



Eckpunktepapier zur Weiterentwicklung des bundesweiten Bodenbiodiversitätsmonitorings durch das Fachgremium „Monitoring der Bodenbiodiversität und -funktionen“

Leipzig, 26.09.2022

Einführung

Das Eckpunktepapier wurde dem Grundsatzfachgremium zum 03.06.2022 erstmalig vorgelegt und in dessen 3.Sitzung am 21.06.2022 diskutiert sowie im Nachgang mit einer Frist von 3,5 Wochen kommentiert. Am 26.09.2022 erfolgte die Wiedervorlage zur Kenntnisnahme beim Grundsatzfachgremium im Umlaufverfahren.

Die Fachgremienmitglieder sind Dr. Anneke Beylich, Prof. Dr. Dr. François Buscot, Prof. Dr. Nico Eisenhauer, Dr. Bernd Hommel, Dr. Heinrich Höper, Dr. Frank Glante, Dr. Erik Grüneberg, Dr. Moritz Nabel, Dr. Heike Puhmann, Prof. Dr. Martina Roß-Nickoll, Dr. Jörg Römbke, Dr. David Russell, Prof. Dr. Stefan Scheu, Prof. Dr. Christoph Tebbe, Dr. Andreas Toschki, Dr. Lina Weiß, Roswitha Walter, Dr. Christina Weißbecker

Das Nationale Monitoringzentrum zur Biodiversität (NMZB), das am 26.03.2021 eröffnet wurde, arbeitet an der Weiterentwicklung des bundesweiten Biodiversitätsmonitorings und wird hierfür zum Ende der Aufbauphase im Sommer 2023 ein Gesamtkonzept anfertigen. Hierbei wurde die Bodenbiodiversität als ein Schwerpunktthema identifiziert und für die unterstützende Bearbeitung die Einrichtung des Fachgremiums „Monitoring der Bodenbiodiversität und -funktionen“ beschlossen, das am 29.09.2021 zur konstituierenden Sitzung zusammen trat. Das Fachgremium ist ein zeitlich befristetes Gremium und wird mindestens bis zur Fertigstellung des Gesamtkonzepts bestehen, möglicherweise auch darüber hinaus bspw. zur weiteren Begleitung von initiierten Projekten. Das Fachgremium wird grundlegende fachliche Inhalte und Empfehlungen für eine kurz- bis mittelfristige Umsetzung von bundesweiten Modulen im Bodenmonitoring unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Monitoringprogramme und Synergiepotenziale geben und die Grundlagen zur weiteren umfassenden Konzeptionierung bereitstellen. Dies wird in einem Abschlussbericht, dem Basiskonzept dokumentiert. Dieses Eckpunktepapier legt die aktuellen Hintergründe zur 1) Bedeutung der Bodenbiodiversität, Gefährdung und Handlungserfordernisse, den 2) Status Quo der Erfassung der Bodenbiodiversität, und 3) die Aufgaben und Ziele des Fachgremiums „Monitoring der Bodenbiodiversität und -funktionen“ dar.

1 Bedeutung der Bodenbiodiversität, Gefährdung und Handlungserfordernisse

Böden sichern die menschliche Ernährungsgrundlage, regulieren über ihre Kohlenstoffspeicherung das Klima, reinigen Wasser, ermöglichen Stoffkreisläufe und sind Lebensraum für eine Vielzahl von Organismen. Zur Bodenentwicklung tragen sowohl Verwitterung als auch Bodenorganismen bei. Die Verwitterung der verschiedenen Ausgangsgesteine führt zu deren Zerkleinerung und die Bodenorganismen leisten über Prozesse wie Verklebung und Humusbildung die Bildung eines stabilen funktionalen und nährstoffhaltigen Gefüges. Die Bildung von wenigen Zentimetern fruchtbaren Bodens benötigt mehrere Jahrhunderte [1]. Ein Verlust der Bodenbiodiversität bedeutet gleichsam eine Reduzierung oder gar den Verlust der Bodenbildung. Ebenso wird die Funktionalität der Böden größtenteils über die Aktivität der Bodenorganismen realisiert. Eine vielfältige Bodengemeinschaft bringt eine Vielzahl von Ökosystemleistungen hervor, darunter z. B. die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit, die natürliche Schädlingsregulation, die Pufferfunktion gegenüber Klimateinwirkung und Schadstoffeinträgen und die CO₂-Fixierung in Böden. Durch intensive Nutzung, zunehmende Flächenversiegelung, Nutzungskonversionen, Schadstoffeinträge sowie durch den Klimawandel bedingte Veränderungen sind Böden heute im Wandel und hinsichtlich ihrer strukturellen und chemisch-physikalischen Qualität sowie Funktionen stark gefährdet. Infolge dessen gehen in gestörten Böden zunehmend Lebensräume für Bodenorganismen verloren. Somit stellt die Bodenbiodiversität ein Querschnittsthema im Bereich des Umwelt- und Naturschutzes, der Land- und Forstwirtschaft, aber auch im Bereich der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung dar.

