres (JRC) sowie Daten der FAO, Weltbank und UNCCD. Die Nutzung von Fernerkundungsdaten wurde hier als besonders geeignet angesehen, da der Indikator eine hohe Auflösung von Daten sowie Datenerfassung über längere Zeiträume/Zeitreihen benötigt.

ExpertInneneinschätzung: Methoden zur Kalkulation von NPP aufbauend auf Fernerkundungsdaten sind nach ExpertInnenmeinung gut etabliert und globale Daten zu Referenzjahren gut verfügbar (Alva u. a. 2015).

7.3.3 Humusgehalt

Beschreibung/ Relevanz: Der Humusgehalt, und der darin enthaltene Bodenkohlenstoff, spielen eine zentrale Rolle für die Bereitstellung von vielen Bodenfunktionen und Ökosystemleistungen (UBA 2015a). Insbesondere unterstützt Humus die Bodenfruchtbarkeit, da er das Wasserrückhaltevermögen, die Nährstoffversorgung und Bodenstruktur verbessert (Julie Ingram und Jane Mills 2015). Eine verbesserte Bodenstruktur kann wiederum auch gegen Verdichtungsprozesse wirken (ebd.). Darüber hinaus ist Humus ein wichtiger Kohlenstoffspeicher und für den Klimaschutz von zentraler Bedeutung (Smith u. a. 2008; ITPS 2015). Die organische Bodensubstanz wird im Wesentlichen von Nutzungsfaktoren (Landnutzung und Landmanagement), aber auch von natürlichen Faktoren beeinflusst (z.B. Klima, Bodensubstrat, Vegetation). Bodenkohlenstoff (Humusgehalt) kann als ein Indikator für die LDN Umsetzung betrachtet werden, da er eine zentrale Rolle für Bodenqualität, Bodenfunktionen sowie im weitesten Sinne für Ökosystemleistungen und Resilienz spielt und anthropogene Aktivitäten einen Einfluss auf Bodenkohlenstoff haben (UNCCD SPI 2015).

Möglicher Indikator: Änderungen des Humusgehalt können durch den Indikator „Anteil an organischem Kohlenstoff im Oberboden“ (als Masse in Gramm von C pro kg Boden oder in Prozent gemessen) oder als „gesamte Kohlenstoffvorrat im Oberboden“ ($\text{t C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) berechnet werden. Der Indikator benötigt räumliche Kartierung für eine Referenztiefe (normalerweise Oberböden) und findet über bestimmte zeitliche Abstände statt (Alva u. a. 2015).

Einige Herausforderungen stellen sich bei der Anwendung dieses Indikators für die LDN Umsetzung. In den fachlichen Diskussionen gibt es z.B. keine Einigung, welcher Humusgehalt als angemessener Wert gilt (Faensen-Thiebes 2016). Die Etablierung eines angemessenen Niveaus hängt von mehreren Faktoren ab, was die Festlegung eines „Schwellenwertes“ erschwert, ab dem Böden als degradiert gelten. In jedem Fall können aber Veränderungen des Bodenkohlenstoffniveaus gemessen und damit auch der Trend der Degradation (z.B. ob eine Verbesserung oder Verschlechterung der Situation stattfindet) bestimmt werden. Für die Messung bzw. Datenverfügbarkeit dieses Indikators ist zu beachten dass die Messung von Bodenkohlenstoff kaum in-situ (unmittelbar vor Ort) durchgeführt werden kann, sondern Labormessungen bedarf, die mit zeitlichem und finanziellem Aufwand verbunden sind. Über alternative Ansätze (z.B. Verwendung von Farbtafeln (Munsell Soil Colour Charts)) können hingegen erste Näherungen zum Humusgehalt ermittelt werden.

Mögliche Datenquellen: Es gibt mehrere potentielle Datenquellen für diesen Indikator in Deutschland, die jedoch vor allem punktuelle und nicht flächendeckende Daten und auch keine Zeitreihen liefern. Die Bodenzustandserhebung (BZE) Landwirtschaft in Deutschland liefert eine Ausgangsbasis für Bodenkohlenstoffwerte von über 3,200 landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland. Eine Wiederholung ist zurzeit nicht geplant (Don 2016). Für die BZE im Wald gibt es den zeitlichen Vergleich zwischen 1990 und 2006 (UBA 2015a). Der Bodenzustandsbericht (UBA 2015a) zeigt die erste quantitative, bundesweite Evaluierung von Gehalten organischer Bodensubstanz, die regional nach Bodenausgangsgestein, Landnutzung und Klimaregion differenziert und auf, auf 9,000 Profildaten aus den Jahren 1985 bis 2005 basiert²⁵. Diese Daten könnten auch als Ausgangsbasis für das Monitoring von Ver-

²⁵ Aus dem Bericht ist die Quelle von diesen Profildaten nicht klar.

änderungen genutzt werden. Eine weitere mögliche Datenquelle könnte die LUCAS Datenbank darstellen, die für eine begrenzte Anzahl von Punkten, Bodenkohlenstoffdaten liefert (Panagos u.a. 2013).

Darüber hinaus könnten Dauerbeobachtungsflächen (800 Standorte in Deutschland) eine wichtige potentielle Quelle für den Kohlenstoffgehalt liefern. Hier gibt es jedoch Harmonisierungs- und Koordinierungsbedarf bzgl. der Datenerhebung, da das Monitoring von diesen Flächen unterschiedlich von den Bundesländern geführt wird.

Für organische Böden wurde auf Basis von Daten des Forschungsprojektes (Verbundprojekt „Organische Böden“)²⁶ auf Basis von Messungen und Modellierungen die flächendeckende und räumlich explizite Übersicht von Treibhausgasemissionen dargestellt. Darin enthalten ist eine harmonisierte Karte zu organischen Böden, die für die Emissionsberichterstattung als Basis dient. Es ist zu erwarten, dass Bodenkohlenstoff als Indikator im Klimaschutzkontext eine zunehmend wichtige Rolle spielen wird, da ab 2021 vorgesehen ist, dass der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) Teil des EU Klimaschutzrahmens wird, und damit auch die Bodenkohlenstoffspeicherung/ Emissionen. Es ist daher sinnvoll und wichtig den LULUCF Prozess zu berücksichtigen und mögliche Synergien von LULUCF Monitoring für LDN zu verfolgen.

ExpertInneneinschätzung: Der Indikator wird generell als nützlich gesehen, um den Status der Bodenqualität und die Lieferung von Bodenfunktionen aufzuzeigen. Er wurde auch als Indikator der Nachhaltigkeitsziele auf internationaler Ebene vorgeschlagen (Alva u. a. 2015) und vielfach in der Literatur als bester Schlüsselindikator beschrieben („best standalone indicator“) (UBA 2015c). Jedoch sind die bundesweiten Datenerhebungen, insbesondere die fehlenden flächendeckenden Informationen, eine Herausforderung für diesen Indikator.

7.3.4 Erosion/Erosionsgefahr

Beschreibung/ Relevanz: Bodenerosion ist ein wichtiger Gefährdungsprozess. Erosion wird ausgelöst durch Wind oder Wasser und führt langfristig zum Verlust der Bodenfruchtbarkeit. Durch Erosion werden wichtige Nährstoffe (inkl. Kohlenstoff) abgetragen, was Konsequenzen für die Wasserqualität als auch für menschliches Wohlbefinden hat. Abhängig vom Ausmaß, kann der Verlust der Böden durch Erosion als nicht reversibel betrachtet werden. In Deutschland ist Erosion vor allem ein wichtiger Prozess auf Ackerböden, wobei das Risiko für Erosion stark von der Bodenbewirtschaftung abhängt (UBA 2015a).

Möglicher Indikator: Mögliche Indikatoren sind die von der potentiellen und „nutzungsabhängigen“ oder tatsächlichen Erosion betroffene Fläche bzw. das Ausmaß der Erosion (t / ha / Jahr oder in Kategorien (stark, mittel, klein Risiko)). Bei der „tatsächlichen Erosionsempfindlichkeit“ wird die Bodennutzung (inkl. Erosionsschutzmaßnahmen) berücksichtigt. Eine genaue Kartierung der tatsächlichen Erosion ist Zeit- und Ressourcen-intensiv und wird selten durchgeführt. Indikatoren können zudem zwischen Wind- und Wassererosion unterscheiden.

Mögliche Datenquellen: Auf EU-Ebene stehen die JRC Erosionskarten (potentielle Erosionsgefahr) für alle Mitgliedstaaten zur Verfügung. Darüber hinaus sind die „agri-environmental indicators“ der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) (letzter Stand 2013) eine zusätzliche Quelle. Die Erosionskataster der Länder sind eine mögliche Datenquelle in Deutschland (gute Beispiele finden sich z.B. in Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen (Glante 2016)). Dazu gibt es auch Karten der Gefährdung der Ackerböden in Deutschland durch Wasser- und Winderosion (UBA 2015a). Bei Datenquellen für Erosionsempfindlichkeit, die auf Modellierungsbasis erstellt werden, ist es wichtig zu vermerken, dass die Ergebnisse starke Unterschiede zeigen können. Die Gründe

²⁶ www.organische-boeden.de

dafür sind Unterschiede in den Modelansätzen, der räumlichen/ zeitlichen Auflösung sowie der Qualität der Input-Daten (Stolte u. a. 2016).

ExpertInneneinschätzung: Viele ExpertInnen sprachen sich für diesen Indikator aus. Jedoch erlaubt die aktuelle Datenlage nicht die Beobachtung von aktuellen Erosionsraten, sondern nur potentielle Erosionsgefährdungen. Die Datenlage für Erosionsempfindlichkeit ist ein Vorteil für die Nutzung dieses Indikators.

Laut Erpul (2016) ermöglicht die Erfassung von Bodenerosion als Indikator anstelle des Humusgehaltes auch die bessere Bilanzierung von eigentlichem Bodenverlust (bzw. –zugewinn), da bei Verlust von Oberboden durchaus auch konstante Kohlenstoffgehalte gemessen werden können. Da die Bodenneubildung in der Regel ein sehr lang andauernder Prozess ist, wäre mit der Bilanzierung des Kohlenstoffs alleine dementsprechend nicht genug Information über die Degradierung der Bodens verfügbar.

7.3.5 Versiegelung/Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr

Beschreibung/ Relevanz: Versiegelung stellt einen starken Eingriff in die Bodenfunktionen dar. Auch nach einer Entsiegelung erlangen Böden nicht ihre ursprüngliche Funktionsfähigkeit wieder (Jörissen und Coenen 2007). Die Wiedererlangung von vormalig für Gebäude genutzten Flächen/ Böden ist dabei noch weiter eingeschränkt, da der ursprüngliche Boden in der Regel abgetragen/ bzw. oft mit (Bau-) Schutt aufgefüllt wurde. Interessant ist ein Indikator zur Versiegelung aber auch, da eine Reihe weiterer Ökosystemfunktionen durch Versiegelung betroffen sind (Wasserrückhaltevermögen, Versickerung, Filterung, Auswirkungen auf Biodiversität durch Zerschneidung von Lebensräumen etc.) und er damit auf mehreren Ebenen relevant ist. Die Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen ging in der Vergangenheit zum Großteil zu Lasten landwirtschaftlicher Flächen (Statistisches Bundesamt 2016), so dass diese Entwicklung auch zu einer Verminderung der Nutzbarkeit fruchtbarer Böden führt (Jörissen und Coenen 2007). Es besteht zudem eine Verknüpfung zur Frage der nachhaltigen Lebensstile, die über einen Indikator zur Entwicklung der Versiegelung bzw. der Entwicklung von Siedlungsflächen ebenfalls tangiert wird, da die Zunahme der Siedlungstätigkeiten im Wesentlichen auf einen steigenden Bedarf/ Anspruch an Wohnraum pro Person einhergeht. So ist zwischen 1998 und 2013 der Wohnraum pro Kopf erneut weiter gestiegen von 38m² auf 45m² (Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung 2013). Mit steigendem Wohnraumanpruch pro Kopf steigt zudem die zu beheizende Wohnfläche, Ressourcenaufwand für Baumaterialien etc.

Möglicher Indikator: Mögliche Indikatoren stellen „Veränderung der versiegelten Flächen“ und „Zuwachs/ Abnahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen“. Die Reduktion der Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen auf unter 30 Hektar pro Tag bis 2030 ist ein erklärtes Ziel der Bundesregierung und in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie festgeschrieben (Bundesregierung 2016). Entsprechend politisch anschlussfähig wäre ein solcher Indikator. Auch ein Indikator zur Entwicklung dezidiert versiegelter Flächen ist denkbar (ca. die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsflächen ist versiegelt, da auch Sport- und Spielplätze, Parks etc. in diese Kategorie zählen). Ggf. sind auch modifizierte Berechnungen des Indikators relevant, die z.B. Abbaufächen einbeziehen, die bislang separat ausgewiesen werden. Auch gehen einige Bauflächen, wie etwa Windenergieanlagen bislang nicht in den Indikator der Siedlungs- und Verkehrsflächen ein.

Mögliche Datenquellen: Die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen wird in Deutschland bereits durch das Statistische Bundesamt erfasst. Die Umrechnung der Flächeninanspruchnahme in Versiegelungsgrade wird zumeist von den Landesanstalten vorgenommen (Faensen-Thiebes 2016). Eine Abschätzung von Versiegelungsgraden ist auch aus Daten der Fernerkundung möglich.

ExpertInneneinschätzung: Aufgrund der Verankerung dieses Zieles in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie und dem seit langem bestehenden Monitoring hierzu, wird ein entsprechender Indikator in der Regel als geeignet eingestuft.

7.3.6 Schadstoffe

Beschreibung/ Relevanz: Andauernde und/ oder zu hohe Schadstoff-Immissionen stellen eine Belastung der (landwirtschaftlichen und gärtnerischen) Produktionsfunktion von Böden dar. Der Verlust der Filter und Pufferkapazitäten von Böden im Allgemeinen stellt zudem eine Gefährdung für die Grundwasserqualität dar. Zu hohe Stickstoffeinträge stellen ein wesentliches Biodiversitätsrisiko dar (IAEG-SDGs 2016a).

Allerdings besitzt der Boden für verschiedene Stoffe und Stoffgruppen wie Pflanzennährstoffe, organische Verbindungen, Säurebildner oder Schwermetalle unterschiedliche Filter- und Pufferkapazitäten (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2002).

Aufgrund der negativen Wirkungen auf Biodiversität, Wasser, Böden und Klima ist die Reduktion des Stickstoffüberschusses Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Der Zielwert der Bundesregierung, den Stickstoffüberschuss auf 70 Kilogramm (kg) N pro Hektar (ha) im Dreijahresdurchschnitt zu begrenzen, konnte bisher aber nicht erreicht werden. 2012 betrug der Stickstoffüberschuss in der Gesamtbilanz Deutschlands immer noch 98 kg/N/ha, mit zum Teil deutlich höheren Überschüssen in den Intensivtierhaltungsregionen Nordwestdeutschlands (UBA 2015c).

Bisher fehlt eine flächendeckende Übersicht zur Schadstoffbelastung von Böden in Deutschland, da das Monitoring bislang in kleinräumlichen Zusammenhängen stattfindet (z.B. Dauerfeldversuche, Bodendauerbeobachtung) (SRU 2016b). Bestehende Grenzwertregelungen –sofern Schwellenwerte vorliegen – werden zum Teil als zu hoch eingeschätzt (UBA 2015a).

Möglicher Indikator: Die Wahl des Indikators hängt stark davon ab, welcher Schadstoff für ein Monitoring ausgewählt werden soll. In der Regel lassen sich diese durch Konzentrationen im Boden abbilden. Stickstoffablagerungen („Stickstoffdepositionen“) zum Beispiel werden etwa mit der Maßeinheit „Kilogramm pro Hektar und Jahr“ (kg ha⁻¹a⁻¹) oder Stickstoffequivalenten („Äquivalenten pro Hektar und Jahr“ (eq ha⁻¹a⁻¹) angegeben. Messgröße der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist der Stickstoffüberschuss in kg pro ha.

