

**ERGEBNISBERICHT ZUR FACHTAGUNG
„BODENINDIKATOREN IM KONTEXT ZUR KLIMAAANPASSUNG UND ZUM
BODENSCHUTZ“ AM 17./18. APRIL 2024 IM UMWELTBUNDESAMT**

Im Mittelpunkt der zweitägigen Veranstaltung standen die Beantwortung ausgewählter Fragen und der Austausch zu folgenden Themen:

- Erfahrungen aus der Entwicklung bodenbezogener Indikatoren und deren Überführung in die Praxis (Beispiele)
- Wie lassen sich bestehende Lücken bei der Indikatorentwicklung schließen und vorhandene Indikatoren mit weiteren Daten untersetzen? Welche Möglichkeiten eröffnen uns dafür neue Technologien? Der Fokus lag dabei auf den Potenzialen der Fernerkundung und der KI.
- Vertiefter Austausch und Diskussion zu Indikatoren auf nationaler Ebene für die Themen Bodenkohlenstoff, Bodenbiodiversität, Bodenversiegelung und Schadstoffgehalte in Böden.

Erste konzeptionelle Ansatzpunkte für die Diskussion bildeten die im UBA-Auftrag laufenden Forschungsarbeiten zum Thema „Ausbau und Weiterentwicklung bodenbezogener Indikatoren für die nationale und EU-weite Berichterstattung zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz“. In diesem Zusammenhang liegt seit Februar 2024 auch der Bericht [„Übersicht über Indikatoren in der bodenbezogenen Berichterstattung Deutschlands und der EU“](#) als ein erstes Projektergebnis vor.

Der Einladung des UBA folgten über 100 Akteure aus Institutionen, die in Deutschland mit der Berichterstattung zum Thema Boden, mit der Erhebung und Bewertung von bodenbezogenen Messdaten, dem Bodenmonitoring und der Entwicklung von Bodenindikatoren befasst sind. Dazu gehörten Vertreter*innen auf ministerieller Ebene sowie der nachgeordneten Fachbehörden, aus den Bundesländern, Forschungseinrichtungen, Universitäten, Gutachterbüros sowie aus Gremien und Verbänden.

Alle Vortragsfolien und das Tagungsprogramm sind über den folgenden Link abrufbar: [Fachtagung Bodenindikatoren | Umweltbundesamt](#)

Eine umfassende Ergebnisdokumentation zur Tagung wird Ende 2024 als Bestandteil des Abschlussberichts zum oben genannten Forschungsprojekt veröffentlicht. Das hier vorliegende Dokument fasst die wesentlichen Punkte aus UBA-Sicht zusammen.

Resümee der Veranstaltung:

Die Teilnehmenden haben die Vorschläge für bodenbezogene Indikatoren bzw. die Ansätze für deren Umsetzung im Grundsatz begrüßt. Indikatoren und Deskriptoren sind wichtig, um den Bodenzustand und seine Veränderungen mit Blick auf die Bodengesundheit im zeitlichen Kontext beschreiben und bewerten zu können. Meilensteine auf dem Weg zu gesunden Böden können so abgebildet, passende Maßnahmen zur Zielerreichung (weiter-)entwickelt und der Erfolg von Bodenschutzmaßnahmen kontrolliert werden.

Es wurde aber auch deutlich, dass an den methodischen Konzepten zur Indikatorentwicklung weitergearbeitet und die Fachdiskussion auf unterschiedlichen Ebenen mit Akteuren verschiedener Ressorts und Institutionen in Bund, Ländern und international fortgesetzt werden muss. Insgesamt wird eingeschätzt, dass bei den Teilnehmenden

Autor*innen: Jeannette Mathews und Marc Marx auf Grundlage des umfassenden Ergebnisberichts zur Tagung. Dieser wurde von Carolin Kaufmann-Boll, Konstanze Schönthaler, Johanna Oellers, Andreas Toschki, Michael Kastler erstellt und wird im Herbst 2024 als Bestandteil des Abschlussberichts zum oben genannten Forschungsprojekt veröffentlicht.

eine große Bereitschaft und Interesse bestehen, den weiteren Entwicklungsprozess mitzugestalten, den Informationsaustausch zu vertiefen und die Zusammenarbeit zu verstärken.