Der Verlust der Biodiversität im Boden ist auf internationaler [2], europäischer [3] und nationaler Ebene [4] dokumentiert. Die Bodenbiodiversität steht aufgrund ihrer Bedeutung mit den internationalen Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDGs) in enger Verbindung (kein Hunger (SDG 2), Luftqualität (SDG 3,13), Wasserqualität (SDG 6,14), Erneuerbare Energie (SDG 7), Maßnahmen zum Klimaschutz (SDG 13), Leben an Land (SDG 15) ([2]). Die Vielfalt und die Entwicklung der Bodengemeinschaften sind bisher nur unzureichend durch nationale Gesetze geschützt [4]. Bisher etablierte Naturschutzmaßnahmen zielen auf den Erhalt der oberirdischen Artenvielfalt ab [5]. Auf europäischer Ebene wurde Ende 2021 die Europäische Bodenstrategie 2030 veröffentlicht, die unter anderem den Schutz und die Förderung der Bodenbiodiversität beinhaltet [6] und dazu für 2023 ein Bodengesundheitsgesetz ankündigt [7]. Im Koalitionsvertrag 2021-2025 ist der Aufbau eines nationalen Bodenmonitoringzentrums vorgesehen sowie die Abänderung des Bundesbodenschutzgesetzes zur besseren Abbildung der Bedeutung der Bodenbiodiversität.

Ein bundesweites, standardisiertes Monitoring von Bodenorganismen und Bodenfunktionen soll den Zustand und Veränderungen der Bodenbiodiversität und deren Dynamik dokumentieren. Die Daten sollen die Grundlage dafür liefern, Ursachen der Veränderungen zu erforschen, Maßnahmen zur Erhaltung biodiversitätsbedingter Bodenfunktionen und -leistungen abzuleiten und deren Erfolg zu überprüfen. Hierzu sollen für die jeweiligen Ökosystemfunktionen relevante Indikatorgruppen erarbeitet werden.

Beim Aufbau eines bundesweiten Bodenbiodiversitätsmonitorings könnten mögliche Synergien mit bestehenden Monitoringprogrammen genutzt werden. Ebenso ist es möglich, klassische Methoden-Ansätze mit neuen bzw. noch zu entwickelnden Methoden zu kombinieren. Potenzielle Schnittpunkte existieren z. B. mit dem derzeit im Aufbau befindlichen bundesweiten Insektenmonitoring hinsichtlich bodenlebender Arthropoden. Bereits existierende, aber bundesweit noch zu etablierende Methoden (z. B. DNA-Metabarcoding) stellen vielversprechende Ansätze dar, deren

Nutzen für die Bewertung von ökologischen und naturschutzfachlichen Qualitäten allerdings erst noch zu validieren ist.

2 Status Quo der Erfassung der Bodenbiodiversität

2.1 Fortlaufende Erfassungsprogramme von Bundes- und Landesbehörden

Bundesweit sind folgende fortlaufende Erfassungsprogramme von Bundes- und Landesbehörden mit dem Thema Bodenzustand befasst:

Die **Bodendauerbeobachtung (Bundesländer, UBA)** mit ca. 800 Stichprobenflächen fokussiert auf eine Vielzahl chemischer und physikalischer Parameter. Einige Bundesländer erheben zusätzlich bodenbiologische Parameter, wie zum Beispiel Regenwürmer, Kleinringelwürmer oder die mikrobielle Biomasse. Es werden nur wenige taxonomische Gruppen untersucht und diese nicht bundesweit. Diese Erfassungen variieren stark hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung sowie der methodischen Durchführung. Eine länderübergreifende Vereinheitlichung der Methoden und zu erfassenden Parameter, auch hinsichtlich der Bodenbiologie, wäre wünschenswert, da sich hierdurch die Möglichkeit zur Integration bereits vorhandener Probeflächen in die Kulisse eines Monitorings zur Bodenbiodiversität bietet [8].