Mögliche Datenquellen: In Deutschland gibt es kein flächendeckendes Monitoring von Schadstoffen in Böden, sondern nur Monitoring in kleinräumlichen Zusammenhängen (z.B. in Dauerfeldversuchen oder Bodendauerbeobachtung). Seit 1995 werden Hintergrundwerte für anorganische Schadstoffe ermittelt und regelmäßig aktualisiert, was für organische Schadstoffe nicht der Fall ist (UBA 2015a). Für organische Schadstoffe in landwirtschaftlichen Flächen gibt es punktuelle Daten für 2007 – 2012 (650 Standorte). Aus der BZE Wald II liegen für 474 Waldstandorte Daten für ausgewählte organische Schadstoffe vor (UBA 2015a). Zudem wird eine Veröffentlichung der Hintergrundbelastung von organischen Schadstoffen in land- und forstwirtschaftlichen Flächen erwartet. Messmethoden für Schadstoffeinträge beziehen sich in der Regel auf die nasse Deposition (Messungen der Schadstoffkonzentrationen im aufgefangenen Niederschlag, Interpolation der Messungen der Schadstoffkonzentrationen im Niederschlag aus verschiedenen Messnetzen), der trockenen Deposition (Ermittlung auf Messpunkten auf Böden, Vegetation und Materialien, flächendeckende Berechnung durch Modelle) und die okkulte (feuchte) Deposition (atmosphärische Schadstoffe gelöst in Nebel- und Wolkentröpfchen, Kombination aus Landnutzungs- und meteorologische Daten sowie Daten zur Immissionssituation von Schadstoffen). In der Datenbank STARS (Stoffdatenbank für bodenschutz-/umweltrelevante Stoffe, www.stoffdaten-stars.de) werden zudem Daten für die Medien Boden, Wasser und Luft bereitgestellt. Die in STARS enthaltenen Daten stammen aus verschiedenen Datenbanken, Gesetzestexten und aktuellen Forschungsvorhaben.

ExpertInneneinschätzung: Während die Relevanz eines Schadstoffindikators hoch eingeschätzt wurde, wurde keine Präferenz für die Aufnahme eines bestimmten Schadstoffes in ein Indikatorensystem geäußert, ebenso wenig wurde die Qualität der Datenlage diskutiert. Die Identifikation von Nährstoff-

überschüssen als eine der wesentlichen Bodengefährdungen in Deutschland legt jedoch nahe, dass dies ggf. ein wichtiger Teilindikator im Bereich Schadstoffe sein könnte.

7.3.7 Verdichtung

Beschreibung/ Relevanz: Die Verdichtung von Böden, in der Regel durch schwere Maschinen, aber auch Überweidung, ist ein auf landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Böden bezogenes Problem. Verdichtung beeinträchtigt die Bodenstruktur und viele Bodenfunktionen wie z.B. Wasserversickerung und Bodenfruchtbarkeit. Es wird in Deutschland, auch nach Meinung der ExpertInnen, als ein zentrales Problem für Bodenschutz betrachtet obwohl die Einschätzung des Ausmaßes auf der Basis von Modellen nicht direkt durch empirischen Studien bestätigt werden kann. Verdichtungen im Unterboden (Bodenschichten zwischen 30 – 60 cm) bleiben langfristig erhalten, da die maschinelle Lockerung in dieser Tiefe nicht möglich ist. Zudem ist Verdichtung im Unterboden auch nicht sichtbar.

Möglicher Indikator: Das Envasso Projekt hat zwei mögliche Indikatoren für Verdichtung vorgestellt: 1) Lagerungsdichte (die Masse Festsubstanz pro Volumen Boden (kg m^{-3})), und 2) Porenraum, wenn entwässert bis zum Matrixpotential von 30 – 60 h Pa (Huber u. a. 2008). Eine Arbeitshilfe zur Bestimmung der Bodenverdichtungen der Schweizer Kantone benennt zudem als mögliche praktikable Indikatoren den Eindringwiderstand (ermittelt mit Penetrometer zur Ermittlung der räumlichen Ausdehnung verdichteter Horizonte, sowohl in der Tiefe wie auch in der Fläche) sowie Grobporenvolumen und gesättigte Wasserleitfähigkeit (Bodenschutzfachstellen der Schweizer Kantone 2009). Die vom Boden mobilisierbare Eigenfestigkeit, ist wiederum abhängig von der Bodenart, der Bewirtschaftung, der Bodenentwicklung sowie der klimatischen Randbedingungen. Sie kann nicht mit einer einzigen Zahl als Indikatorwert verbunden werden, sondern bedarf einer standortspezifischen Bewertung.

Mögliche Datenquellen: In Deutschland gibt es bundesweit keine einheitlichen Messergebnisse über das Ausmaß und die Entwicklung von Verdichtung in landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Flächen (UBA 2015a). Über die Copernicus Satellitendaten wären verdichtungsgefährdete Gebiete über die Dauerfeuchte und das Pflanzenwachstum identifizierbar. Das Terranimo Model (aus Dänemark) bietet außerdem die Möglichkeit das Gefährdungsrisiko für Schadverdichtungen zu identifizieren. Die Bodendauerbeobachtungsuntersuchungen könnten durch die Untersuchung der Bodenstruktur ergänzt werden, um auf typischen, repräsentativen Flächen den Zustand u.a. der Krume mit zu erfassen (Joachim Brunotte, Marx, und Lorenz 2016).

ExpertInneneinschätzung: Die ExpertInnen betonten, dass Verdichtung schwierig zu erfassen ist, und auch keine eindeutigen Schwellenwerte bekannt sind, ab wann Verdichtung irreversibel ist.

7.3.8 Extraterritoriale Flächennutzung

Relevanz/ Hintergrund: Die Ambition des SDG Zieles 15.3 ist es, weltweit die Landdegradation zu stoppen und umzukehren. Durch Globalisierung und zunehmendem internationalen Handelsvolumen sind Boden und Land bereits indirekt Handelsgüter. Laut der Studie „Europe's Global Land Demand“ (Lugschitz, Bruckner, und Giljum 2011) hat die EU-27 etwa im Jahr 2004 fast 370 Millionen Hektar virtuelles Land importiert. 60% der Landfläche, die benötigt werden, um die europäische Nachfrage zu decken, liegen damit außerhalb Europas. Durch die indirekten/ virtuellen Landimporte, die sich aus dem deutschen Konsum ergeben und die in der Nettobilanz die hierzulande verfügbaren Acker-, Weide- und Forstflächen übersteigen, stellt sich dabei die Frage, ob und wie Deutschland auch dieser internationalen Verantwortung gerecht werden kann und wie dieser Aspekt gegebenenfalls auch in ein Indikatorensystem zum Monitoring der SDGs eingehen kann. Hier bietet sich ein Indikator zur „extraterritorialen Flächeninanspruchnahme“ an. Ein solcher Indikator wurde unter anderem auch vom RNE in seiner Stellungnahme vom Mai 2015 in Vorbereitung der nationalen Umsetzung der SDGs durch die Nachhaltigkeitsstrategie gefordert (RNE 2015).

Möglicher Indikator/ mögliche Datenquellen: Methodisch kann hierzu auf die Berechnungsmöglichkeiten des ökologischen Rucksacks oder des Flächenfußabdrucks zurückgegriffen werden sowie

die Ergebnisse eines Forschungsprojektes des UBA/ BMUB, das kurz vor dem Abschluss steht und sich mit der Erweiterung des (quantitativen) Flächenfußabdrucks Deutschlands um eine qualitative Dimension der Umweltwirkungen auseinandersetzt²⁷. Die den Berechnungen dieses Projektes zugrunde liegenden Modelle sind multi-regionale Input Output Modelle (GTAP-MRIO) sowie das LANDFLOW Modell von IIASA.

ExpertInneneinschätzung: Ein Indikator zur extraterritorialen Flächennutzung kann ein geeigneter Indikator sein, um auch Deutschlands internationale Verantwortung bei der Umsetzung der SDGs zu spiegeln. Methodisch ist dieser Indikator recht komplex in der Erhebung. Außerdem wäre zu prüfen, inwiefern Mehrfachanrechnungen vorkommen und vermieden werden könnten.

7.3.9 Weitere Indikatoren

Neben den hier vorgeschlagenen Indikatoren sind auch **weitere Indikatoren** denkbar und wurden von einzelnen ExpertInnen vorgeschlagen. Hierzu gehören die Themen Bodenbiodiversität und die Problematik der Fragmentierung/ Zerschneidung von Landschaften:

- ▶ **Bodenbiodiversität:** Bodenlebewesen spielen eine Schlüsselrolle in Ökosystemen und beeinflussen unter anderem die Wasseraufnahmefähigkeit, Durchwurzelbarkeit und vor allem die Humusbildung im Boden wesentlich. Jedoch ist die Datenbasis für diesen Indikator so mangelhaft, dass er nicht als Indikator vorgeschlagen wurde. Die Möglichkeiten und Grenzen Bodenbiodiversität als Indikator abzubilden wurden unter anderem in einem UBA Bericht „Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie“ unter Leitung von Jörg Römke der ECT Ökotoxikologie 2012 zusammengestellt (UBA 2012). Durch die Einführung moderner molekularbiologischer, optoelektronischer und gentechnischer Verfahren wurden in den letzten Jahren jedoch auch Fortschritte bei der Beschreibung des Ökosystems Bodens und seiner Biodiversität erreicht (UBA 2013).
- ▶ **Anteil unzerschnittener verkehrsarmer Räume (UZVR):** Die Zerschneidung von Flächen hat insbesondere Auswirkungen auf die Biodiversität. Als unzerschnittene, verkehrsarme Räume gelten Landschaften, die nicht durch überörtliche Straßen (Autobahnen, Bundes-, Land- und Kreisstraßen) mit mehr als 1.000 Kraftfahrzeugen pro Tag oder Bahnlinien zerschnitten werden, keine größeren Siedlungen aufweisen und größer als 100 km² sind (Baron 2016). Als Indikator für die Bilanzierung degradierter Flächen kann dieser Indikator eine Hilfestellung sein, jedoch durch fehlende Aussagen zur Bodenqualität und –produktivität nur ergänzend genutzt werden. Der Indikator „Zersiedlung der Landschaft“, der hierzu zum Teil diskutiert wird, entspringt ähnlichen Überlegungen.

Impulse für weitere Indikatoren sind auch aus aktuellen Forschungsprojekten zu erwarten. So entwickelt das aktuell laufende Projekt RECARE (Preventing and Remediating degradation of soils in Europe through Land Care) aufbauend auf dem 2008 abgeschlossenen ENVASSO Projekt (ENVironmental AS-sessment of Soil for mOnitoring) neue Indikatoren, u.a. für bislang noch nicht mit Indikatoren hinterlegte Bodengefährdungen. Im Rahmen des Workshops wurde zudem der Indikator „Eigenfestigkeit“ diskutiert.

²⁷ Evaluierung des Ressourcenverbrauchs: Ursachenanalyse und Entwicklung von Indikatoren auf Makro- und Mesoebene – Entwicklung von Landnutzungsindikatoren, Forschungskennzahl 3711 12 102 2

8 Indikatorentwicklung basierend auf Landnutzungsänderungen

Auf dem ersten Projektworkshop im Juli 2016 wurde deutlich, dass es bislang nicht möglich erscheint, aus den einzelnen Teilindikatoren zur Bodenbewertung (wie in Kapitel 7 vorgestellt) einen Schlüsselindikator auszuwählen, der sich für das Monitoring von LDN und die Erfassung von Bodenqualitätsänderungen besonders eignen würde.²⁸ Gleichzeitig äußerten mehrere ExpertInnen, dass ein noch näher zu spezifizierender Indikator zur Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung möglicherweise dazu geeignet wäre, wichtige Aspekte der Bodendegradation in aggregierter Form zusammenzubringen und damit als Messgröße für LDN in Deutschland fungieren könnte.

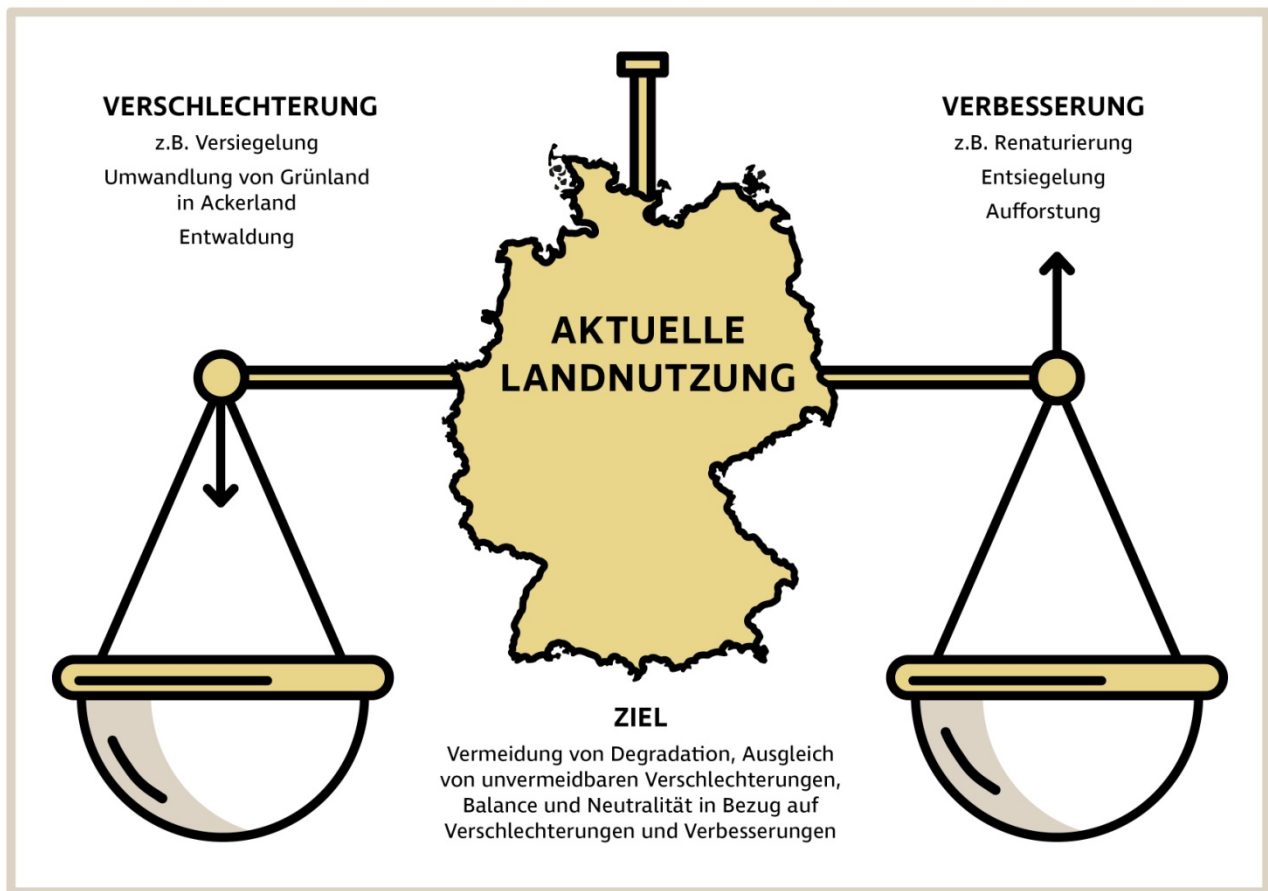
Die reine Beschreibung einer Landnutzung bzw. einer Landnutzungsänderung durch einen Indikator erlaubt zunächst keine Bewertung, wie diese im Kontext einer LDN zu interpretieren ist, da Landnutzungsänderungen sich sowohl positiv (z.B. Renaturierung) als auch negativ (z.B. Grünlandumbruch) auf die Bodenqualität auswirken können. Außerdem lassen sich dadurch nur begrenzt Aussagen über den Ausgangszustand des Bodens und seiner Qualität treffen. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass über Landnutzung und Landnutzungsänderungen grundsätzliche Aussagen zu Bodengefährdungen möglich sind. So können Phänomene wie Versiegelung, Rückgang von Moorflächen, Grünlandumbruch etc. durch solch einen Indikator gut sichtbar gemacht werden. Datenreihen zu Landnutzungsänderungen sind bereits vorhanden (z.B. vom Thünen-Institut und Destatis), so dass – anders als bei vielen anderen Indikatoren zu Bodenqualität, in denen Daten nur lückenhaft vorliegen oder aufwändig über die Messung bodenphysikalischer Eigenschaften erfasst werden müssen – die Messung und das Monitoring eines solchen Indikators zunächst unproblematisch ist.

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, mit einem systematischen Ansatz einen Indikator zur Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung so zu erweitern, dass er für die Umsetzung des LDN Zieles genutzt werden kann. Der Praktikabilität und politischen Anschlussfähigkeit halber, wird so weit wie möglich auf vorhandene Rahmenbedingungen und Ansätze aufgebaut.

Die nachfolgende Abbildung 5 verdeutlicht das Grundprinzip eines solchen Indikators: Verschlechterungen und Verbesserungen in der Landnutzung werden erfasst und gegeneinander aufgewogen. Dadurch können Aussagen getroffen werden, inwiefern sich Verbesserungen und Verschlechterungen ausgleichen und somit eine Landdegradationsneutralität erreicht ist.