Wichtige Ergebnisse aus Sicht des UBA in 10 Punkten:

1. ***Vorstellung von Begriffsdefinitionen für die Diskussion auf der Veranstaltung, die als Grundlage für die weitere Facharbeit dienen können.***

Bodenmonitoring ist die regelmäßige und langfristige Überwachung von Böden zur Erfassung von Veränderungen des Bodenzustands bzw. der Bodengesundheit. Bodenmonitoring nutzt In-situ-Erfassungen, Fernerkundungsdaten und Modellierungen. Unter Bodenmonitoring wird hier auch die Erfassung von Gefährdungen der Bodenfunktionen verstanden, wie Schadstoffeinträge oder Versiegelung. Zum Bodenmonitoring gehört es, Daten aufzubereiten, darzustellen und zu veröffentlichen. Das kann z. B. geschehen, indem aus Messdaten vom Bodenmonitoring Indikatoren abgeleitet werden.

Bodenindikatoren aggregieren Daten und stellen komplexe Sachverhalte verständlich dar. Sie beschreiben und bewerten den Zustand und die Entwicklung der Umwelt in Bezug auf das Medium Boden. Sie zeigen Entwicklungen kontinuierlich über lange Zeiträume auf und erleichtern die Kommunikation von Herausforderungen des Bodenschutzes. Als Indikatoren kommen Messparameter, abgeleitete Größen und Parameterbündel in Frage, die auf quantitativen oder qualitativen Informationen beruhen. Gute Indikatoren sind ausreichend sensitiv, um Veränderungen anzuzeigen, sind leicht interpretierbar, können bewertet werden, sind für einen definierten Raum repräsentativ, basieren auf Daten, die längerfristig verfügbar sein werden und sind „nützlich“, d. h. es lassen sich Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen aus ihnen ableiten.

Bodendeskriptoren werden von der Europäischen Kommission im Vorschlag für das Bodenüberwachungsgesetz von 2023 als „Parameter, die ein physikalisches, chemisches oder biologisches Merkmal der Bodengesundheit beschreiben“ definiert. Bodendeskriptoren sollen zur Beschreibung der Boden-degradation festgelegt werden und den Überwachungsrahmen auf EU-Ebene definieren. Sie können gemessen oder geschätzt werden. Für einige Bodendeskriptoren sind im Richtlinien-Vorschlag Kriterien für einen gesunden Bodenzustand formuliert.

2. ***Zustimmung zum UBA-Vorschlag für den Indikator „Regenwurmfauna“ und seiner Verstetigung in der Praxis als einen ersten wichtigen Schritt, um national über die Bodenbiodiversität berichten zu können. Der Ansatz muss jedoch weiterentwickelt und verbessert werden (Standorte, Nutzungstypen, Probenahmen).***

Dazu laufen parallel weitere Aktivitäten wie z. B.:

- die Zusammenarbeit und der Austausch mit dem Nationalen Monitoringzentrum zur Biodiversität, insbesondere dem Fachgremium „Monitoring der Bodenbiodiversität und seiner Funktionen“ sowie
- die Arbeiten vom Thünen-Institut zur Weiterentwicklung und zum Ausbau von Indikatoren für die Bodenbiodiversität.

Das o.g. Fachgremium erarbeitet ein Konzept für ein bundesweites Bodenbiodiversitätsmonitoring. Beim Thünen-Institut für Biodiversität liegen Erfahrungen zum Monitoring des Mikrobioms (Mikroorganismen) aus dem MonViA-Projekt für ein bundesweites Monitoring der biologischen Vielfalt in Agrarlandschaften vor. Weiterhin wird die vom Thünen-Institut für Waldökosysteme koordinierte BZE Wald aktuell um ein systematisches und bundesweit repräsentatives Monitoring zur Erfassung der Biodiversität im Boden (BBZE-Wald) ergänzt. Das zunächst auf 3 ½ Jahre angelegte Projekt umfasst die Entnahme von Bodenproben, die Bestimmung der Makrofauna

(Regenwurmfränge) und Mesofauna (Bestimmung von Collembolen, Hornmilben und Enchyträen) sowie Laboranalysen zur Mikrobiologie.

Darüber hinaus sind die Aktivitäten im Rahmen des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK) bedeutsam. Hier geht es darum, erstmals Methodenstandards zu vereinheitlichen und eine Basiserhebung für verschiedene Landnutzungen durchzuführen.