Aufbauend auf diesen Flächen der Bodendauerbeobachtung wird vom Umweltbundesamt derzeit die Etablierung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds mit den vier Schwerpunktthemen organische Substanz, Bodenbiologie, Bodenwasserhaushalt und Erosion angestrebt [9, 10]. Hierfür wurden aus den Bundesländern und zahlreichen Institutionen 9.000 potentielle Standorte gemeldet. Dazu gehören auch die weiter unten angeführten Programme (z. B. BZE). Aus dem Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt geht hervor, dass für die Bodenbiologie in Deutschland derzeit noch keine bundesweiten Aussagen anhand vorliegender Daten möglich sind. Die Vereinheitlichung der Methoden und Durchführung von Forschungsvorhaben zur Vergleichsanalyse verschiedener Methoden ist vorgesehen.

Die **Bodenzustandserhebungen Wald** (BMEL, Thünen Institut; ca. 1.900 Probenflächen) und **Landwirtschaft** (BMEL, Thünen Institut; ca. 3.100 Probenflächen) umfassen regelmäßige Erhebungen von Bodenzustandsgrößen/-indikatoren. Bisher werden keine Bodenorganismen erfasst. Aktuell laufen jedoch Initiativen, die die Lücke zum Monitoring der Biodiversität schließen sollen (s. u. „Übersicht in Entwicklung befindlicher Erfassungsprogramme zur Bodenbiodiversität“).

Die **Umweltprobenbank** (BMU, UBA) ist ein Archiv, in dem u. a. Bodenproben von 11 verschiedenen Standorten eingelagert werden [11]. Diese können für spätere Auswertungen, z. B. Analysen der darin enthaltenen Organismen, genutzt werden.

Des Weiteren untersuchen **wissenschaftliche Forschungsplattformen** den Zustand der Bodenorganismen. So sind zum Beispiel in Deutschland 205 sogenannte **Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche (DFV)** etabliert, die spezifisch zur Beantwortung verschiedener Fragestellungen betrieben werden [8]. Neben physikalisch-chemischen Parametern werden auch biologische Daten zur mikrobiellen Biomasse und Diversität, Enzymaktivität, pflanzenpathogenen Fadenwürmern und Regenwürmern aufgenommen. Da es sich bei den DVF um experimentelle Feldversuche handelt, bilden mögliche Veränderungen in der Bodenbiodiversität nicht das Geschehen in der Gesamtlandschaft ab. Seit 2006 werden auch innerhalb der **Biodiversitätsexploratorien** Daten zu Bodenorganismen und deren Funktionen erhoben. Diese umfassen ein Monitoring der Bakterien,

Pilze und Archaea, das alle drei Jahre auf insgesamt 300 Flächen in drei Untersuchungsgebieten durchgeführt wird, die hälftig aus Wäldern und Grünland bestehen und einer unterschiedlich starken Landnutzung unterliegen. Die Verteilung der Probeflächen auf ausschließlich drei Regionen bedingt eine geringe räumliche Repräsentativität für ganz Deutschland.

Aquatische Böden sind zwar keine Böden im engeren Sinne [12, Seite 9], das Fachgremium steht aber in Absprache mit dem Grundsatzfachgremium im Austausch mit entsprechenden Expert*innen aus dem marinen Bereich und die Angaben zu den entsprechenden Monitorings sind zur groben Übersicht in dieses Eckpunktepapier mit aufgenommen:

Im aquatischen Bereich ist das **Monitoring des Benthos** größerer Gewässerflächen bereits Teil nationaler und internationaler Berichtspflichten, wie der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Meeresstrategie richtlinie [13]. Das Monitoring konzentriert sich bisher auf das Makrozoobenthos, das als sensibler Zeiger für den ökologischen Zustand der Gewässer gilt. Das Monitoring der Bodenbiodiversität in kleineren Fließgewässern wird von der WRRL jedoch nicht abgedeckt. Das **Kleingewässermonitoring**, koordiniert durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, untersucht die Auswirkung von Pflanzenschutzmitteln deutschlandweit an 124 Probestellen [14]. Dieses systematische Monitoring wird seit 2020 durch das Citizen Science Projekt „Flow“ ergänzt, das durch DBU und BMBF gefördert wird, derzeit aber nur wenige Probestellen untersucht.