²⁸ Siehe <http://ecologic.eu/de/12601>

Abbildung 5: Konzept der Erfassung von Landdegradationsneutralität durch die qualitative Bewertung von Landnutzungsänderungen



Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

8.1 Kategorien der Landnutzung und Landnutzungsänderung

Die Basis für die Bewertung von Landnutzung und Landnutzungsänderungen im Sinne einer LDN muss durch klar definierte Landnutzungskategorien gelegt werden, die sich letztlich hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von Bodengefährdungen unterscheiden lassen. Hierfür gibt es mehrere Anhaltspunkte. Das Statistische Bundesamt (Destatis) geht grundsätzlich von acht Kategorien der Flächennutzung aus. Für deren Anteile an der gesamten Flächennutzung sowie für weitere Unterkategorien werden in ganz Deutschland auf Basis des Liegenschaftskatasters regelmäßig Daten erhoben und beim Statistischen Bundesamt zusammengeführt. Diese Kategorien sind:

- ▶ Gebäude- und Freifläche,
- ▶ Betriebsfläche (darunter auch Abbau-land),
- ▶ Erholungsfläche (darunter auch Grünanlagen),
- ▶ Verkehrsfläche,
- ▶ Landwirtschaftsfläche (hierzu gehören Ackerland, Grünland, Gartenland, Weingarten, Moor, Heide, Obstanbaufläche, landwirtschaftliche Betriebsfläche und Brachland),
- ▶ Waldfläche,
- ▶ Wasserfläche,
- ▶ Fläche anderer Nutzung (v.a. Friedhöfe und „Unland“).

In den statistischen Veröffentlichungen werden Gebäude- und Freifläche, Betriebsfläche (ohne Abbau-land), Erholungsfläche, Verkehrsfläche und Friedhöfe meist in Siedlungs- und Verkehrsflächen zu-

sammengefasst. Im Kontext von LDN ist dabei wichtig zu beachten, dass Siedlungs- und Verkehrsflächen nicht gleichbedeutend mit versiegelten Flächen sind. Vielmehr bestehen diese Kategorien zum Teil aus größeren Anteilen an unversiegelten Flächen (wie Straßenbegleitgrün oder anderen Grünflächen). Bei ökologischen Bewertungen von Landnutzungsänderungen ist es nicht zweckmäßig, alle landwirtschaftlichen Flächennutzungen unter Landwirtschaftsfläche zu subsumieren. Schon allein aufgrund ihrer flächenmäßigen Ausdehnung sollte mindestens zwischen Ackerland, Grünland und Moorböden unterschieden werden. Das Statistische Bundesamt veröffentlicht weitaus differenziertere Daten zur Landwirtschaft, in denen sämtliche Ackerkulturen von Dauerkulturen und Grünland (Wiesen und Weiden) unterschieden werden (siehe DESTATIS 2015).

Die meisten internationalen Arbeiten zu Landnutzung- und Landnutzungsänderungen basieren auf den sechs Landnutzungskategorien des IPCC: forestry, cropland, grassland, wetland, settlement, other land²⁹. Je nach geographischem Kontext und Zielstellung werden diese Kategorien angepasst oder weiter verfeinert. In einem aktuellen Beispiel führen Untenecker u.a. (2017) zusätzliche Sub-Kategorien basierend auf den IPCC Kategorien ein, um Landnutzungsänderungen und Landmanagement über längere Zeiträume in mehreren Bundesländern zu untersuchen.

Auf EU-Ebene sind Landnutzungskategorien im CORINE Land Cover System weiter differenziert. Insgesamt gibt es drei Ebenen. Die erste Ebene teilt in 1. Artificial areas, 2. Agricultural areas, 3. Forests and semi-natural areas und 4. Wetlands ein. Die zweite Ebene ist in Tabelle 5 dargestellt. Die dritte Ebene verfeinert die Abstufung in Ebene 2 noch weiter.

Alle bis hierher aufgeführten Beispiele von Landnutzungskategorisierungen haben gemein, dass sie nicht zwischen der Intensität der Flächennutzung unterscheiden (siehe Tabelle 5). Trotz der starken Ausdifferenzierung der Subkategorien, lässt sich damit nicht erkennen, wie die jeweiligen Flächen bewirtschaftet werden. Dies ist aber für LDN entscheidend, denn die Nutzungsintensität hat einen wesentlichen Einfluss auf die Bodenfunktionen.

²⁹ Laut IPCC Guidelines handelt es sich hierbei um nackten Boden, Felsen, Eisflächen und alle Arten von Land, die nicht zu den anderen Kategorien zählen.

Tabelle 5: Vergleich und Einordnung unterschiedlicher Landnutzungskategorisierungen

IPCC Kategorien	DESTATIS (Grundkategorien)	Sub-Kategorien nach (Untenecker u. a. 2017)	CORINE Land Cover (2. Ebene)
Wald	Waldfläche	Wald	Wald
Ackerfläche	Landwirtschaftsfläche	Acker Gemüseanbau	Ackerland Dauerkulturen Heterogenes Agrarland
Grünland	(Landwirtschaftsfläche)	Grünland Heideland Buschland	Weideland Busch- und Übergangsvegetationen
Feuchtgebiete	Wasserfläche	Niedermoor Hochmoor Wasserkörper	Binnengewässer Küstengebiete
Siedlungsfläche	Gebäude-, Freifläche Betriebsfläche Erholungsfläche Verkehrsfläche	Siedlungsfläche	Urbane Bausubstanz Industrie-, Gewerbe- und Transporteinheiten Minen, Dämme und Baustellen Künstliche Grünflächen
Weitere	Fläche anderer Nutzung	Verlassenes Land Ödland Weitere	Offene Flächen mit wenig oder keiner Vegetation

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

Je nach zugrunde gelegter Kategorisierung lassen sich Landnutzungsänderungen als Übergang von einer Kategorie in eine andere definieren. Eine Landnutzungsänderung kann aber auch innerhalb einer Kategorie vonstattengehen. Bei einer Umstellung von konventioneller auf ökologische Bewirtschaftung etwa behält ein landwirtschaftlicher Betrieb zwar die Landnutzungsform (wie Acker- und/oder Grünlandnutzung) bei, verändert aber Inputfaktoren wie Pestizid- und Düngereinsatz sowie die Bodenbearbeitungspraxis mit entsprechendem Einfluss auf die Bodenqualität.

Für einen systematischen Ansatz von Landnutzungsänderungen muss also zwischen zwei Dimensionen unterschieden werden:

1. Änderungen **zwischen verschiedenen Landnutzungsformen** (z.B. Grünlandumbruch für Ackernutzung oder Versiegelung zuvor landwirtschaftlich genutzter Fläche),
2. Änderungen der Landnutzung **innerhalb einer Landnutzungsform** (z.B. geändertes Grünlandmanagement, Waldmanagement).

Dimension 1 stellt in den meisten Fällen einen stärkeren Eingriff auf die Bodenfunktionen dar, zumindest wenn es sich um bodendegradierende Maßnahmen handelt. Entsprechende Eingriffe werden zeitlich schneller vollzogen und die Wirkungen (z.B. auf den Kohlenstoff- oder Wassergehalt im Boden) sind unmittelbar erfassbar. Anders verhält es sich mit restaurierenden Maßnahmen (wie Aufforstung oder Wiedervernässung), die ebenfalls in die erste Dimensionen fallen, allerdings erst über viel längere Zeiträume ihre Wirkungen (auf die Bodenfunktionen) entfalten. Die Wirkungen von Änderungen

der Dimension 2 (Änderungen innerhalb einer Landnutzungskategorie) werden in der Regel auch erst über längere Zeiträume (also Jahre) sichtbar.

8.2 Bewertung von Effekten der Landnutzung und Landnutzungsänderungen auf die natürlichen Bodenfunktionen

Nachfolgend wird ein Bewertungsansatz konzipiert, der auf den oben ausgeführten Überlegungen zur Kategorisierung von Landnutzungsänderungen beruht. Zusammengefasst beruht er auf den folgenden Prinzipien:

- ▶ Orientierung an Landnutzung und Landnutzungsänderungen,
- ▶ Vermeidung biophysikalischer und damit eher schwer zu messender Bodenindikatoren,
- ▶ Einfache Herangehensweise, Anknüpfung an existierende Rahmenbedingungen und Datenerhebungen,
- ▶ Fokussierung auf den Erhalt natürlicher Bodenfunktionen,
- ▶ Schaffung einer ersten Orientierung für eine (ggf. weiter zu differenzierenden) Bilanzierung von LDN in Deutschland.

Das hier vorgeschlagene Bewertungssystem baut auf die Anwendung des Hemerobieansatzes zur Bewertung von Landnutzung und Landnutzungsänderungen im Rahmen von Life Cycle Assessments (LCA) auf (Fehrenbach u. a. 2015). Auch andere Autoren haben bereits auf die Eignung des Hemerobieansatzes für ein Monitoring der Flächennutzung hingewiesen (siehe z.B. Stein und Walz (2012). Die Hemerobie stellt die Gesamtheit aller Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt dar (Sukopp 1972) und kann damit als ein inverses Maß der Naturnähe verstanden werden. Sie bezieht sich dabei hauptsächlich auf die „Natürlichkeit“ der Vegetation eines Standortes. Fehrenbach et al. gehen noch einen Schritt weiter und geben land- und forstwirtschaftliche Flächennutzungen gemäß ihrer Nutzungsintensität eine numerische Wertigkeit (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Klassifizierung der Hemerobiestufen bei Flächennutzungen

Klasse		Wald- und Forstwirtschaft	Landwirtschaft	Sonstiges
I	Natürlich	-	-	Urwald, unbeeinflusste Fläche, keine Nutzung
II	Naturnah	Naturnaher Wald, keine Durchforstung	-	
III	Bedingt naturnah	Standorttypischer Wald mit mäßiger Durchforstung	Hochdiverse, kleingliedrige Agroforstsysteme ohne Input von synthetischen Stoffen	
IV	Halbnatürlich	Mäßig standorttypischer Wald mit intensiver Durchforstung	Extensivgrünland, Streuobstwiesen, kleinflächige, schonende Landwirtschaft (ggf. Ökolandbau) bei hoher Strukturvielfalt in der Landschaft	
V	Bedingt halbnatürlich	Standortfremde Monokulturen, intensive Bewirtschaftung, stoffliche Eingriffe	Intensivgrünland, mittelgroße Ackerschlaggrößen, keine Hackfrüchte, mäßige Intensität, landschaftliche Strukturelemente vorhanden, Kurzumtriebsplantagen	
VI	Bedingt naturfern	-	Großflächige intensive Agrarkulturen in ausgeräumter Landschaft	Solarfelder, Windparks
VII	Nicht natürlich	-		Versiegelung, Überbauung, Abbauflächen, Halden, Deponien

Quelle: nach Fehrenbach, Grahl, und Busch (2015)

In ihrem Hemerobieansatz wird zwischen sieben Hemerobieklassen von „I natürlich“ bis „VII nicht natürlich“ unterschieden. Die Wertigkeit nimmt von einer Klasse zur anderen jeweils um die Hälfte ab (Von Klasse I auf II von 1 auf 0,5 (Naturfernepotential), von Klasse II auf III von 0,5 auf 0,25 usw.)³⁰.

Der hier vorgeschlagene Bewertungsansatz für LDN sieht vor, sowohl Veränderungen zwischen den Landnutzungskategorien (Dimension 1) aber auch Veränderung innerhalb der Nutzungskategorien (Dimension 2) einzubeziehen. Aus diesem Grund wurden die bestehenden Landnutzungskategorien diversifiziert.

Für die Bewertung der Landnutzungen bzw. Landnutzungsänderungen wird auf die Bewertung der Einstufung der Hemerobieklassen aufgebaut, da davon ausgegangen wird, dass direkte Änderungen der Landnutzungsform mit Veränderungen der Bodenqualität einhergehen und dass bestimmte Land-

³⁰ Der Wert 1 stellt dabei die maximale Naturferne eines Ökosystems dar, der Wert 0 würde bedeuten, dass praktisch kein menschlicher Einfluss auf das Ökosystem stattfindet.

nutzungsformen aus Sicht des Bodenschutzes eher positiv zu bewerten sind und andere negativ (siehe z.B. Azeez 2009; FAO und ITPS 2015b; Mal u. a. 2015; Paulsen u. a. 2013; UBA 2015d).

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass der Grad der menschlichen Beeinflussung (also die Hemerobie) stark mit der Wertigkeit eines Ökosystems für die natürlichen Bodenfunktionen zusammenhängt. Diese Annahme folgt der Einsicht, dass je weniger ein Boden (durch Bearbeitung und Überprägung) gestört wird, desto eher werden die natürlichen Bodenfunktionen erhalten oder können sich neu ausbilden.

Die Wertigkeitsskala in Tabelle 7 bezieht zudem die anzunehmende negative Beeinträchtigung durch Bodengefahren ein. Die Auswahl der Bodengefahren lehnt sich an die identifizierten wesentlichen Bodengefahren in Kapitel 5 an und ist in Bezug auf den Einfluss auf den Bodenwert nicht gewichtet. Die Einordnung dient vielmehr der Transparenz und Nachvollziehbarkeit, bzw. als Diskussionsgrundlage für die Weiterentwicklung der Wertigkeiten für natürliche Bodenfunktionen. Hierbei ist zu betonen, dass auch wenn die dargestellte Bewertung bereits Gegenstand von Absprachen und Expertengesprächen im Rahmen des Projektes war, sie noch immer eines weiteren Diskurses mit BodenwissenschaftlerInnen sowie der politischen Abstimmung bedarf. Sie ist daher explizit als Diskussionsgrundlage zu interpretieren, die weiterer wissenschaftlicher Absicherung bedarf.

Zur Verdeutlichung des Indikatorenkonzeptes und seines Bewertungsschemas seien drei Beispiele herausgegriffen:

Ökolandbau: Gegenüber dem konventionellen Ackerbau ist der ökologische Ackerbau, ebenso wie stillgelegte (konventionelle wie ökologische) Flächen höher gewichtet, da ihre Bewirtschaftungsmethoden in der Regel bessere Auswirkungen in Bezug auf die ökologische Bodenqualität haben. So zeigen Untersuchungen, dass die meisten Ökobetriebe eine positive Humusbilanz aufweisen (Hülsbergen und Rahmann 2015). Zudem halten sie in der Regel eine vielfältigere Fruchtfolge ein als konventionelle Betriebe und verzichten auf den Einsatz (bodenbiodiversitätsschädigender) Pestizide. Zwar gibt es auch Untersuchungen, die biologisch wirtschaftenden Betrieben negative Bilanzen in der Versorgung bestimmter Nährstoffen wie Phosphor, Magnesium und Kalium bescheinigen, allerdings sind diese Größen eher für die Bodenfruchtbarkeit bzw. Ertragsfähigkeit als für die Verhinderung von Bodendegradation im Sinne von LDN relevant (Kolbe 2015).

Versiegelte und unversiegelte Siedlungs- und Verkehrsflächen: Wie weiter oben bereits erwähnt, sind Flächen, die statistisch unter Siedlungs- und Verkehrsflächen erfasst werden, nur etwa zur Hälfte versiegelt. Da die Versiegelung von Flächen mit dem weitgehend vollständigen Verlust der natürlichen Bodenfunktionen einhergeht, sind diese Flächen schlechter zu bewerten als unversiegelte. Dabei kann es sich um Flächen handeln, die in Bebauungsplänen als Siedlungsflächen ausgewiesen, aber bisher nicht bebaut wurden, andererseits bestehen die meisten Siedlungs- und Verkehrsflächen zu einem teilweise erheblichen Anteil aus unversiegelten Bereichen wie Grünanlagen, Brachen oder Randstreifen. Mit einer entsprechenden Aufsplittung der Bewertung (sofern diese politisch genutzt wird und mit Instrumenten unterlegt ist) kann auch ein Anreiz geschaffen werden, entweder ausgewiesene Siedlungsflächen gar nicht erst zu bebauen oder für mehr unversiegelte Flächen innerhalb des Siedlungs- und Straßenbaus zu sorgen. Dies würde nicht nur die Böden entlasten, sondern in vielen Fällen mit einer verstärkten Begrünung einhergehen, die sich vorteilhaft auf Stadtbild und Lebensqualität auswirken könnte.

Photovoltaikflächen: Ebenfalls in der Kategorie „unversiegelte Siedlungs- und Verkehrsfläche“ finden sich Flächen, die durch Freiland-Photovoltaikanlagen genutzt werden. Ähnlich wie die erstgenannten, gibt es eine leichte Überprägung durch technische Infrastrukturen, die wiederum mit Verdichtung und ggf. auch Schadstoffbelastung einhergehen. Durch die ausbleibende Bodenbearbeitung und -verdichtung (etwa im Gegensatz zu einer ackerbaulichen Nutzung) können sich Böden jedoch regenerieren. Die Kohlenstoffspeicherungsfunktion und der Erosionswiderstand werden gestärkt. Bei lang-

fristig angelegten Anlagen kann sich die Bodenbiodiversität verbessern (Aigner u. a. 2009). Damit sind sie im Bewertungssystem besser gestellt als konventionelle Ackerflächen.