3. **Positive Bewertung des vorgeschlagenen bundesweiten Versiegelungsindikators auf Basis der Copernicus-Daten.** Der gut dokumentierte und standardisierte Indikator ist für die Berichterstattung im bundesweiten Maßstab sehr gut geeignet.

Zwei fachliche Impulse waren dafür auf der Tagung entscheidend:

- a) Ausführungen des Umweltbundesamtes für einen möglichen Indikator „Bodenversiegelungsgrad“ auf Basis von Copernicus-Satellitendaten,
- b) Ein Impuls vom Statistischen Bundesamt (DESTATIS) über die Integration von Fernerkundungsdaten in die Arbeit vom DESTATIS am Beispiel der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie.

Ergänzend zu Methoden der Flächenerhebung wurden **Fernerkundungsdaten der Copernicus-Satelliten als geeignet für die Erhebung eines Versiegelungs-Indikators** angesehen. An der Reduzierung der Versiegelung besteht großes öffentliches Interesse. Die Anwendung von Fernerkundungsdaten für einen Versiegelungsindikator hat jedoch Grenzen. Beispielsweise ist die Maßstabsebene von großer Bedeutung und für Analysen auf kommunaler Ebene sind die Möglichkeiten stark eingeschränkt, da es im Detail zu Fehlklassifikationen kommen kann.

4. **Erfordernis zur Zusammenarbeit von TI und UBA bei der Entwicklung von Indikatoren zum Bodenkohlenstoff auf nationaler Ebene.** Die vom UBA bzw. TI vorgeschlagenen Indikatoren „Übereinstimmung mit dem standorttypischen Humusgehalt“ und „kontextspezifischer C_{org} -Trend“ stehen in einem engen Zusammenhang. Beide nutzen Humusgehalte als Deskriptor und beziehen sich auf Daten der BZE LW entweder als Referenzzustand oder zur Ableitung eines standortspezifischen Humuserwartungswerts (C_{exp}). Das Konzept des „kontextspezifischen C_{org} -Trends“ ist auf Standorte anwendbar. Für die Darstellung des Indikatorvorschlags „Übereinstimmung mit dem standorttypischen Humusgehalt“ wurde ein Prinzip zur Aggregation von Messstellen vorgeschlagen und dieses in einer Fallstudie für drei Bundesländer mit Daten aus Humusmonitoring und Boden-Dauerbeobachtung getestet.

5. **Verständnis über das weitere gemeinsame Vorgehen bei der Entwicklung eines Indikators zu Schadstoffgehalten.** Abgestimmte Indikatoren auf (inter)nationaler Ebene fehlen bislang. Vom UBA wurden vorliegende Ideen, Überlegungen und Konzepte im Zusammenhang mit Indikatoren für Schadstoffgehalte skizziert. Der Rahmen ergibt sich z. B. aus der DAS, dem BBodSchG, dem Klimaanpassungsgesetz und dem EU-Vorschlag für eine Richtlinie zur Bodenüberwachung und -resilienz. Als wichtig für weiterführende Diskussionen zu Fragen der Indikatorentwicklung wurde erachtet, ein gemeinsames Verständnis über den Indikator-Begriff und über zu messende Stoffe herzustellen, die verschiedenen Anforderungen zu kennen und eine Konsistenz zwischen nationalen und europäischen Indikatoren anzustreben.

Autor*innen: Jeannette Mathews und Marc Marx auf Grundlage des umfassenden Ergebnisberichts zur Tagung. Dieser wurde von Carolin Kaufmann-Boll, Konstanze Schönthaler, Johanna Oellers, Andreas Toschki, Michael Kastler erstellt und wird im Herbst 2024 als Bestandteil des Abschlussberichts zum oben genannten Forschungsprojekt veröffentlicht.