2.2 Übersicht in Entwicklung befindlicher Erfassungsprogramme zur Bodenbiodiversität

Im **bundesweiten Insektenmonitoring**, das gemeinsam vom Bundesamt für Naturschutz (Geschäftsbereich BMUV) und Ländern entwickelt wird und von den Bundesländern umgesetzt werden soll, ist die Erfassung der epigäischen (auf dem Boden lebenden) Insekten und Spinnen (oft Prädatoren) v.a. innerhalb der Kulisse der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen im Wald, Agrarland und Grünland geplant [15]. Ebenso wurde für die repräsentativen Stichprobenflächen im Agrarland durch das Umweltbundesamt eine Konzepterarbeitung für ein integriertes Monitoring zur Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes veranlasst, das ebenso die Erfassung und Integration von Bodenorganismen beinhaltet [16]. Die Monitoringaktivitäten auf den bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen, zu denen ebenso das High-Nature-Value Farmland Monitoring (HNV), das Monitoring häufiger Brutvogelarten und das in der Pilotphase befindliche Ökosystem-Monitoring zählen, werden damit in Zukunft sehr umfangreiche und verschneidbare Daten generieren. Das Thünen-Institut (Geschäftsbereich des BMEL) entwickelt ein Konzept für ein **Monitoring der Biodiversität in Agrarlandschaften (MonViA)**. Ein Teilprojekt befasst sich mit einem Monitoring der biologischen Vielfalt von Bodenorganismen. Hierfür werden derzeit zwei Monitoringmodule mit den Schwerpunkten 1) mikrobielle Diversität und 2) Regenwürmer aufgebaut. Ebenso wird in MonViA ein Teilprojekt zum Monitoring des Makrozoobenthos in kleinen stehenden Gewässern etabliert.

Das vom Thünen-Institut für Waldökosysteme und Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung initiierte Projekt der **Biologischen Bodenzustandserhebung Deutscher Wälder (BBZE-Wald)** startet am 01. Januar 2023. Mit dem Vorhaben sollen umfangreiche Daten der BZE-Wald mit neu erhobenen Daten zur Biodiversität und biologischen Aktivität im Boden verknüpft werden. Im Fokus stehen die Wechselwirkungen zwischen Standorteigenschaften, Waldzustand und Biodiversität und Funktionen von Bodenorganismen. Durch eine deutschlandweite Erfassung und Bewertung dieser Zusammenhänge ergeben sich neue Möglichkeiten, sowohl die Anpassungsfähigkeit des Waldes an den Klimawandel als auch den Schutz des Klimas gezielt zu fördern und gleichzeitig

die Biodiversität zu erhalten. Wichtige Ziele sind dabei die Entwicklung eines neuen Erhebungsverfahrens und Monitoringsystems zur Erfassung klimabedingter biotischer Risiken, die Sicherung der Kohlenstoffspeicherung und Erhöhung der CO₂-Bindung in Wäldern sowie die Entwicklung eines einheitlichen Monitoringsystems in bewirtschafteten und dauerhaft nicht bewirtschafteten Wäldern zur Erforschung von Anpassungsprozessen und Reaktionen von Waldökosystemen auf den Klimawandel einschließlich genetischem Monitoring sowie der Entwicklung der entsprechenden C-Bilanzen.

Im Europäischen Projekt **LUCAS Soil (Land Use/ Cover Area frame statistical Survey Soil)** werden in Deutschland auf 2.000 Probestellen Daten zum abiotischen Zustand des Oberbodens erfasst [17]. Im Jahr 2018 wurden europaweit an insgesamt 1.000 dieser Probestellen mittels Metabarcoding auch Daten zu Bakterien, Pilzen, weiteren Eukaryoten, Fadenwürmern, Gliederfüßern und Regenwürmern aufgenommen sowie Enzymaktivitäten analysiert. Eine intensivere Kooperation zwischen den nationalen Monitoringprogrammen und LUCAS Soil wird zukünftig angestrebt (pers. Kommunikation Frank Glante).

Global ist das **Soil Biodiversity Observation Network (Soil BON)** im Aufbau, in dem u.a. Mikroorganismen, Fadenwürmer, Regenwürmer sowie Bodenfunktionen erfasst werden [18].