Tabelle 7: Bodenwertigkeiten auf Basis von Hemerobiestufen und unter Einbezug der Bodengefährdungen für verschiedene Landnutzungskategorien

Wertigkeit für Boden*	LDN Landnutzungskategorie	Versiegelung*	Erosion*	Humusverlust*	Verdichtung*	Schadstoffbelastung*	Nährstoffüberschuss*
6	Urwald Feuchtgebiete und Moore	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
5,5	Naturnahe Waldbewirtschaftung Laub- und Mischwald	↑↑	↑↑	↑↑	↗	↑↑	↗
5							
4,5	Ökologische (extensive) Grünlandbewirtschaftung	↑↑	↑↑	↑↑	↗	↗	↗
4	Intensive Forstnutzung Nadelwald	↑↑	↗	↗	↗	↗	↗
3,5	Konventionelle (intensive) Grünlandbewirtschaftung	↑↑	↗	↗	↗	↗	⇒
3	Ökologischer Ackerbau und stillgelegte Ackerfläche	↑↑	⇒	⇒	⇒	↗	⇒
2,5							
2	SUV unversiegelt mit Vegetation und PV-Flächen	↗	↗	⇒	↘	⇒	⇒
1,5	Konventioneller Ackerbau	↑↑	↘	↘	↘	⇒	↘
1							
0,5							
0							
-0,5	SUV unversiegelt ohne Vegetation	↗	↓	↓	↘	⇒	⇒
-1							
-1,5							
-2	Abbauland	⇒	↓	↓	↓	↘	⇒
-2,5	SUV versiegelt	↓	↓	↓	↓	↘	⇒
-3	Deponie	↓	↓	↓	↓	↓	↓

*vorläufige, beispielhafte Bewertung, die weiterer wissenschaftlicher Beurteilung bedarf

LEGENDE

↑ Keine negative Beeinträchtigung in Bezug auf die genannte Bodengefährdung	↘ Starke negative Beeinträchtigungen in Bezug auf die genannte Bodengefährdung
↗ Geringe negative Beeinträchtigungen in Bezug auf die genannte Bodengefährdung	↓ Sehr starke negative Beeinträchtigungen in Bezug auf die genannte Bodengefährdung
⇒ Mittlere negative Beeinträchtigungen in Bezug auf die genannte Bodengefährdung	

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

Anders als bei Fehrenbach u.a. (2015) wird innerhalb der Landnutzungskategorien die Wertigkeit für die natürlichen Bodenfunktionen in einer Skala von 0,5 abgestuft und nicht durchgehend halbiert. Dies erlaubt die besser handhabbare und flexiblere Einordnung verschiedener Flächennutzungssysteme gemäß ihrer Wertigkeit für die natürlichen Bodenfunktionen. Demnach erhalten etwa intakte Moore als nahezu unbeeinflusste Ökosysteme eine Wertigkeit von 6. Deponien bilden das Ende der Skala mit einem Wert von -3. Der Farbverlauf zeigt zusätzlich die Naturnähe bzw. Bodenwertigkeit an (grün: hohe Wertigkeit, rot: niedrige Wertigkeit)

Auf Basis der Zuschreibung von Wertigkeiten für bestimmte Landnutzungskategorien lassen sich nun Landnutzungsänderungen im Sinne von LDN bilanzieren. Auf eine konkrete Region (z.B. ein Bundesland) bezogen, würden Landnutzungsänderungen gemäß der Hektare der betreffenden Fläche unterschiedlich hoch zu Buche schlagen, z.B.:

- | | |
|---|----------|
| ▶ (Laub)Wald zu (konventionellem) Acker: | - 4,0/ha |
| ▶ ökologisch bewirtschafteter Acker in extensives Grünland: | + 1,5/ha |
| ▶ Entsiegelung und Begrünung von Siedlungsflächen : | + 4,5/ha |

Ist eine Verschlechterung durch (negative) Landnutzungsänderung unvermeidbar, z.B. durch die notwendige Versiegelung von Ackerflächen beim Neubau von Gebäuden, müsste diese im Sinne einer Netto-Null-Bilanz durch Entsiegelung und anschließender Bepflanzung des entsprechend frei gewordenen Bodens an anderer Stelle kompensiert werden bzw. andere Aufwertungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Einer Änderung in der Landnutzung kann damit immer eine Änderung der Bodenwerte gegenübergestellt werden. Landnutzungsänderungen können in der Summe dementsprechend positiv oder negativ sein. Bleibt die Summe gleich, also verändert sie sich nicht im Vergleich zum Ausgangszustand, ist Landdegradationsneutralität erreicht, auch wenn sich in den einzelnen Landnutzungskategorien Verschiebungen ergeben haben. Ist die Summe positiv, so sind Verbesserungen der Bodenqualität zu verbuchen. Negative Werte zeigen einen Degradationstrend an.

Eine ähnliche Herangehensweise findet in der deutschen Eingriffsregelung nach Bundesnaturschutzgesetz und Baugesetzbuch bereits Anwendung, allerdings unterscheiden sich die Methoden von Bundesland zu Bundesland zum Teil recht stark und der Boden stellt nur ein Schutzgut unter vielen dar und ist somit in der Gesamtbewertung eines Eingriffs oft unterrepräsentiert. Zudem gilt die Eingriffsregelung nur für ausgewählte Projekte und etwa nicht für Änderungen des Bodenmanagement in der Landwirtschaft.

Eine Erweiterung dieses sehr vereinfachten Systems auf ein Punktesystem, das auch die zeitliche Dimension³¹ einer kompensatorischen bodenverbessernden Maßnahme einbezieht, ist denkbar, kann aber an dieser Stelle nicht im Detail entwickelt werden.

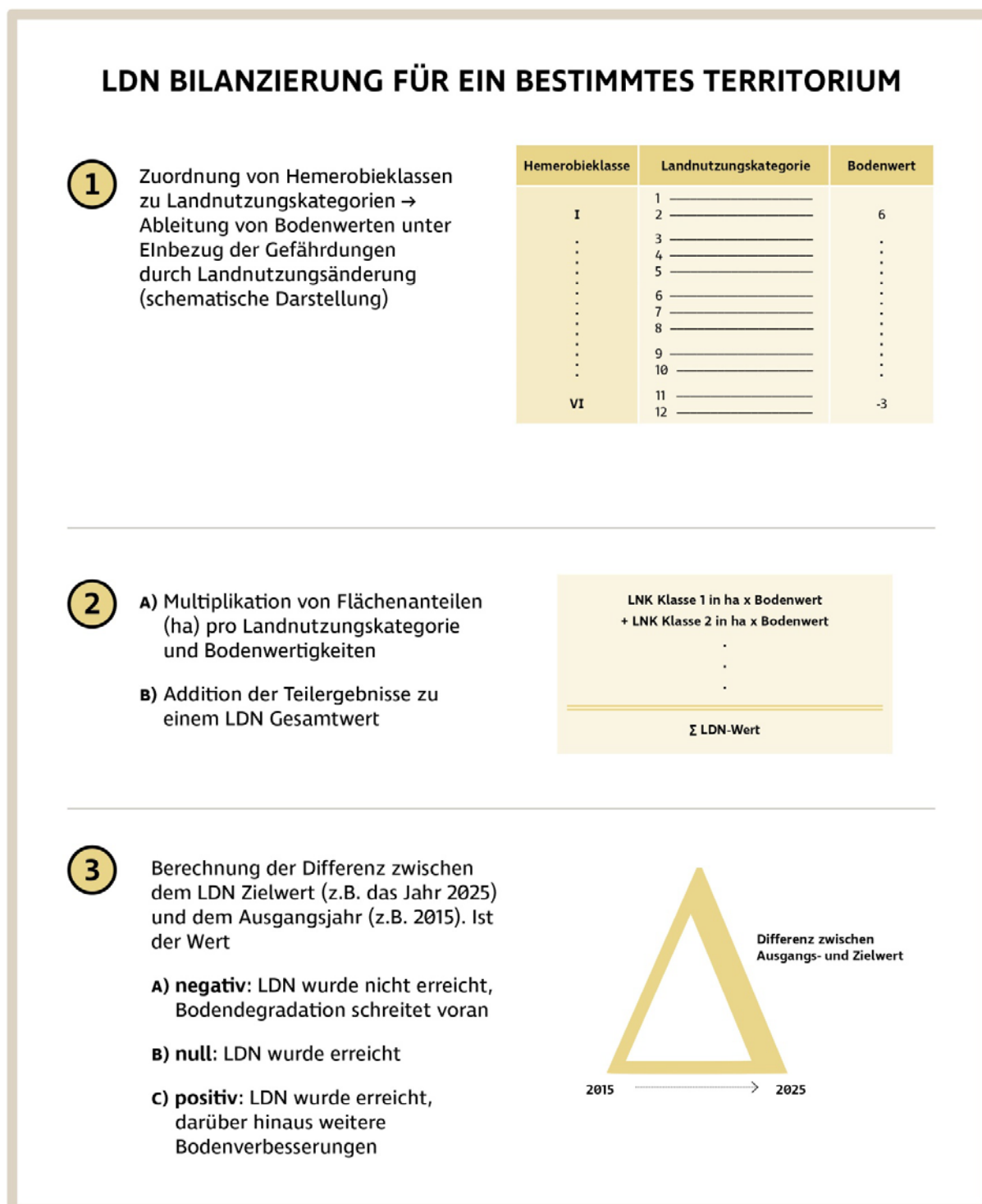
8.3 Beispielrechnung zur Bilanzierung von Landnutzungsänderungen

Die LDN Bilanzierung stellt den Vergleich eines Ausgangszustandes mit dem aktuellen oder dem Zielzustand innerhalb eines bestimmten Territoriums (z.B. Landesfläche oder kleinere Einheiten) dar. Verglichen werden die erfolgten Landnutzungsänderungen in einem bestimmten Zeitraum, die mithilfe von Bodenwertigkeiten in Bezug auf die Auswirkungen auf die natürlichen Bodenfunktionen bilanziert werden können. Im Folgenden werden, ausgehend von einem Referenzzustand, drei Szenarien in

³¹ Zum Teil beinhaltet das dargestellte System auch schon Zeitaspekte, etwa bei der unterschiedlichen Gewichtung von stillgelegten (konventionellen) Ackerflächen und solchen die regulär für die Produktion genutzt werden. Hierbei wurde z.B. davon ausgegangen, dass Beeinträchtigungen durch Bodenverdichtung, Nährstoffzufuhr etc. durch eine z.B. einjährige Stilllegung nicht sofort aufgehoben sind und ergo diese Bodengefahren weiterhin zum Tragen kommen.

einem das Konzept veranschaulichenden Rechenbeispiel mit stark gerundeten Werten vorgestellt (vgl. Abbildung 6 zur Veranschaulichung der konzeptionellen Vorgehensweise der LDN Bilanzierung).

Abbildung 6: Vorgehensweise zur Bilanzierung von LDN



Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

8.3.1 Referenzzustand

Tabelle 8 stellt in ihrer Größenordnung ungefähr die Flächenausmaße und zugrundeliegenden Flächen der Bundesrepublik Deutschland dar. Der Übersicht halber sind die Werte für die Fläche insgesamt

und die jeweiligen Anteile der einzelnen Landnutzungskategorien stark gerundet, so dass es sich um ein vereinfachtes Rechenbeispiel mit nicht realen Werten handelt. Die Nähe zur tatsächlichen Fläche von Deutschland wurde gewählt, um für die Landnutzungsänderungen annähernd realistische Daten und Informationen heranziehen zu können und einen Eindruck darüber zu schaffen, wie die tatsächlichen Werte einer LDN Bilanzierung für Deutschland aussehen könnten. Für die Kategorien Wasser und sonstige Flächen wurden der Einfachheit halber keine Nutzungsänderungen innerhalb des gewählten Zeitraums unterstellt. Der Referenzzustand basiert auf gerundeten Werten der deutschen Flächennutzungsverteilung für das Jahr 2015 (UBA 2016).

Tabelle 8: Ausgangsbasis der Flächenberechnung für Deutschland (vereinfachte Darstellung)

Flächenaufteilung Deutschland (laut UBA 2016)				
	%	km2	ha	ha (gerundet)
Gesamt	100	357.409	35.740.900	36.000.000
Wald	30,6	109.367	10.936.715	11.000.000
Siedlungs- und Verkehrsflächen	13,7	48.965	4.896.503	4.900.000
Landwirtschaftliche Flächen	51,6	184.423	18.442.304	18.600.000
Wasser	2,4	8.578	857.782	900.000
Sonstige	1,7	6.076	607.595	600.000

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

Für weitere Unterkategorien gemäß des in diesem Projekt entwickelten Bewertungskonzeptes (Unterscheidung von konventioneller und ökologischer Landnutzung sowie Anteile versiegelter und unversiegelter Flächen innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsfläche) wurden Annahmen auf Basis weiterer statistischer Informationen sowie aktueller Trends (z.B. zur aktuellen Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche) getroffen (siehe Tabelle 9). Der LDN Flächen-Wert ergibt sich aus dem Produkt zwischen der Hektaranzahl der Flächennutzung und dem jeweiligen Bodenwert. Die Summe aller LDN Flächen-Werte (Kategorie „Gesamt“) bildet den Ausgangswert für die Szenarien.

Tabelle 9: Landnutzungskategorien und Bodenwerte des Referenzszenarios in 2015 (vereinfachte Darstellung)

Referenzzustand (Flächendifferenzierungen gemäß DESTATIS)			
	ha	Bodenwertigkeit	LDN Flächen-Wert
Gesamt	36.000.000		
Wald	11.000.000		
Konventionell	7.000.000	4	28.000.000
Naturnah	4.000.000	5,5	22.000.000
Siedlungs- und Verkehrsfläche	4.900.000		
Versiegelt	3.000.000	-2,5	-7.500.000
Unversiegelt	1.900.000	-0,5	-950.000
Landwirtschaftliche Fläche	18.600.000		
Acker, konventionell	12.100.000	1,5	18.150.000
Acker, ökologisch	900.000	3	2.700.000
Grünland, intensiv	5.200.000	3,5	18.200.000
Grünland, ökologisch	400.000	4,5	1.800.000
Wasser	900.000		0
Sonstige	600.000		0
Gesamt			82.400.000
LDN Bilanz			0

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

8.3.2 BAU (Business-as-usual)-Szenario

Das BAU schreibt aktuelle Trends bis ins Jahr 2025 in vereinfachter Form fort (siehe Tabelle 10). Hierzu gehört neben der täglichen Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche von 65 ha pro Tag auf Kosten von Wald, Acker und Grünland (in gleichen Anteilen, jeweils 80.000 ha pro Jahr) auch eine weitere Intensivierung der Waldnutzung (Verschiebung der Anteile zwischen naturnaher und konventioneller Waldnutzung). Die Fortschreibung der aktuellen Trends wirkt sich negativ auf die LDN-Flächenwerte und damit auf die LDN Bilanz aus. Eine LDN wurde in diesem Szenario dementsprechend nicht erreicht.

Tabelle 10: LDN Bilanzierung 2025 für das „Business as usual“-Szenario (Flächenneuanspruchnahme 65ha/d, Intensivierung)

Basisszenario/ BAU-Szenario 2025			
	ha	Differenz zu Ref. Sz.	LDN Flächen-Wert
Gesamt	36.000.000	0	
Wald	10.920.000	-80.000	
Konventionell	7.440.000	440.000	29.760.000
Naturnah	3.480.000	-520.000	19.140.000
Siedlungs- und Verkehrsfläche	5.140.000	240.000	
Versiegelt	3.200.000	200.000	-8.000.000
Unversiegelt	1.940.000	40.000	-970.000
Landwirtschaftliche Fläche	18.440.000	-160.000	
Acker, konventionell	12.040.000	-60.000	18.060.000
Acker, ökologisch	880.000	-20.000	2.640.000
Grünland, intensiv	5.160.000	-40.000	18.060.000
Grünland, ökologisch	360.000	-40.000	1.620.000
Wasser	900.000	0	0
Sonstige	600.000	0	0
Gesamt			80.310.000
LDN Bilanz			-2.090.000

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

8.3.3 30 ha-Szenario

In diesem in Tabelle 11 dargestellten Szenario wird das in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie verankerte 30 ha-Ziel erreicht (das Ziel selbst bezieht sich auf 30 ha minus X pro Tag), d.h. von 2015 bis 2025 nimmt die Siedlungs- und Verkehrsfläche täglich um 30 ha pro Tag auf Kosten von Wald, Acker und Grünland (in gleichen Anteilen, jeweils 40.000 ha (stark gerundet)) zu. Alle anderen Bedingungen bleiben konstant. Im Ergebnis ist die LDN Bilanz trotz Erreichen des 30 ha-Zieles negativ, wenn auch in Bezug auf die Bodenauswirkungen weniger stark als das BAU-Szenario. Eine LDN kann demnach nur durch Einhalten des 30 ha-Zieles in Deutschland nicht erreicht werden.