6. **Die Fernerkundung kann einen Beitrag bei Beantwortung bodenkundlicher Fragestellungen leisten.** Die Daten und Dienste des Copernicus Erdbeobachtungsprogramm sind frei zugänglich. Eine flächenhafte Erfassung von Bodenparametern zur Unterstützung klassischer terrestrischer Verfahren bietet sich vor allem für datenarme Gebiete an. Vorteile sind die hohe zeitliche Auflösung sowie die Möglichkeit, nachträgliche Datenauswertungen vorzunehmen. Indirekte Aussagen sind möglich, z. B. über C_{org} und Textur zu Nährstoffspeicherung und -verlust, Wasserspeichervermögen, Schadstoffrückhalt, Bodenverdichtung und Erosionsanfälligkeit. Methodische Einschränkungen bestehen vor allem darin, dass die Messung auf unbedeckte Böden limitiert und die Auflösung in der Fläche gering ist.
7. **KI kann helfen, Datenlücken bei der Entwicklung bodenbezogener Indikatoren zu schließen.** Für das Schließen der Lücken kommen unter anderem Methoden wie data dropping (Löschen) und single imputation (mit anderem Wert durch u.a. Mittelwertbildung, Regression oder Entscheidungsbaum) in Frage. Imputationen sind jedoch limitiert und schaffen es nicht, messtechnisch bedingt fehlende Werte zu ersetzen. Um räumliche Datenlücken zu füllen, sind Methoden der räumlichen Interpolation wie Inverse distance weight geeignet. Für das Erkennen eines „gesunden Bodens“ kommen Methoden des supervised learning in Frage, wobei zunächst die „Wahrheit“, d. h. der „gesunde Bodenzustand“ zu definieren ist. Insbesondere bei zeitlich hoch aufgelösten Daten wird ein Potenzial der vorgestellten Methoden gesehen. Eine Plausibilisierung anhand gemessener Daten ist immer notwendig.
Relevante Veröffentlichungen (Hinweise aus der Tagung): Arbeiten von Prof. Mareike Ließ (Hochschule Weihenstephan-Triesdorf) zur Auswertung von BZE-Daten mit Maschinellem Lernen¹ sowie Arbeiten der Universität Tübingen zur Bodenkartierung mit Anwendung von KI-Methoden.
8. **Das Vorgehen beim Monitoring (Messung) und bei Datenauswertungen zur Generierung bodenbezogener Indikatoren muss länderübergreifend stärker harmonisiert und systematisiert werden.** Nur dann wird eine nationale Berichterstattung mit vertrauenswürdigen Indikatoren auf Basis der bereits langfristig in Deutschland betriebenen Bodenmonitoringprogramme möglich sein.
9. **Konsens zwischen dem UBA und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) in der Schweiz zum weiteren Austausch und zur Zusammenarbeit bei der Ausgestaltung des Bodenmonitorings.** In der Schweiz wird momentan die Nationale Bodenbeobachtung (NABO) im Hinblick auf Indikatoren neu ausgerichtet. Zu der 1985 begonnenen und ursprünglich auf Schwermetallbelastungen, Nährstoffe und Versauerung ausgerichteten Beobachtung mit 117 Standorten kommen Erweiterungen hinzu. Diese

¹ Ließ, M. (2022). [Modeling the Agricultural Soil Landscape of Germany—A Data Science Approach Involving Spatially Allocated Functional Soil Process Units](#). Agriculture, 12(11), 1784.

Ließ, M. (2022). [3D soil parameter space of the agricultural landscape](#) [Germany, Version 2], Dataset, BonaRes Repository, DOI: 10.20387/bonares-13qm-mw25Copy

betreffen Pflanzenschutzmittel (PSM) und „neue“ Schadstoffe (PFAS, Mikroplastik, Screenings), die Themen Verdichtung, Erosion und Bodenbiologie sowie ggf. neue Standorte auf organischen Böden und ein Monitoring von Klimaschutzmaßnahmen im Hinblick auf Humus. Ein Monitoringkonzept für Bodenversiegelung wird erarbeitet. Mit Blick auf die Aktivitäten in Deutschland zum Aufbau eines nationalen Bodenmonitoringzentrums gibt es viele gemeinsame Herausforderungen und Anknüpfungspunkte für die Facharbeit.

10. **Ein verstärktes Engagement ist nötig, um dem Fachkräftemangel zu begegnen.** Fehlende Expertisen können Projekte zum Scheitern bringen. Deutschland verliert in vielen Bereichen Expertise, die momentan noch vorhanden ist (Bsp. Kenntnisse der Taxonomie verschiedener Bodentiergruppen in der Bodenbiologie). Strategien und praxistaugliche Konzepte sind erforderlich, um diese langfristig zu behalten bzw. wieder aufzubauen.

Die Tagungsergebnisse fließen in die weitere Facharbeit des UBA ein und geben wichtige Impulse für die Weiterentwicklung von bodenbezogenen Indikatoren. Die nationale Berichterstattung für das Medium Boden kann damit um bisher fehlende Inhalte ergänzt und maßgeblich bereichert werden.