FAZIT

- Der Biodiversität des Bodens und ihrer Funktionen und Ökosystemleistungen kommt aktuell immer mehr Aufmerksamkeit zu, dennoch bedarf es weiterer Anstrengungen, taxonomische und funktionelle Wissenslücken zu schließen [19, 20].
- Bisher existieren keine repräsentativen, systematischen, langfristig angelegten Monitoringaktivitäten der Bodenorganismen und deren Ökosystemleistungen auf Bundesebene.
- Die Vergleichbarkeit der bisher erhobenen Daten zur Bodenbiodiversität ist eingeschränkt.
- Eine Bewertung des Zustands und der Veränderung der Bodenbiodiversität auf Bundesebene ist nicht möglich.
- Eine Ableitung von zielführenden Maßnahmen zum Schutz des Lebensraumes Boden inklusive seiner Bodenbiodiversität und -funktionen auf Bundesebene ist bisher kaum möglich.
- Obwohl der Boden mit seinen Organismen und Leistungen als Querschnittsthema zu bezeichnen ist, ist der Boden als Kompartiment bisher in ein systematisches länderübergreifendes Umweltmonitoring konzeptionell nicht integriert.

3 Aufgaben und Ziele des Fachgremiums „Monitoring der Bodenbiodiversität und -funktionen“

Die Besetzung des Fachgremiums wurde zunächst durch die Mitglieder des Grundsatzfachgremiums des Nationalen Monitoringzentrums zur Biodiversität (NMZB) vorgeschlagen. Das Fachgremium „Bodenbiodiversität“ (gekürzter Arbeitstitel) kann bei Bedarf eigenständig weitere Mitglieder einbinden. Die Arbeit im Fachgremium „Bodenbiodiversität“ erfolgt in enger Rücksprache mit dem Grundsatzfachgremium und den weiteren Fachgremien des NMZB sowie unter Ein-

bindung aller zu beteiligenden Akteure, um die Akzeptanz des Konzeptes zu sichern. Dies wird für die zukünftige Umsetzung als essentiell gesehen.

3.1 Ziele des Fachgremiums

Ziel des Fachgremiums ist die Erarbeitung eines Basiskonzeptes zum bundesweiten Monitoring der Bodenbiodiversität und -funktionen als Teilmodul des vom NMZB zu entwickelnden Gesamtkonzeptes zum Monitoring der Biodiversität in Deutschland. Das Konzept soll auf bestehenden Monitoringprogrammen aufbauen, Synergiemöglichkeiten aufzeigen und wo nötig zusätzliche Monitoringprogramme vorschlagen.

3.2 Aufgaben des Fachgremiums Bodenbiodiversität (vorläufig)

Vorrangige Aufgaben

- Definition des Begriffs Bodenbiodiversität im Rahmen der Konzeptentwicklung
- Formulierung der konkreten Zielstellung für das Monitoring der Bodenbiodiversität- und -funktionen
- Erstellen einer Ist-Analyse der bestehenden Programme zur Bodenbiodiversität und Aufdecken synergetischer Potentiale
- Ausarbeiten einer Lückenanalyse bestehend auf der Ist-Analyse und der Zielsetzung
- Einschätzung der Eignung von vorhandenen und neu zu etablierenden Methoden für das Monitoring der Bodenbiodiversität und -funktionen
- Einschätzung der Notwendigkeit, im Rahmen des Monitorings der Bodenbiodiversität genomene Proben zu archivieren und ggf. dafür Vorschläge zu erarbeiten

Weitere Aufgaben

- Übergabe der Ergebnisse an das NMZB, mit dem Ziel, folgende Projektaufträge zu vergeben:
 - Erarbeiten neuer Monitoringmodule zum Schließen der identifizierten Lücken mit Prioritätsempfehlungen
 - Erarbeiten einer Kosten- und Aufwandsabschätzung für die jeweiligen Monitoringmodule
 - Durchführen einer Machbarkeitsstudie mit einer begrenzten Anzahl an Probeflächen
- Unterstützung des NMZB bei der Analyse und Einordnung der Projektergebnisse, insbesondere im Hinblick auf die „Ausrollung“ erarbeiteten Monitoringmodule zu einem nationalen Monitoring.

Die Erfüllung der Aufgaben kann je nach Erforderlichkeit durch weitere Ausschreibungen, Forschungsvorhaben und Veranstaltungen (bspw. Workshops) durch das NMZB unterstützt werden.