Tabelle 11: LDN Bilanzierung 2025 bei Erreichen des 30ha-Zieles (andere Trends konstant)

30 ha Szenario 2025			
	ha	Differenz zu Ref. Sz.	LDN Flächen-Wert
Gesamt	36.000.000	0	
Wald	10.960.000	-40.000	
Konventionell	6.980.000	-20.000	27.920.000
Naturnah	3.980.000	-20.000	21.890.000
Siedlungs- und Verkehrsfläche	5.020.000	120.000	
Versiegelt	3.080.000	80.000	-7.700.000
Unversiegelt	1.940.000	40.000	-970.000
Landwirtschaftliche Fläche	18.520.000	-80.000	
Acker, konventionell	12.080.000	-20.000	18.120.000
Acker, ökologisch	880.000	-20.000	2.640.000
Grünland, intensiv	5.180.000	-20.000	18.130.000
Grünland, ökologisch	380.000	-20.000	1.710.000
Wasser	900.000	0	0
Sonstige	600.000	0	0
Gesamt			81.740.000
LDN Bilanz			-660.000

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

8.3.4 30 ha-Ziel plus Extensivierung-Szenario

Zum Erreichen von LDN sind mehr Anstrengungen nötig, als das Einhalten des 30 ha-Zieles, wie das Szenario in Tabelle 12 zeigt. Hier wird davon ausgegangen, dass das ebenfalls in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie verankerte Ziel, 20% der landwirtschaftlichen Fläche auf Ökolandbau umzustellen, ebenfalls erreicht wurde. Der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Fläche liegt laut der Agrarstrukturerhebung des Statistischen Bundesamtes für 2016 derzeit bei ca. 7 %. Auch der Anteil naturnaher Waldflächen ist gestiegen, der Anteil unversiegelter Flächen innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen hat ebenfalls zugenommen. Insgesamt ergibt sich auf Basis dieser Annahmen eine positive LDN Bilanz, also eine Übererfüllung von LDN. LDN wäre auch dann erreicht, wenn die Gesamtsumme der LDN-Wertigkeiten gegenüber dem Referenzzustand Null ergäbe.

Tabelle 12: 30ha-Ziel plus Extensivierung-Szenario 2025 (Extensivierung Wald, 20 % mehr Ökolandbau)

30 ha-Szenario plus Extensivierung			
	ha	Differenz zu Ref. Sz.	LDN Flächen-Wert
Gesamt	36.000.000	0	
Wald	10.960.000	-40.000	
Konventionell	6.460.000	-540.000	25.840.000
Naturnah	4.500.000	500.000	24.750.000
Siedlungs- und Verkehrsfläche	5.020.000	120.000	
Versiegelt	3.000.000	0	-7.500.000
Unversiegelt	2.020.000	120.000	-1.010.000
Landwirtschaftliche Fläche	18.520.000	-80.000	
Acker, konventionell	11.960.000	-140.000	17.940.000
Acker, ökologisch	1.000.000	100.000	3.000.000
Grünland, intensiv	5.080.000	-120.000	17.780.000
Grünland, ökologisch	480.000	80.000	2.160.000
Wasser	900.000	0	0
Sonstige	600.000	0	0
Gesamt			82.960.000
LDN Bilanz			560.000

Quelle: Eigene Darstellung, Ecologic Institut

8.4 Grenzen des vorgestellten Konzeptes und Weiterentwicklungsbedarf

Die in Tabelle 7 dargestellten Kategorien bedürfen der weiteren Diskussionen und notwendigen Verfeinerungen. Insbesondere die Abstände zwischen den Kategorien in Bezug auf deren Wertigkeit für die natürlichen Bodenfunktionen erfordern tiefer gehende Betrachtungen durch entsprechende ExpertInnen. Als Beispiel sei die fachliche Auseinandersetzung über die Wertigkeit verschiedener Waldnutzungsformen für den Naturschutz genannt. Gerade in Bezug auf Biodiversität in Wäldern, die mit der (natürlichen) Lebensraumfunktion des Bodens im Zusammenhang steht, zeigen aktuelle Untersuchungen, dass nicht genutzte Naturwaldflächen nicht unbedingt eine höhere Artenvielfalt aufweisen als bewirtschaftete Flächen (siehe z.B. Schulze u.a. (2016)). Andere Beispiele umfassen die notwendige Differenzierung von Kies- und Sandabbau gegenüber Kohleabbaugebieten. Auch gilt es zu klären, ob etwa Windparks als eigene Landnutzungskategorie etabliert werden sollten.

Ein weiterer Aspekt ist das Alter eines Ökosystems, also die zeitliche Dimension von Degradation und Regeneration, die sich in dem Ansatz bisher nicht wiederfindet. Für die Qualität des Bodens und für die natürlichen Bodenfunktionen ist das Alter eines Ökosystems (also die Zeit seit der letzten Landnutzungsänderung) allerdings von herausragender Bedeutung. Denkbar wäre, für bestimmte (naturnahe) Ökosysteme wie Wald, Feuchtgebiete und ggf. auch Grünland eine weitere Dimension einzuführen, die die Wertigkeiten aufgrund zeitlicher Parameter weiter ausdifferenziert.

Im urbanen Raum gibt es die Besonderheit, dass Böden von sehr unterschiedlicher Zusammensetzung sein können und damit auch unterschiedliche Wertigkeiten aufweisen. Um dies abzubilden müsste die unversiegelte SUV gemäß ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften weiter ausdifferenziert werden. Auch unterscheidet die Kategorie „versiegelt“ nicht, ob es sich bei Versiegelungen durch Gebäude um unterkellerte Gebäude oder etwa Bauwerke einer Gartenkolonie handelt. In Bezug auf Böden sind unterkellerte Gebäude negativer zu beurteilen.

Die hier vorgestellte Bewertung ist zunächst noch auf keinen konkreten Nutzungskontext ausgerichtet und dient keiner politischen Zielerreichung. Auf Basis des Konzeptes können prinzipiell aber auch planungsrechtliche Vorschriften oder finanzielle Anreize zur Verminderung von Landdegradation entwickelt und umgesetzt werden. Ein mögliches Anwendungsfeld könnte der in einem parallelen UBA-Projekt getestete Flächenzertifikatehandel sein.³² Die Landnutzungskategorien könnten auch für konkrete Zielanteile an der Flächennutzung für Deutschland oder bestimmte Regionen herangezogen werden, mit deren Hilfe stark degradierende Landnutzungsänderungen wie Moorentwässerungen oder Versiegelung von landwirtschaftlicher Fläche verringert werden könnten.

Eine weitere wichtige Anschlussfrage stellt sich hinsichtlich der Datenerhebung. Der hier verfolgte Ansatz orientiert sich an den Kategorien des Statistischen Bundesamtes, die auf der Datenerhebung der Liegenschaftskataster beruhen. Für eine weiter differenzierte LDN Bilanzierung sind allerdings Fernerkundungsmethoden wünschenswert, mit deren Daten auch die Intensität von Landnutzungen erfasst werden können. Beispiele solcher Remote Sensing Techniken und den möglichen Analysemethoden von Landnutzungsänderungen befinden sich z.B. in Lausch u.a. (2016, 2015). Eine Herausforderung bleibt die direkte Interpretation von Bodenveränderungen auf Basis von sichtbarer Vegetation- und Oberflächenveränderungen. Sollte ein LDN-Bewertungssystem ausschließlich oder insbesondere auf Fernerkundungsdaten basieren, dann wäre für seine praktische Umsetzung ein Abgleich bzw. eine Harmonisierung mit den Daten des Statistischen Bundesamtes unabdingbar.

Strategisch spielt auch die Frage der Namensgebung des Indikators eine Rolle: Da „Degradation“ und „Degradationsneutralität“ für die öffentliche Kommunikation und durch die negative Konnotation kaum geeignet sind, bietet sich „nachhaltige Landnutzung“ bzw. „nachhaltige Bodennutzung“ eher an. Die Ergebnisse des Indikators lassen sich ähnlich der aktuell in der Nachhaltigkeitsstrategie verwendeten Symbolik (Erfüllung des Indikators in Form von Wetterzeichen, mit einem „sonnigen“ Symbol für erfüllte Ziele, „Gewitterwolken“ für noch unerfüllte Ziele und entsprechenden Zwischenstufen) kommunizieren, sofern bestimmte „Schwellenwerte“ für die LDN Bilanz (etwa das Erreichen der Neutralität bzw. Null) festgesetzt werden.

Für die Berichterstattung an die UN Ebene, für die laut UN STAT der „Anteil degradierter Flächen an der Gesamtfläche“ erfasst werden soll, muss der Indikator noch modifiziert werden. Dies ist jedoch grundsätzlich möglich, da über die Zuordnung von Bodenwertigkeiten zu Landnutzungsänderungen Verbesserungen und Verschlechterungen erfasst werden können. Alternativ können auch bestimmte Flächen pauschal als „degradiert“ klassifiziert werden (z.B. alle Nutzungen unterhalb von null: das heißt Abbauland, Deponien und versiegelte bzw. unbegrünte Siedlungs- und Verkehrsflächen). Auch diese Informationen können dem hier vorgestellten System entnommen werden – jedoch wäre der letztgenannte Ansatz weniger als Steuerungsansatz für das Erreichen der LDN geeignet, da er wesentlich unspezifischer die bodenrelevanten Landnutzungsänderungen erfasst und damit auch weniger Anreize für ein nachhaltige(re)s Bodenmanagement etwa im Bereich Land- und Forstwirtschaft setzt.

Das hier entwickelte Konzept für einen Indikator ist vor allem für innerdeutsche Landnutzungsänderungen und Bodenauswirkungen anwendbar. Allerdings trägt Deutschland durch seine Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln sowie Konsumprodukten auch in anderen Teilen der Welt zur Landde-

³² <http://www.flaechenhandel.de/>

gradation bei. Deshalb sollte ein LDN Indikator ggf. um einen weiteren Indikator zur „extraterritorialen Landnutzung“ ergänzt werden. Auch im Rahmen der Experteninterviews wurde diese Notwendigkeit häufig benannt (siehe Abbildung 4). Ein Einbezug der internationalen Dimension der Flächendegradation in nationale Politiken wird zudem in den Schlussfolgerungen der Global Soil Week 2017 gefordert (GSW 2017). Als mögliche Indikatoren kommen z.B. der ökologische Fußabdruck oder der Flächenfußabdruck in Frage. Während der Flächenfußabdruck nur Ackerland, Grünland und Waldflächen abdeckt, geht der ökologische Fußabdruck darüber hinaus und bezieht z.B. Flächen für die Energiegewinnung, Siedlung etc. ein. Dieser Indikator würde auch unabhängig von seiner Anwendbarkeit für den Bodenschutz einen komplementären Indikator zur Erfassung des nachhaltigen Konsums³³ in Deutschland darstellen. Erste Ansätze für eine Erfassung des Flächenfußabdrucks leistete das 2017 abgeschlossene UBA/BMUB Forschungsprojekt „Evaluierung des Ressourcenverbrauchs: Ursachenanalyse und Entwicklung von Indikatoren auf Makro- und Mesoebene – Entwicklung von Landnutzungsindikatoren“ (FKZ 3711 12 102 2).

³³ Dieser wird aktuell durch die Indikatoren „Energieverbrauch privater Haushalte“, „Marktanteil von Produkten mit staatlichen Umweltzeichen“ sowie „Anzahl EMAS zertifizierter Unternehmen“ abgebildet.

9 Ausblick: Internationale Impulse der deutschen LDN Umsetzung

Mit der Umsetzung des LDN Zieles und der Verankerung eines entsprechenden Indikators in der Nachhaltigkeitsstrategie kann Deutschland einen wichtigen Schritt zur nationalen Stärkung des Bodenschutzes gehen und auch international Impulse setzen. Bislang sind vorrangig die sog. Entwicklungsländer mit der Erstellung von Zielkonzepten im Rahmen des „Target Setting Program“ des UNCCD Global Mechanism aktiv. Innerhalb der europäischen Union hat nur Italien sich bislang intensiver mit der Umsetzung des LDN Konzeptes befasst. Entsprechend groß sind die Aufmerksamkeit und das Interesse an der deutschen Herangehensweise. Dies zeigte sich u.a. in der Diskussion auf der Global Soil Week 2017 und in einem Workshop in Brüssel im Dezember 2016, bei dem VertreterInnen aus 14 Mitgliedstaaten, vier VertreterInnen der Europäischen Kommission und das Projektteam in den Dialog traten³⁴ aber auch im Vorfeld der Vertragsstaatenkonferenz der UNCCD im September 2017. Die EU Kommission steht mit ihren Plänen zur Umsetzung des LDN Konzeptes noch am Anfang. Im Rahmen der „EU Expert Group on Soil“, die von der Europäischen Kommission organisiert und zweimal jährlich stattfindet, haben dazu bisher nur erste Diskussionen stattgefunden. Auf diesen Treffen wird eine große Bandbreite bodenpolitischer Themen behandelt, wodurch es (bisher) nur bedingt als Austauschplattform für die Entwicklung von LDN Ansätzen dienen konnte. Als eine weitere Möglichkeit zur Fortentwicklung von LDN auf EU Ebene kommt die beim europäischen Rat angesiedelte Working Party on International Environment Issues (WPIEI) in Frage. Nach dem Scheitern der europäischen Bodenrahmenrichtlinie können diese Gremien dafür sorgen, dass über die Dynamik zur Umsetzung des LDN Konzeptes neue bodenpolitische Impulse gesetzt werden können. Der englischsprachige Projektbericht setzt sich mit dieser Fragestellung noch ausführlicher auseinander.

³⁴ Die Dokumentation des Workshops ist auf der Projektwebsite <http://ecologic.eu/de/12601> als Download verfügbar.

10 Referenzen

- Aigner, Hans, Raimund Becher, Josef Beck, Andreas Henze, Andreas Horn, und Ernst Schrimpf. 2009. „Leitfaden zur Zulassung von Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen“. https://www.clearingstelle-eeg.de/files/Leitfaden_Zulassung_Freiflaechenanlagen_fuer_Gemeinden_ABSI.pdf.
- Akhtar-Schuster, Mariam, Lindsay C. Stringer, Alexander Erlewein, Graciela Metternicht, Sara Minelli, Uriel Safriel, und Stefan Sommer. 2017. „Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio conventions“. *Journal of environmental management* 195: 4–15.
- Akhtar-Schuster, Mariam, Lindsay Stringer, Stefan Sommer, Graciela Metternicht, und Uriel Safriel. 2016. Schriftliches Interview mit Dr. Mariam Akhtar-Schuster (DesertNet International, University of Hamburg, Germany); Prof. Dr. Lindsay Stringer (Sustainability Research Institute, School of Earth and Environment, University of Leeds); Dr. Stefan Sommer (JRC IES, Ispra, Italy); Prof. Dr. Graciela Metternicht (School of Biological, Earth and Environmental Sciences, UNSW Australia); Prof. Uriel Safriel (The Hebrew University of Jerusalem, Department of Ecology Evolution and Behavior, Edmond J. Safra Campus, Givat Ram, Jerusalem, Israel) am 29.04.2016.
- Alloway, Brian J. 2013. „Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils“. In *Heavy Metals in Soils*, herausgegeben von Brian J. Alloway, 11–50. Environmental Pollution 22. Springer Netherlands. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-4470-7_2.
- Alva, Ivonne Lobos, Geertrui Louwagie, Andrus Meiner, und Jes Weigelt. 2015. „Proposal for land and soil indicators to monitor the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs)“. EEA, IASS.
- Azeez, Gundula. 2009. „Soil Carbon and Organic Farming - A review of the evidence of the relationship between agriculture and soil carbon sequestration, and how organic farming can contribute to climate change mitigation and adaptation“. Soil Association. <http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=SSnOCMoqRXs%3D&tabid=574>.
- Bachmann, Günther, und R. Andreas Kraemer. 2015. „Global and National Sustainable Development Goals and Expectations of Germany's Institutions and Procedures“. Rat für Nachhaltige Entwicklung. https://www.nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/_migrated/media/20150129_Interim_report_SDG_and_options_for_German_domestic_implementation.pdf.
- Baron, Mechthild. 2016. Telefonisches Gespräch mit Dr. Mechthild Baron (Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU)) am 14.04.2016.
- BGR. 2015. „Bodenatlas Deutschlands“. <https://www.bodenatlas.de/>.
- . 2016. „Bodenatlas Deutschland digital - Webatlas“. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Ressourcenbewertung_und_management_laufend/Bodenatlas_digital/Bodenatlas_digital.html.
- BMUB. 2013. „Dritter Bodenschutzbericht der Bundesregierung - Beschluss des Bundeskabinetts vom 12. Juni 2013“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- . 2016. „Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf.
- BMUB, und BMELV. 2012. „Nitratbericht 2012: Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz“. Bonn. http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Nitratbericht-2012.pdf?__blob=publicationFile.
- Bodenschutzfachstellen der Schweizer Kantone. 2009. „Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen“. http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/phys_boschu/arbeitshilfe_ii.pdf.
- Borg, Erik. 2016. Schriftliches Interview mit Dr. rer. nat. Erik Borg (DLR Earth Observation Centre) am 03.05.2016.
- Braat, Leon, und et al. 2008. „The Cost of Policy Inaction (COPI). The Case of not Meeting the 2010 Biodiversity Target“. Alterra Wageningen University and Research; Institute for European Environmental Policy (IEEP); Ecologic Institute; Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM); GHK; Milieu en Natuurplanbureau; United Nations Environmental Programme - World Conservation Monitoring Centre; Witteveen en Bos, Wageningen / Brussels, commissioned by the European Commission.