Danksagung

Die Erstellung des Eckpunktepapiers wurde maßgeblich mitunterstützt von den Mitarbeitenden des Bundesamts für Naturschutz Dr. Andreas Krüß, Dr. Wiebke Züghart, Dr. Ursula Nigmann, Roxanne Rhein, Helen Ballasus, Dr. David Eichenberg und Dr. Jochen Krause sowie Herrn Dr. Eckhard Cordsen vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt. "Entwicklung des Bodens." <https://www.umweltbundesamt.de/themen/bodenlandwirtschaft/kleine-bodenkunde/entwicklung-des-bodens> (Zugriff am: 8. Sep. 2021).
- [2] FAO, ITPS, GSBI, SCBD and EC, *State of knowledge of soil biodiversity – Status, challenges and potentialities. Summary for policy makers*. Rom: FAO, 2020.
- [3] A. Orgiazzi, R. D. Bardgett und E. Barrios, *Global soil biodiversity atlas* (EUR 27236 EN). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016.
- [4] M. Nabel, C. Selig, J. Gundlach, H. v.d. Decken, M. Klein und B. Jessel, "Bodenreport: Vielfältiges Bodenleben - Grundlage für Naturschutz und nachhaltige Landwirtschaft," Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg, 2021.
- [5] M. Nabel, C. Selig, J. Gundlach, H. von der Decken und M. Klein, "Biodiversity in agricultural used soils: Threats and options for its conservation in Germany and Europe," *SOIL ORGANISMS* 93(1), doi: 10.25674/so93iss1pp1.
- [6] Europäische Kommission. "Gesunde Böden – eine neue Bodenstrategie der EU." https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12634-Gesunde-Boden-eine-neue-Bodenstrategie-der-EU_de (Zugriff am: 8. Sep. 2021).
- [7] Europäische Kommission, *Bodengesundheit – Schutz, nachhaltige Bewirtschaftung und Wiederherstellung von Böden in der EU: Aufforderung zur Stellungnahme zu einer Folgenabschätzung*, Ref. Ares(2022)1132884. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13350-Soil-health-protecting-sustainably-managing-and-restoring-EU-soils_en
- [8] C. Kaufmann-Boll, S. Niederschmidt und M. Kern, "Bodendaten in Deutschland: Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020.
- [9] C. Kaufmann-Boll, S. Niederschmidt, C. Bamminger, M. Kastler, D. Wurbs und M. Steininger, "Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds - Abschlussbericht," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020.
- [10] C. Kaufmann-Boll *et al.*, "Abschlussbericht Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds für Bodenbiologie und organische Bodensubstanz: Teil A: Abschlussbericht zum bodenfachlichen Teil und Teil B: Konzept für den Start des Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022.
- [11] J. Koschorreck *et al.*, "Die Umweltprobenbank: Umweltbeobachtungen mit Proben von Mensch und Umwelt," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2013.
- [12] Soil Survey Staff, *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, 2. Aufl. (Agriculture Handbook 436). Washington: U.S. Government Printing Office, 1999. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/taxonomy/>
- [13] A. Darr *et al.*, "Monitoringbericht: Zustand benthischer Arten und Biotope in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone von Nord- und Ostsee: Untersuchungsjahr 2018," Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg, 2019.
- [14] M. Liess *et al.*, "Pesticides are the dominant stressors for vulnerable insects in lowland streams," *Water Research*, Jg. 201, 2021. doi: 10.1016/j.watres.2021.117262. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85108733936&doi=10.1016%2fj.watres.2021.117262&partnerID=40&md5=6a62e54e4c8705554164c703bcd89486>
- [15] Bundesamt für Naturschutz, "Einheitlicher Methodenleitfaden "Insektenmonitoring"," 2021.
- [16] A. Toschki, J. Oellers, Q. Rumohr, M. Roß-Nickoll, B. Daniels und Schäffer, Andreas, Sybertz, Alexandra, "Integriertes Monitoring in der Agrarlandschaft - Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes," Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2021.

- [17] A. Orgiazzi, C. Ballabio, P. Panagos, A. Jones und O. Fernández-Ugalde, "LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review," *Eur J Soil Sci*, Jg. 69, Nr. 1, S. 140–153, 2018, doi: 10.1111/ejss.12499.
- [18] C. A. Guerra *et al.*, "Tracking, targeting, and conserving soil biodiversity," *Science (New York, N.Y.)*, Jg. 371, Nr. 6526, S. 239–241, 2021, doi: 10.1126/science.abd7926.
- [19] E. K. Cameron *et al.*, "Global mismatches in aboveground and belowground biodiversity," *Conservation Biology*, Jg. 33, Nr. 5, S. 1187–1192, 2019.
- [20] S. Marahrens *et al.*, "Bodenzustand in Deutschland: Zum "Internationalen Jahr des Bodens", " Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2015.