- Braun, Joachim von. 2016. Telefonisches Gespräch mit Prof. Dr. Joachim von Braun (Agrarökonom, Direktor, Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF Bonn), Vorsitzender des Bioökonomierates) am 21.03.2016.
- Brunotte, J, M Lorenz, C Sommer, T Harrach, und W Schäfer. 2008. „Verbreitung von Bodenschadverdichtungen in Südniedersachsen“ *Berichte über Landwirtschaft* 86 (2), S. 262-283.
- Brunotte, Joachim, Meinhard List, Thomas Vorderbrügge, Rainer Duttmann, Frank Ellmer, Christoph Emmerling, Bernd Hommel, u. a. 2016. „Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit.“ <http://shop.aid.de/1585/gute-fachliche-praxis-bodenfruchtbarkeit>.
- Brunotte, Joachim, Kirstin Marx, und Marco Lorenz. 2016. Interview mit PD Dr. Joachim Brunotte, Dr. Marco Lorenz, Kirstin Marx (alle Thünen Institut) am 13.6.2016.
- Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung. 2013. „Pro-Kopf-Wohnfläche erreicht mit 45m² neuen Höchstwert. Pressemitteilung Nr. 9/2013“. http://www.bib-demografie.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Download/Grafik_des_Monats/2013_07_pro_kopf_wohnflaeche.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- Bundesregierung. 2012. „Nationale Nachhaltigkeitsstrategie - Fortschrittsbericht 2012.“ Berlin. http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2012-05-21-fortschrittsbericht-2012-barrierefrei.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- . 2016. „Bundestagsdrucksache 18/10910, Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016“. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/109/1810910.pdf>, https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20.
- Capriel, P. 2013. „Trends in Organic Carbon and Nitrogen Contents in Agricultural Soils in Bavaria (South Germany) between 1986 and 2007“. *European Journal of Soil Science* 64 (4): 445–54. doi:10.1111/ejss.12054.
- Caspari, Thomas. 2016. Telefonisches Gespräch mit Thomas Caspari (Soil/agricultural modeller, ISRIC) am 14.04.2016.
- Caspari, Thomas, Godert van Lynden, und Zhanguo Bai. 2015. „Land Degradation Neutrality: An Evaluation of Methods“. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_62_2015_land_degradation_neutrality_0.pdf.
- Copernicus Land Monitoring Services. 2016. „CORINE Land Cover — Copernicus Land Monitoring Services“. Land Section. Zugriffen Mai 19. <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.
- Couwenberg, John, Annett Thiele, Franziska Tanneberger, Jürgen Augustin, Susanne Bärish, Dmitry Dubovik, Nadzeya Liashchynskaya, u. a. 2011. „Assessing Greenhouse Gas Emissions from Peatlands Using Vegetation as a Proxy“. *Hydrobiologia* 674 (1): 67–89. doi:10.1007/s10750-011-0729-x.
- Destatis. 2014. „Wirtschaftsbereiche - Flächennutzung“. *Statistisches Bundesamt (Destatis)*. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Flaechennutzung/Tabellen/Bodenflaeche.html;jsessionid=8A91FA731F6965F18C20259CA417C9BD.cae2>.
- DESTATIS. 2015. „Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen)“. 3.1.2. Fachserie 3. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Deutscher Bundestag. 1985. *Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. Drucksache 10/2977*.
- DG AGRI. 2016. „CAP context indicators“. *European Commission - Agriculture and Rural Development*. http://ec.europa.eu/agriculture/cap-indicators/context/index_en.htm.
- DLR. 2016. „Landüberwachung“. *Copernicus in Deutschland*. Zugriffen Mai 12. <http://www.d-copernicus.de/landueberwachung>.
- Don, Axel. 2016. Telefonisches Gespräch mit Axel Don (Forschungsgruppenleiter Thünen Institut für Agrarklimaschutz und Lehrbeauftragter an der Technischen Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie) am 11.03.2016.
- Duttmann, Rainer, Malte Schwanebeck, Michael Nolde, und Rainer Horn. 2014. „Predicting Soil Compaction Risks Related to Field Traffic during Silage Maize Harvest“. *Soil Science Soc. Amer. J* 78 (2): 408–21.

- ENDA. 2016. „eBIS Bodeninformationssystem. Website des Environmental Data Management Solutions“. https://enda.eu/de/eBIS_Bodeninformationssystem.
- Engelberg, Walter. 2016. Telefonisches Gespräch mit Walter Engelberg (Geograph, GIZ) am 15.04.2016.
- Erpul, Gunay. 2016. Telefonisches Gespräch mit Prof. Dr. Gunay Erpul (Ankara University Soil Science Department, Member, Global Soil Partnership Intergovernmental Technical Panel on Soils (GSP - ITPS), Multidisciplinary Expert Member (MEP), The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES)) am 07.04.2016.
- Europäische Kommission. 2016. „Wasser: Kommission verklagt Deutschland vor dem Gerichtshof der EU wegen Gewässerverunreinigung durch Nitrat“. *European Commission Press Release Database*, April 28. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-1453_de.htm.
- European Topic Centre on Spatial Information and Analysis. 2015. „MAES digital atlas“. *Biodiversity Information System for Europe*. Januar. <http://biodiversity.europa.eu/maes/maes-digital-atlas>.
- Eurostat. 2016. „Land cover/use statistics: overview“. *Eurostat Statistics Explained*. Zugriffen Mai 19. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/overview>.
- Faensen-Thiebes, Andreas. 2016. Telefonisches Gespräch mit Dr. Andreas Faensen-Thiebes (Vorstand BUND (Schatzmeister), BUND Arbeitskreis Boden und Altlasten) am 11.04.2016.
- FAO. 2016. „Land Classification Ontology“. http://www.glc.n.org/ont_1_en.jsp.
- . 2016. „Sustainable Land Management“. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Zugriffen März 22. <http://www.fao.org/3/a-i4593e.pdf>.
- FAO, und ITPS. 2015a. „Status of the World’s Soil Resources: Regional assessment of soil changes in Europe and Eurasia“. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. <http://www.fao.org/3/a-bc600e.pdf>.
- . 2015b. „Status of the World’s Soil Resources (SWSR) – Technical Summary.“ Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- Fehrenbach, Horst, Birgit Grahl, Jürgen Griegrich, und Mirjam Busch. 2015. „Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment“. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20 (11): 1511–27.
- Feldwisch, Norbert, Stefan Balla, und Christian Friedrich. 2006a. „LABO-Projekt 3.05 Endbericht zum Orientierungsrahmen zur zusammenfassenden Bewertung von Bodenfunktionen“. Länderfinanzierungsprogramm „Wasser, Boden und Abfall 2005“. Bergisch Gladbach & Herne: im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).
- . 2006b. „Orientierungsrahmen zur zusammenfassenden Bewertung von Bodenfunktionen“. LABO-Projekt 3.05. Bergisch Gladbach & Herne: Ingenieurbüro Feldwisch. http://www.ingenieurbuero-feldwisch.de/pdf/LABO_B305_Orientierungsrahmen.pdf.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. „FAOSTAT“. http://faostat3.fao.org/browse/F/*/*.
- Fritsche, Uwe, Ulrike Eppler, und Leire Iriarte. 2015. „Global Sustainable Land Use: Concept and Examples for Systemic Indicators. GLOBALANDS Working Paper 3.3“. <http://globalands.ecologic.eu/sites/default/files/IINAS%20282015%29%20GLOBALANDS%20WP%203%203%20Systemic%20Indicators-1.pdf>.
- Generalversammlung der Vereinten Nationen. 2012. „The future we want“. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N11/476/10/PDF/N1147610.pdf?OpenElement>.
- . 2015. „Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Siebzigste Tagung der Generalversammlung; Tagesordnungspunkte 15 und 116 (A/70/L.1)“. <http://www.un.org/depts/german/gv-70/a70-l1.pdf>.
- Glante, Frank. 2016. Telefonisches Gespräch mit Frank Glante (Umweltbundesamt) am 21.03.2016.
- Global Mechanism of the UNCCD. 2016a. „Achieving Land Degradation Neutrality at the country level. Building blocks for LDN target setting“.
- . 2016b. „Scaling up Land Degradation Neutrality Target Setting. From Lessons to Actions: 14 Pilot Countries’ Experiences“.

- Global Soil Partnership. 2016. „Pillar 4: Enhance the quantity and quality of soil data and information: data collection (generation), analysis, validation, reporting, monitoring and integration with other disciplines“. *FAO Global Soil Partnership*. <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/en/>.
- Gnacadja, Luc. 2012. „Moving to Zero-Net Rate of Land Degradation“. <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/secretariat/2012/UNCCD%20ES%20Statement%20at%20PR%20in%20NY%20on%2026%20March%202012.pdf>.
- Goetzke, Dr. Roland, Christian Schlump, Dr. Jana Hoymann, Gisela Beckmann, Dr. Fabian Dosch, und Dr. Roland Goetzke. 2014. „Flächenverbrauch, Flächenpotenziale und Trends 2030“. 07/2014. BBSR-Analysen Kompakt. BBSR. http://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2014/DL_07_2014.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- Groot, Rudolf de, James Blignaut, Sander van der Ploeg, James Aronson, Thomas Elmqvist, und Joshua Farley. 2013. „Benefits of Investing in Ecosystem Restoration“. *Conservation Biology* 27 (6): 1286–1293.
- GSW. 2017. „Global Soil Week: Policy Messages for HLPF 2017“. <http://globalsoilweek.org/>.
- Hartmann, P., A. Zink, H. Fleige, und R. Horn. 2012. „Effect of compaction, tillage and climate change on soil water balance of Arable Luvisols in Northwest Germany“. *Soil and Tillage Research* 124 (August): 211–18. doi:10.1016/j.still.2012.06.004.
- Heißenhuber, Alois. 2016. Telefonisches Gespräch mit Prof. Dr. Alois Heißenhuber (Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, TU München) am 10.03.2016.
- Helming, Katharina. 2016. Telefonisches Gespräch mit Prof. Dr. Katharina Helming (Institut für Landnutzungssysteme, Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)) am 17.03.2016.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. 2012a. „Bodenfunktionsbewertung für die Raum- und Bauleitplanung in Hessen und Rheinland-Pfalz“.
- . 2012b. „Bodenviewer Hessen“. <http://bodenviewer.hessen.de>.
- Horn, R., H. Fleige, F.-H. Richter, E.A. Czyz, A. Dexter, E. Diaz-Pereira, E. Dumitru, u. a. 2005. „SIDASS project: Part 5: Prediction of mechanical strength of arable soils and its effects on physical properties at various map scales“. *Soil and Tillage Research* 82 (1): 47–56. doi:10.1016/j.still.2005.01.007.
- Huber, Sigbert. 2016. Telefonisches Gespräch mit Sigbert Huber (UBA Wien) am 15.04.2016.
- Huber, Sigbert, Gundula Prokop, Dominique Arrouays, Gebhard Banko, Antonio Bispo, Robert J A Jones, Mark Kibblewhite, u. a. 2008. „Environmental Assessment of Soil for Monitoring Volume I: Indicators & Criteria“. EUR - Scientific and Technical Research Reports. OPOCE. JRC47184. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/13567>.
- Hülsbergen, H.-J., und G. Rahmann. 2015. „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben : Forschungsergebnisse 2013-2014“. 29. Thünen Rep. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen Institut.
- IAEG-SDGs. 2016a. „IAEG-SDGs — SDG Indicators“. *Sustainable Development Goals*. <http://unstats.un.org/sdgs/iaeg-sdgs/metadata-compilation/>.
- . 2016b. „Goal 15 Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss“. <http://unstats.un.org/sdgs/files/metadata-compilation/Metadata-Goal-15.pdf>.
- Ibrahim Mirsal. 2008. *Soil Pollution - Origin, Monitoring & Remediation*. Springer. <http://www.springer.com/gp/book/9783540707752>.
- IPBES. 2016. „IPBES Catalogue of Assessments on Biodiversity and Ecosystem Services“. <http://catalog.ipbes.net/>.
- ITPS. 2015. „CAN CARBON (SOC) offset the Climate Change“. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/docs/soc/carbonSOC2.pdf.
- IUCN. 2015. „Land Degradation Neutrality: implications and opportunities for conservation. Nature Based Solutions to Desertification, Land Degradation and Drought. IUCN Draft Technical Brief 08/10/2015“. http://cmsdata.iucn.org/downloads/tech_brief_land_degradation_neutrality.pdf.

- Joint Research Centre. 2016. „EUROPEAN SOIL DATA CENTRE (ESDAC)“. *EUROPEAN SOIL DATA CENTRE (ESDAC)*. Zugriffen Mai 24. <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/>.
- Jörissen, Juliane, und Reinhard Coenen. 2007. *Sparsame und schonende Flächennutzung: Entwicklung und Steuerbarkeit des Flächenverbrauchs*. edition sigma.
- JRC. 2016. „LUCAS: Land Use/Cover Area frame Statistical Survey“. *ESDAC*. Zugriffen Juni 1. <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas>.
- Julie Ingram, und Jane Mills. 2015. „SmartSOIL: Sustainable farm Management Aimed at Reducing Threats to SOILs under climate change“. http://smartsoil.eu/fileadmin/www.smartsoil.eu/WP6/Final_presentation_at_conference/SMARTSOIL_brochure_final_V2.pdf.
- Kasimir-Klemetsson, Å., L. Klemetsson, K. Berglund, P. Martikainen, J. Silvola, und O. Oenema. 1997. „Greenhouse Gas Emissions from Farmed Organic Soils: A Review“. *Soil Use and Management* 13 (Dezember): 245–50. doi:10.1111/j.1475-2743.1997.tb00595.x.
- Kaufmann-Boll, Carolin, Bettina Tischler, und Adelheid Siebigs. 2012. „Bodendaten in Deutschland – Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden“. Aachen: ahu AG Wasser Boden Geomatik im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Kechavarzi, C., Q. Dawson, M. Bartlett, und P. B. Leeds-Harrison. 2010. „The role of soil moisture, temperature and nutrient amendment on CO₂ efflux from agricultural peat soil microcosms“. *Geoderma* 154 (3–4): 203–10. doi:10.1016/j.geoderma.2009.02.018.
- Kluge, B., G. Wessolek, M. Facklam, M. Lorenz, und K. Schwärzel. 2008. „Long-Term Carbon Loss and CO₂-C Release of Drained Peatland Soils in Northeast Germany“. *European Journal of Soil Science* 59 (6): 1076–86. doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01079.x.
- Kolbe, Hartmut. 2015. „Wie ist es um die Bodenfruchtbarkeit im Ökolandbau bestellt: Nährstoffversorgung und Humusstatus?“. http://orgprints.org/29539/1/Bodenfruchtbarkeit_%C3%96ko_BAD-VLK15.pdf.
- König, Wilhelm. 2016. Telefonisches Gespräch mit Prof. Dr. Wilhelm König (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), Ref. IV-4 Bodenschutz, Altlasten, Deponien) am 24.03.2016.
- Lambrecht, H., A. Rohr, K. Kruse, und J. Angersbach. 2003. „Zusammenfassung und Strukturierung relevanter Methoden und Verfahren zur Klassifikation und Bewertung von Bodenfunktionen für Planungs- und Zulassungsverfahren mit dem Ziel der Vergleichbarkeit. Im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO). Endbericht.“ Hannover.
- Lausch, Angela, Thomas Blaschke, Dagmar Haase, Felix Herzog, Ralf-Uwe Syrbe, Lutz Tischendorf, und Ulrich Walz. 2015. „Understanding and quantifying landscape structure—A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics“. *Ecological Modelling* 295: 31–41.
- Lausch, Angela, Stefan Erasmi, Douglas J. King, Paul Magdon, und Marco Heurich. 2016. „Understanding Forest Health with Remote Sensing-Part I—A Review of Spectral Traits, Processes and Remote-Sensing Characteristics“. *Remote Sensing* 8 (12): 1029.
- Lebert, Matthias. 2010. „Entwicklung eines Prüfkonzepthes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden“. UBA-Texte 51/2010. Umweltbundesamt, Dessau/ Roßlau.
- Louwagie, Geertrui. 2016. Telefonisches Gespräch mit Geertrui Louwagie (EEA, Ecosystems assessment group – Natural systems and vulnerability programme) am 05.04.2016.
- Lugschitz, Barbara, Martin Bruckner, und Stefan Giljum. 2011. „Europe’s Global Land Demand - A Study on the Actual Land Embodied in European Imports and Exports of Agricultural and Forestry Products“. Final Report. Vienna: Sustainable Europe Research Institute.
- Mal, Puran, Joachim W. Hesse, Michael Schmitz, und Hendrik Garvert. 2015. „Konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland als Lösungsbeitrag gegen Bodenerosion“. *Journal für Kulturpflanzen* 67 (9): 310–319. doi:DOI: 10.5073/JFK.2015.09.02.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. „Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis“. <http://www.unep.org/maweb/en/Synthesis.aspx>.
- Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*. Bodmin: Blackwell Publishing Ltd.

- NABU, und DVL. 2014. „Stellungnahme des Deutschen Verbandes für Landschaftspflege (DVL) e.V. und des Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. zum Entwurf des Gesetzes zur Durchführung der Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik – Direktzahlungen- Durchführungsgesetz (DirektZahl-DurchfG)“. <https://www.nabu.de/downloads/140211-nabu-stellungnahme-direktzahlungen.pdf>.
- National Geomatics Center of China. 2016. „Background information on the International workshop on Analysis and Application of Global Land Cover Information in April 2016“. <http://www.ngcc.cn/article/en/GLC2016/>.
- Ngo, Hien. 2015a. „IPBES Land Degradation and Restoration Assessment Deliverable 3b“. gehalten auf der UNCCD COP12, Ankara. http://www.unccd.int/en/about-the-convention/the-bodies/The-CST/Documents/CST12-presentations/Item5a_IPBES-LDRA_PPT%20by%20Hien%20Ngo.pdf.
- . 2015b. „IPBES Land Degradation and Restoration Assessment Deliverable 3b“. gehalten auf der UNCCD COP12, Ankara. http://www.unccd.int/en/about-the-convention/the-bodies/The-CST/Documents/CST12-presentations/Item5a_IPBES-LDRA_PPT%20by%20Hien%20Ngo.pdf.
- Niedersächsische Landesregierung. 2016. *Verordnung über erosionsgefährdete landwirtschaftliche Flächen vom 16. Dezember 2016*.
- Nkonya, Ephraim, Alisher Mirzabaev, und Joachim von Braun. 2015. *Economics of Land Degradation and Improvement—A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer International Publishing.
- . 2016. „Economics of land degradation and improvement: an introduction and overview“. In *Economics of land degradation and improvement - a global assessment for sustainable development*.
- Orr, B.J., A.L. Cowie, V.M. Castillo Sanchez, P. Chasek, N.D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, u. a. 2017. „Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface“. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany. ISBN 978-92-95110-42-7 (hard copy), 978-92-95110-41-0 (electronic copy).
- Osterburg, Bernhard, Heike Nitsch, Birgit Laggner, und Wolfgang Roggendorf. 2009. „Auswertung von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems zur Abschätzung von Wirkungen der EU-Agrarreform auf Umwelt und Landschaft“. Bericht für das F+E-Vorhaben „Naturschutzfachliche Bewertung der GAP - Effizienzsteigerung durch Nutzung bestehender Datenbestände“, gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Braunschweig, Thünen Institut für Ländliche Räume. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/dk042975.pdf.
- Panagos, Panos, Cristiano Ballabio, Yusuf Yigini, und Martha B. Dunbar. 2013. „Estimating the soil organic carbon content for European NUTS2 regions based on LUCAS data collection“. *Science of The Total Environment* 442 (Januar): 235–46. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.10.017.
- Paulsen, Dr. Hans Marten, Dr. Herwart Böhm, M. Sc. Jan Moos, M. Sc. Jenny Fischer, Prof. Dr. Stefan Schrader, Dr. Roland Fuß, und Dr. Hans Marten Paulsen. 2013. „Fruchtbarer Boden - Welchen Einfluss die Landnutzung auf den Boden hat“. *Berichte aus der Forschung - Fruchtbarer Boden FoRep* 2/2013.
- Peter, M., R. Miller, G. Kunzmann, und J. Schittenhel. 2009. „Bodenschutz in der Umweltprüfung nach BauGB. – Leitfaden für die Praxis der Bodenschutzbehörden in der Bauleitplanung. LABO-Projekt B 1.06, Länderfinanzierungsprogramm Wasser, Boden und Abfall 2006. Im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO).“
- Ploeg, Riek R. van der, Wilfried Ehlers, und Rainer Horn. 2006. „Schwerlast auf dem Acker“. *Spektrum der Wissenschaft*.
- Prokop, Gundula, Heide Jobstmann, und Arnulf Schönbauer. 2011. „Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects“. European Commission, DG Environment. <http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/sealing/Soil%20sealing%20-%20Final%20Report.pdf>.
- Putten, W. H. van der, S. Mudgal, A. Turbé, A. de Toni, P. Lavelle, P. Benito, und N. Ruiz. 2010. „Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers“. Bio Intelligence Service.
- RNE. 2015. „Deutsche Nachhaltigkeits-Architektur und SDGs: Stellungnahme des Rates für Nachhaltige Entwicklung an Herrn BM Peter Altmaier nach § 1 (2)b RNE-Geschäftsordnung“. Rat für Nachhaltige Entwicklung. https://www.nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/_migrated/media/RNE_Stellungnahme_Deutsche_Nachhaltigkeits-Architektur_und_SDG_26-05-2015.pdf.
- Schrumpf, M., E. D. Schulze, K. Kaiser, und J. Schumacher. 2011. „How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories?“ *Biogeosciences* 8 (5): 1193–1212. doi:10.5194/bg-8-1193-2011.

- Schulte, Rogier Patrick Olaf, Francesca Bampa, Marion Bardy, Cait Coyle, Reamonn Fealy, Ciro Gardi, Bhim Ghaley, u. a. 2015. „Making the most of our land: managing soil functions from local to continental scale“. *Frontiers in Environmental Science* 3. doi:10.3389/fenvs.2015.00081.
- Schulze, Ernst Detlef, Steffen Boch, Shaun R. Levick, und Jens Schumacher. 2016. „Seltene und gefährdete Pflanzen wachsen im Laubwald überall“. *AFZ, der Wald* 13: 35–38.
- Schwilch, Gudrun, Lea Bernet, Luuk Fleskens, Elias Giannakis, Julia Leventon, Teodoro Maraňón, Jane Mills, u. a. 2016. „Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: A proposed framework“. *Ecological Indicators* 67: 586–97. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. 2002. „Umweltatlas Berlin. Bodenfunktionen“. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d11203.htm>.
- Smith, Pete, Daniel Martino, Zucong Cai, Daniel Gwary, Henry Janzen, Pushpam Kumar, Bruce McCarl, u. a. 2008. „Greenhouse gas mitigation in agriculture“. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 363 (1492): 789–813. doi:10.1098/rstb.2007.2184.
- SRU. 2016a. „Impulse für eine integrative Umweltpolitik. SRU-Umweltgutachten 2016“. http://www.umweltrat.de/DE/Publikationen/Umweltgutachten/umweltgutachten_node.html.
- . 2016b. „Umweltgutachten 2016 - Impulse für integrative Umweltpolitik. Kurzfassung“. Berlin: Sachverständigenrat für Umweltfragen.
- Statistisches Bundesamt. 2016. „Flächennutzung: Bodenfläche nach Nutzungsarten“. Destatis. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Flaechennutzung/Tabellen/Bodenflaeche.html;jsessionid=9C7E4BA78E00C9B989895D0BA603BD03.cae1>.
- Stavi, Ilan, und Rattan Lal. 2015. „Achieving Zero Net Land Degradation: Challenges and opportunities“. *Journal of Arid Environments* 112, Part A: 44–51. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016.
- Stein, C., und U. Walz. 2012. „Hemerobie als Indikator für das Flächenmonitoring“. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 44 (9): 261–266.
- Steinmann, Thomas, Gerhard Welp, Andreas Wolf, Britta Holbeck, Thomas Große-Rüschkamp, und Wulf Amelung. 2016. „Repeated Monitoring of Organic Carbon Stocks after Eight Years Reveals Carbon Losses from Intensively Managed Agricultural Soils in Western Germany“. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 179 (3): 355–66. doi:10.1002/jpln.201500503.
- Stolte, Jannes, Mehreteab Tesfai, Lillian Øygarden, Sigrun Kværnø, Jacob Keizer, Frank Verheijen, Panos Panagos, Cristiano Ballabio, und Rudi Hessel. 2016. „Soil threats in Europe“. Joint Research Centre. http://esdac.jrc.ec.europa.eu/public_path/shared_folder/doc_pub/EUR27607.pdf.
- Sukopp, Herbert. 1972. „Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluss des Menschen“. *Ber. Landwirt* 50 (1): 112–139.
- TEEB. 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan. London and Washington: Earthscan.
- Tucker, Graham, Evelyn Underwood, Andrew Farmer, Ricardo Scalera, Ian Dickie, Andrew McConville, und Wilbert van Vliet. 2013. „Estimation of the financing needs to implement Target 2 of the EU Biodiversity Strategy. Report to the European Commission.“ Institute for European Environmental Policy, London.
- Tusch, M., W. Gruban, M. Tulipan, C. Geitner, und S. Huber. 2004. „Bodenschutz in den Städten des Alpenraums – Anforderungen an die Bodenbewertung. – Interner Endbericht zu Arbeitspaket 6 ‚Benutzeranforderungen‘ für das Projekt TUSEC-IP im Rahmen der EU-Gemeinschaftsinitiative Interreg-III-B Alpenraum“. Innsbruck: Institut für Geographie, Universität Innsbruck. http://mp.mountaintrip.eu/uploads/media/workpackagereport/tusecip_wr3.pdf.
- UBA. 2012. „Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie“. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4312.pdf>.
- . 2013. „Der Boden lebt“. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/verlust-der-biodiversitaet-im-boden>.

- . 2015a. „Bodenzustand in Deutschland zum „Internationalen Jahr des Bodens““. Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/bodenzustand_in_deutschland_0.pdf.
- . 2015b. „Umweltbelastende Stoffeinträge aus der Landwirtschaft - Möglichkeiten und Maßnahmen zu ihrer Minderung in der konventionellen Landwirtschaft und im ökologischen Landbau“. Dessau-Roßlau.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umweltbelastende_stoffeintraege_aus_der_landwirtschaft.pdf.
- . 2015c. „Umweltbelastungen der Landwirtschaft - Stickstoff“. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/stickstoff>.
- . 2015d. „Vorsorgeprinzip“. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltrecht/umweltverfassungsrecht/vorsorgeprinzip>.
- . 2015e. „Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss“. Text. *Umweltbundesamt*. Oktober 29.
<http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/naehrstoffeintraege-aus-der-landwirtschaft>.
- . 2016. „Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus Sicht des Bodenschutzes. Teil 3: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands“. Dessau-Roßlau.
- Umlauf, Gunther, Giovanni Bidoglio, Eugen H. Christoph, Josef Kampheus, Frank Krüger, Dietrich Landmann, Ann Johanna Schulz, u. a. 2005. „The Situation of PCDD/Fs and Dioxin-like PCBs after the Flooding of River Elbe and Mulde in 2002“. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 33 (5): 543–54. doi:10.1002/ahch.200400597.
- Umweltbundesamt. 2015. „Nähr- und Schadstoffe“. *Umweltbundesamt*. März 18.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/naehr-schadstoffe>.
- UN General Assembly. 2015. „Transforming our world : the 2030 Agenda for Sustainable Development, 21 October 2015, A/RES/70/1“.
- UNCCD. 2012a. „Land Degradation Neutrality - Frequently Asked Questions (FAQs)“.
<http://www.unccd.int/en/programmes/RioConventions/RioPlus20/Pages/LDNFAQ.aspx>.
- . 2012b. „Zero Net Land Degradation. A sustainable development goal for Rio +20.“ UNCCD Secretariat policy brief.
http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Rio+20/UNCCD_PolicyBrief_ZeroNetLandDegradation.pdf.
- . 2012c. „Zero Net Land Degradation. A sustainable development goal for Rio +20.“ UNCCD Secretariat policy brief.
http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Rio+20/UNCCD_PolicyBrief_ZeroNetLandDegradation.pdf.
- . 2015a. „Land Degradation Neutrality. Resilience at Local, National and Regional Levels“.
http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Land_Degrad_Neutrality_E_Web.pdf.
- . 2015b. „Science-Policy Interface: progress report and work programme 2016–2017“. ICCD/COP(12)/CST/6. Ankara: Conference of the Parties Committee on Science and Technology. <http://www.unccd.int/Lists/OfficialDocuments/cop12/cst6eng.pdf>.
- UNCCD, CBD, FAO, und STAP. 2016a. „Expert meeting on a land degradation indicator (SDG target 15.3)“. Washington DC.
- . 2016b. „Framework and guiding principles for a land degradation indicator to monitor and report on progress towards target 15.3 of the sustainable development goals, the strategic objectives of the rio conventions and other relevant targets and commitments“. UNEP/CBD/SBSTTA/20/INF/60. Montreal, Canada.
- UNCCD Global Mechanism. 2016. „Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme.“ Bonn.
http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/4_2016_LDN_TS%20_ENG.pdf.
- UNCCD SPI. 2015. „Pivotal Soil Carbon“. UNCCD Science-Policy Interface (SPI).
http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/2015_PolicyBrief_SPI_ENG.pdf.
- UNDESA. 2016. „Sustainable Development Goals“. *Sustainable Development Knowledge Platform*.
<https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.
- Untenecker, Johanna, Bärbel Tiemeyer, Annette Freibauer, Andreas Laggner, und Jürg Luterbacher. 2017. „Tracking changes in the land use, management and drainage status of organic soils as indicators of the effectiveness of mitigation strategies for climate change“. *Ecological Indicators* 72 (Januar): 459–72. doi:10.1016/j.ecolind.2016.08.004.

- Van den Akker, J.J.H, J Arvidsson, und R Horn. 2003. „Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union“. *Experiences with the Impact and Prevention of Subsoil Compaction in the European Union* 73 (1–2): 1–8. doi:10.1016/S0167-1987(03)00094-1.
- Verheijen, F.G.A., R.J.A. Jones, R.J. Rickson, und C.J. Smith. 2009. „Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe“. *Earth-Science Reviews* 94 (1–4): 23–38. doi:10.1016/j.earscirev.2009.02.003.
- Vorderbrügge, Thomas, und Joachim Brunotte. 2011. „Teil III: Ausweisung von ‚Risiko Gebieten‘ auf Basis von Pedotransferfunktionen – die aktuelle Situation in Europa“. *Applied agricultural and forestry research* 61 (H. 1): 41–50.
- Weltbank. 2006. „Sustainable Land Management. Challenges, Opportunities, and trade-offs“. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSPContentServer/WDSP/IB/2006/08/02/000160016_20060802125001/Rendered/PDF/366540PAPER0Su11PUBLIC0as0of0July71.pdf.
- Wilhelm, Birgit. 2016. Telefonisches Gespräch mit Birgit Wilhelm (Referentin für nachhaltige Landwirtschaft, WWF Deutschland) am 13.04.2016.
- WOCAT International. 2016. „World Overview of Conservation Approaches and Technologies“. *WOCAT*. <https://www.wocat.net/>.

11 Annex I Interviewte Personen

An dieser Stelle möchten wir uns noch einmal ganz herzlich für die Zeit und Gesprächsbereitschaft im Rahmen der geführten Interviews bei folgenden Experten und Expertinnen bedanken³⁵:

- ▶ Dr. Mariam Akhtar-Schuster, DLR
- ▶ Dr. Mechthild Baron, SRU
- ▶ Andreas Bieber, BMUB
- ▶ Dr. Erik Borg, DLR
- ▶ Wilhelm Breuer, NLWKN
- ▶ Dr. Joachim Brunotte, Thünen Institut
- ▶ Dr. Thomas Caspari, ISRIC
- ▶ Prof. Dr. Ilan Chabay, IASS
- ▶ Dr. Axel Don, Thünen Institut
- ▶ Dr. Peter Dreher, Umweltministerium Baden-Württemberg
- ▶ Dr. Einar Eberhardt, Bundesanst. für Geowissenschaften und Rohstoffe
- ▶ Walter Engelberg, GIZ
- ▶ Dr. Alexander Erlewein, UNCCD
- ▶ Prof. Dr. Gunay Erpul, Ankara University
- ▶ Dr. Andreas Faensen-Thiebes, BUND
- ▶ Horst Fehrenbach, IFEU
- ▶ Jörn Fröhlich, Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
- ▶ Dr. Frank Glante, UBA
- ▶ Dr. Johannes Gnädinger, Professor Schaller UmweltConsult
- ▶ Prof. Dagmar Haase, UFZ, HU Berlin
- ▶ Prof. Dr. Alois Heißenhuber, TU München
- ▶ Prof. Dr. Katharina Helming, ZALF
- ▶ Frank Hönerbach, BMUB
- ▶ Dr. Lothar Hövelmann, Fachzentrum Landwirtschaft der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft
- ▶ Sigbert Huber, UBA Wien
- ▶ Wilhelm König, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW
- ▶ Prof. Dr. Johann Köppel, TU Berlin
- ▶ Dr. Dorit Kuhnt, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig Holstein
- ▶ PD Dr. Angela Lausch, UFZ
- ▶ Dr. Marco Lorenz, Thünen Insitut
- ▶ Geertrui Louwagie, EEA
- ▶ Kirstin Marx, Thünen Institut
- ▶ Prof. Dr. Graciela Metternich, School of Biological, Earth and Environmental Sciences, UNSW Australia
- ▶ Luca Montanarella, European Commission
- ▶ Elisabeth Oechtering, Bundesverband Boden e.V.
- ▶ Gertrude Penn Bressel, UBA
- ▶ Thomas Preuß, DIFU
- ▶ Uriel Safriel, Hebrew University of Jerusalem

³⁵ In alphabetischer Reihenfolge des Nachnamens.

- ▶ Dr. Dietrich Schulz, UBA
- ▶ Prof. Ernst Detlev Schulze, MPI Jena, emer.
- ▶ Dr. Stefan Sommer, JRC IES
- ▶ Dr. Thomas Straßburger, BMUB
- ▶ Prof. Dr. Lindsay Stringer, Sustainability Research Institute, School of Earth and Environment, University of Leeds
- ▶ Dr. Thomas Suttner, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
- ▶ Prof. Dr. Joachim von Braun, Zentrum für Entwicklungsforschung, Uni Bonn
- ▶ Birgit Wilhelm, WWF
- ▶ Patrick Worms, CGIAR

12 Annex II Übersicht der relevanten Boden-Monitoringsysteme für Deutschland

Name des Monitoringsystems	EU/DE/global	Geographische Abdeckung/Auflösung	Messhäufigkeit	Messparameter (bodenrelevante Auswahl) und -methoden	Zuständige Institutionen
Bodendauerbeobachtung	DE	Fast 800 Standorte in ganz Deutschland, Ausnahmen: Bremen und Berlin Räumliche Verteilung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) je nach Bundesland unterschiedlich BDF umfassen Acker, Grünland, Forst, Sonderkulturen und z.T. Siedlungsflächen	Je nach Bundesland unterschiedlich Die meisten wurden zw. 1985-1993 eingerichtet. Von mehrmals täglich bis weniger als einmal alle 15 Jahre	Je nach Bundesland unterschiedlich bodenphysikalische Parameter (z.B. Korngröße, Wassergehalt, Dichte) anorganische und organische bodenchemikalische Parameter (z.B. organischer Kohlenstoffgehalt, pH-Wert, Gesamtstickstoffgehalt, Pestizid- und Schadstoffgehalt) bodenbiologische Parameter (z.B. mikrobielle Biomasse) Bodenwasserparameter (z.B. Bodensickerwasser, Nitrat- und Nitritgehalt) Stoffeintragsparameter (z.B. Schwermetallgehalte; Elementengehalte inkl. N, P, K; organische Spurenstoffe) Erosionsparameter (z.B. Kartierung oder Dauerbeobachtung des Bodenabtrags) Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben), Modellierung	Bundesländer erheben Daten UBA verfügt über zentrale Datensammlung
Bodenzustandserhebung Wald (BZE W I und II)	DE	Ca. 1.900 Stichprobepunkte in ganz Deutschland Punkte liegen auf einem 8x8 km Raster im Wald	1. Aufnahme 1989-1992 (BZE W I) 2. Aufnahme 2006-2008 (BZE W II)	Zwischen BZE W I und BZE W II nicht einheitlich Bodentyp (BZE W I) Bodenphysikalische Parameter (z.B. Korngröße, Dichte) (BZE W II) Organischer Kohlenstoff (BZE W I und II) Elementen- und Schwermetallgehalt inkl. N, P, K (BZE W I und II) Anhand der Daten sind beispielsweise Aussagen zum Kohlenstoffkreislauf, dem Nährstoff- und Wasserhaushalt sowie zu diffusen stofflichen Belastungen im Boden möglich Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben), Fernerkundung	BMEL Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Datenbank: Thünen-Institut

Bodenzustands- erhebung Landwirt- schaft	DE	Ca. 3.200 Probenahme- Standorte in ganz Deutschland Landwirtschaftlich ge- nutzte Flächen (Acker- land, Grünland, Garten- bau und Sonder- kulturen)	1. Probenahme ab 2011, noch nicht ab- geschlossen	Organischer Kohlenstoff Gesamtstickstoff Dichte Bodenart pH Betriebsstruktur und Bewirtschaftung (z.B. Fruchtfol- gen, Düngung) Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben), Fern- erkundung	BMEL Koord.: Thü- nen-Institut
Landwirtschaftliche Dauerversuche	DE	Einzelne Standorte in Deutschland 40 Dauerfeldversuche mit breitem Spektrum an Boden- und Klimabe- dingungen	Seit mind. 30 Jahren Erhebungen unregel- mäßig in Abh. v. Standort und Versuch	Je nach Standort und Versuch unterschiedlich Ertrag Bodennährstoffgehalte Nt-Gehalt Vegetationsentwicklung P-Gehalt Pflanzeninhaltsstoffe K-Gehalt pH-Wert Deckungsgrad Vegetation Klimatische Parameter Methode: je nach Versuch unterschiedlich; Feldunter- suchungen (Bodenproben), Modellierung	keine zentra- le Zuständig- keit
Agrarmeteorologi- sche Daten des Deut- schen Wetterdienstes (DWD) (insbesondere Bodendaten)	DE	Ca. 500 Standorte in ganz Deutschland, na- turräumlich repräsenta- tiv für das Bundesgebiet	Seit mindestens 1961, in manchen Gebieten noch eher tägliche oder stündli- che Datenerhebung	Meteorologische Parameter Bodentemperatur Bodenwasserhaushaltsdaten (z.B. Bodenfeuchte, klima- tische Wasserbilanz) Phänologische Parameter (z.B. Beobachtung von Le- benszyklus von Wild- und Kulturpflanzen) Methoden: Felduntersuchungen, Modellierung	DWD
Umweltprobenbank des Bundes (Proben-	DE	9 systematisch ausge- wählte Standorte	Seit 2002 Wird alle 4 Jahre wie-	Erhobene Parameter umfassen u.a.: Wassergehalt des Bodens	BMUB (Ref- erat N I1)

art Boden)		2 Agrarökosysteme, 2 Forstökosysteme, 2 ballungsraumnahe Ökosysteme 3 naturnahe terrestrische Ökosysteme	derholt	Organischer Kohlenstoffgehalt Korngrößenverteilung pH-Wert Elementengehalt Organochlorverbindungen Polycyclische armoatische Kohlenwasserstoffe Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben, Regenwurmkörperanalyse)	UBA (FG II 1.2)
Untersuchungsprogramm Hintergrunddeposition (Stickstoff und Schwefel)	DE	Flächendeckend im 1 x 1 km-Raster für das gesamte Bundesgebiet	Wiederholt jährlich seit 1990, allerdings keine durchgehend methodisch konsistente Zeitreihe	Stickstoff- und Schwefeldespositionen Trockene Depositionen (über Gase und Partikeln) Nasse Depositionen mit dem Niederschlag Feuchte Depositionen mit Wolken- bzw. Nebeltröpfchen Methoden: Felduntersuchungen, Modellierung	UBA (FG 4.3)
Bodenschätzung	DE	Flächendeckend in ganz Deutschland Parzellenscharf, meist im Maßstab 1:2.000 im amtlichen Liegenschaftskataster	Erstmalig 1936-1952 Nachschätzungen unregelmäßig, wenn Ertragsbedingungen sich geändert haben	Schätzung des Bodenwertes anhand der Ertragsfähigkeit Erhobene Parameter umfassen u.a.: Bodenart (z.B. Körnungsklassen, Verdichtung, Einfluss von Grundwasser) Geologisches Alter Zustandsstufe (z.B. Humusgehalt, Struktur) Bodenzahl (Ertragsstufen) Methoden: Felduntersuchungen, Modellierung (anhand von Daten von Musterprofilen, Bohrpunkten, Grablöchern)	BMF Zuständige Landesbehörden
Feldlysimeter-Untersuchungen	DE	45 Stellen in ganz Deutschland Forstwirtschaftlich und landwirtschaftlich genutzte Flächen, Bergbaufolgelandschaften, Industriebrachen	Je nach Untersuchungsstation unterschiedlich	Ziel: Beobachtung und Erforschung des Bodenwasserhaushalts und Stoffhaushaltes zur Untersuchung der (Schadstoff-) Transporte zwischen Pflanze, Boden und Grundwasser Parameter sind je nach Untersuchungsstation unterschiedlich Bodenfeuchtigkeitsparameter (z.B. Sickerwasser, Boden-	keine zentrale Zuständigkeit

				feuchte, Verdunstung) Chemische Analysen des Sickerwassers (z.B. pH-Wert, N-Gehalt) Meteorologische Parameter (z.B. Niederschlag) Methoden: Felduntersuchungen (Lysimeter)	
Informationssystem Boden- und Grund- wasserschutz/ Atlas- ten INSA Bundesliegen- schaften	DE	Bundesliegenschaften mit 93.647 Untersu- chungs- punkten (Stand: Januar 2010)	Seit 1991 Wiederho- lungen unregelmäßig	500 Stoffgehalte werden gemessen, inkl. Schadstoffe (z.B. Metalle und Schwermetalle, Phosphor, Stickstoff, Kohlenwasserstoffe, etc.) Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben)	Leitstellen der Länder für Boden- und Grund- wasserschutz
Copernicus	DE/EU/ global	Europaweit, manche Daten umfassen auch die globale Ebene Auflösung ist je nach Parameter unterschied- lich	Je nach Parameter unterschiedlich	Kerndienst Landüberwachung: Vegetationsparameter (z.B. Biomasse, Anteil der grü- nen Vegetation, Vegetationsproduktivität) Versiegelung und Versiegelungsänderungen Parameter zur geophysikalischen Zusammensetzung der Oberfläche Bodenfeuchtigkeit Gewässerkörper (räumlicher Umfang und Veränderun- gen) CORINE Land Cover-Daten (siehe unten) Räumliche und saisonale Veränderungen der Landober- fläche Weiterführende Informationen für z.B. Raumplanung, Landwirtschaft und Umwelt, Hydrologie oder Waldnut- zung Methoden: Satellitenbeobachtung	EU: KOM, ESA EUMETSAT EEA, ECMWF D: BKG, UBA

Daten aus der Beantragung von Mitteln aus der EU-Agrardirektzahlungen	DE/EU	Flächen in Deutschland/Europa, für die eine EU-Agrardirektzahlung beantragt wird	Jährliche Beantragung	Um EU-Agrardirektzahlungen zu empfangen müssen Landnutzer detaillierten Daten zu Anbau- und Landmanagementpraktiken an die Zahlungsbehörden (Landesministerien) angeben. Je nachdem, welche Mittel beantragt werden enthalten die Anträge bspw. Daten über: Betriebs- und Feldblockgröße Anbaukulturen Umweltschutzmaßnahmen (z.B. Anbau von Zwischenfrüchten, extensive Grünlandnutzung) Naturschutzmaßnahmen Erosionsschutzmaßnahmen Ökologisch/biologisch bewirtschaftete Fläche Methoden: Angaben werden von Antragstellern ohne Dokumentation der Methodik gemacht	Behörden auf Landesebene ³⁶
Erosionsgefährdungs-Karten (GAP GLÖZ 5)	DE/EU	Alle landwirtschaftlich genutzte Flächen in Deutschland		Parameter, die zur Wind- und Wasser Erosionsgefährdung beitragen: Regenfaktor Bodenerodierbarkeitsfaktor Hangneigung- und Länge Bewirtschaftungsfaktor Methoden: Modellierung (Faktoren werden anhand von meteorologische Daten, der Bodenschätzungskarte, geographische Modellierungsdaten, Bodenproben, und Daten über Anbaupraktiken modelliert)	Behörden auf Landesebene (siehe oben)

³⁶ Übersicht der zuständigen Behörden auf Landesebene http://www.agrar-fischerei-zahlungen.de/agrar_ansprechpartner.html

Wasserqualitätsmonitoring im Rahmen der Nitratrichtlinie	EU/DE	Zwei Messnetze: EU-Nitratmessnetz mit 180 Messstellen in Regionen mit hoher Nitratbelastung EUA-Messnetz mit ca. 800 Messstellen in Deutschland	Seit 1995, jährliche Untersuchung und vierteljährliche Berichterstattung	Daten über Nitratbelastung im Grundwasser, Küstengewässer, Seen und Fließgewässer Stickstoffbilanzen Methoden: Felduntersuchungen, Modellierung	UBA BMUB Landesministerien Bund/Länder - Arbeitsgemeinschaft Wasser
CORINE Land Cover (seit 2012 Teil des Copernicus-Programms)	EU	Europaweit vergleichbarer Datensatz zur Bodenbedeckung Satellitendaten im Maßstab 1:100.000	Erstmals: 1990 Aktualisierungen: 2000, 2006, 2012	Inventur von Bodenbedeckung, Landnutzungsänderungen Flächen sind in 44 Landnutzungsklassen aufgeteilt (davon sind in Deutschland 37 relevant) Methoden: Satellitenbeobachtung	Teil des Copernicus-Programms
LUCAS	EU	Europaweiter, vergleichbarer Datensatz zur Bodennutzung und Bodenbedeckung 273,401 In-Situ Bodenproben, die gleichmäßig in der EU-28 verteilt sind	Seit 2006 alle 3 Jahre	Bodenbedeckung (z.B. Vegetationsanteil) Bodenbenutzung und Bewirtschaftung (z.B. Beweidung, Pflügen) Wassermanagement (z.B. Bewässerungsinfrastruktur, Drainage) Landschafts-Strukturelementen (z.B. Hecken, Zäune, Bäume) Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben, In-Situ-Beobachtungen)	Eurostat
ESDAC (European Soil Data Centre)	EU	Europaweiter, vergleichbarer Datensatz, mehrere Datenbanken Unterschiedliche geographische Auflösung (1km x 1km bis 10km x 10km Raster)	Je nach Datensatz und Parameter unterschiedlich	European Soil Database mit Daten über Bodenprofile Soil Threat Database mit Daten über Bodengefährdungen (z.B. Erosion, organischer Kohlenstoffgehalt, Verdichtung, Bodenbiodiversität) LUCAS-Daten (siehe oben) Methoden: je nach Datensatz unterschiedlich: Felduntersuchungen, Satellitenbeprobung, Modellierung	JRC

GAP-Indikatorenmonitoring	EU	Ganz Europa, räumlicher Maßstab je nach Indikator unterschiedlich	Je nach Indikator unterschiedlich	45 agrarpolitische Umwelt-Indikatoren, u.a.: Biologische Anbaufläche Bewässerte Fläche Bodenbedeckung (anhand der CORINE Land Cover Daten) Intensität der Landwirtschaft Landwirtschaftliche Systeme mit hohem Naturschutzwert Wasserqualität Organischer Kohlenstoff Wassererosion Methoden: Satellitenbeprobung, Modellierung	Europäische Kommission, DG AGRI
ISRIC Bodendatenbanken	Global	ISRIC World Soil Information Service (WoSIS): Bodentypenprofile von 98,000 global verteilten Probepunkten Global Soil Information Facility (GSIF): global verteilte Karten mit Informationen über Bodenprofile und -Eigenschaften	In Entwicklung	ISRIC-Aktivitäten umfassen mehrere globale Bodendatenbanken, u.a. Bodentyp Bodenchemikalische Parameter Bodenphysische Parameter Methoden: Felduntersuchungen (Bodenproben), Satellitenbeprobungen	ISRIC
FAOSTAT	Global	Daten werden auf nationaler Ebene erfasst	Je nach Indikator/Parameter unterschiedlich	Breites Spektrum an Parametern zur Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Landnutzung, u.a.: LULUCF-Treibhausgasemissionen Düngemiteinsatz Erosion (GLASOD Erosionsgrad) Kohlenstoffgehalt im Mutterboden Pestizideinsatz Landwirtschaftlicher Ertrag Durchschnittlicher Nutzviehbestand pro ha landwirtschaftliche Fläche	FAO

				Methoden: je nach Indikator/Parameter unterschiedlich	
IPBES Catalogue of Assessments of Biodiversity and Ecosystem Services	Global	Sammlung von Auswertungen von Ökosystemleistungen und Biodiversität, geographischer Bezug je nach Auswertung unterschiedlich	Einzelne Studien/Auswertungen, je nach Auswertung unterschiedlich	Erfasst werden Informationen über Ökosystemleistungen und deren Wert, genaue Parameter sind je nach Auswertung unterschiedlich Methoden: je nach Auswertung unterschiedlich	IPBES

Quellen: (Kaufmann-Boll, Tischler, und Siebigs 2012; Copernicus Land Monitoring Services 2016; DLR 2016; Eurostat 2016; Niedersächsische Landesregierung 2016; DG AGRI 2016; WOCAT International 2016; Food and Agriculture Organization of the United Nations 2016; IPBES 2016; Umweltbundesamt 2015; BMUB und BMELV 2012; Joint Research Centre 2016)